

Bernd Hirschl, Katharina Heinbach, Steven Salecki, Annika Bode, Bruna Leuner,
Janis Bergmann, Jan Wiesenthal

Energiewende in der Lausitz – regionalökonomische Effekte relevanter Technologien

Szenarien zur Entwicklung erneuerbarer Energien und energetischer
Gebäudesanierung sowie Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte
durch regionale Beteiligung

Schriftenreihe des IÖW 223/22



Bernd Hirschl, Katharina Heinbach, Steven Salecki, Annika Bode, Bruna Leuner, Janis Bergmann,
Jan Wiesenthal

Energiewende in der Lausitz – regionalökonomische Effekte relevanter Technologien

Szenarien zur Entwicklung erneuerbarer Energien und energetischer
Gebäudesanierung sowie Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte
durch regionale Beteiligung

Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen
des Förderschwerpunktes „Ökonomie des Klimawandels (Phase II)“ im Verbundprojekt
„Mobilisierung endogener Entwicklungspotenziale für den Strukturwandel – Dekarboni-
sierung einer Braunkohleregion (DecarbLau)“ unter den Förderkennzeichen
01LA1821B (IÖW) und 01LA1821A (BTU)

Schriftenreihe des IÖW 223/22
Berlin, September 2022

ISBN 978-3-940920-28-7

Impressum

Herausgeber:

Institut für ökologische
Wirtschaftsforschung (IÖW)
Potsdamer Straße 105
D-10785 Berlin

Tel. +49 – 30 – 884 594-0

Fax +49 – 30 – 882 54 39

E-mail: mailbox@ioew.de

www.ioew.de



In Kooperation mit:



BTU Cottbus-Senftenberg
Platz der Deutschen Einheit 1
D-03046 Cottbus
Fachgebiet Management regionaler
Energieversorgungsstrukturen
www.b-tu.de/fg-energieversorgungsstrukturen

Die Schriftenreihe entstand im Verbundprojekt „Mobilisierung endogener Entwicklungspotenziale für den Strukturwandel – Dekarbonisierung einer Braunkohleregion (DecarbLau)“. Das Projekt wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenprogramm Forschung für Nachhaltigkeit (FONA) im Rahmen des Förderschwerpunktes Ökonomie des Klimawandels Phase II unter den Förderkennzeichen 01LA1821B und 01LA1821A gefördert. Neben dem IÖW und der BTU Cottbus-Senftenberg waren das Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung Halle (IWH) sowie die Technische Universität Dresden am Verbundprojekt beteiligt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Bildrechte Titelseite: IÖW (unter Verwendung von Ressourcen von www.pixabay.com und Icons von OpenMoji (CC BY-SA 4.0) und von Freepik, Creative Stall Premium, Wanicon, Flaticons und juicy_fish von www.flaticon.com).

Zusammenfassung

Mit dem für den Klimaschutz unerlässlichen Kohleausstiegs steht die Lausitz als traditionelle Braunkohleregion vor einer umfassenden Transformation der regionalen Wirtschaft. Als traditionelle Bergbauregion können vorhandene Infrastrukturen, eine differenzierte Energiewirtschaft, vorhandene Forschungs- und Ausbildungseinrichtungen sowie für die Energiewende nutzbare Flächen den Umbau zur Energiewendewirtschaft begünstigen. Gleichzeitig geschieht der Ausstieg aus der fossilen Energiewirtschaft in einer strukturschwachen Region mit seit langem im bundesdeutschen Vergleich unterdurchschnittlichen Indikatoren für Wachstum, Beschäftigung und Pro-Kopf-Produktivität.

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundprojektes *Decarbonisierung der Lausitz* (DecarbLau) wurden in dieser Studie die endogenen Entwicklungspotenziale der Energiewendewirtschaft in der Lausitz untersucht, sowie die daraus entstehenden regionalwirtschaftlichen Chancen als Beitrag für einen positiven Strukturwandel. Im Vordergrund stand dabei zunächst die Entwicklung von zwei Szenarien für das Betrachtungsjahr 2040 für die Technologien Windenergie, Photovoltaik, Bioenergie, Wärmepumpen sowie für die energetische Gebäudesanierung von Wohngebäuden. Für diese Technologien wurde mit Blick auf das Jahr 2040 ein Entwicklungsszenario auf Basis der zum Zeitpunkt der Studiererstellung geltenden länderspezifischen politischen Ausbauziele erstellt (*Current Policies*-Szenario). Diesem wurde ein progressiveres Szenario gegenübergestellt (*Klimaneutral 2045*), welches mit Blick auf das Betrachtungsjahr 2040 einen notwendigen regionalen Beitrag zur Erreichung der bundesweiten Klimaneutralitätsziele leistet. Im Ergebnis zeigt sich, dass die Lausitz zur Erreichung der Klimaneutralität insbesondere im sächsischen Teil noch mehr Windenergie-, insgesamt aber deutlich mehr Photovoltaikpotenziale aufweist. Hier ist, ähnlich wie bei den Wärmepumpen, in etwa eine Verzehnfachung des Status quo möglich, während die Bioenergie tendenziell unverändert bleibt. Im Bereich der energetischen Gebäudesanierung sollte in etwa eine Verdreifachung der Sanierungsrate angestrebt werden, um den notwendigen Beitrag des Gebäudesektors zu erreichen.

Bei der Ermittlung regionalwirtschaftlicher Effekte wurde für das *Klimaneutral 2045*-Szenario angenommen, dass hier auch deutlich mehr regionale Akteure (Kommunen, Unternehmen sowie Bürgerinnen und Bürger) an den Investitionen und den weiteren Abschnitten der untersuchten Wertschöpfungsketten beteiligt werden können als heute. Somit kann die generierte Wertschöpfung in der Region gehalten und wirksam werden. Unter dieser Voraussetzung können im Jahr 2040 rund 450 Mio. Euro an Wertschöpfung generiert werden, maßgeblich durch Photovoltaikanlagen, gefolgt von Windenergieanlagen und Maßnahmen der energetischen Gebäudesanierung. Neben den Bürgerinnen und Bürgern (durch Beschäftigteneinkommen) und Unternehmen vor Ort (durch Gewinne) können auch die Standortkommunen durch Steuern und auch durch Gewinnbeteiligungen maßgeblich von dieser Wertschöpfung profitieren. Damit dies gelingt, müssen den Bürgerinnen, Bürgern und Kommunen jedoch erst durch entsprechende Rahmenbedingungen auf Bundes- und Landesebene die Möglichkeiten geschaffen werden, sich stärker finanziell zu beteiligen. Sowohl die Mitbestimmung als auch die finanzielle Beteiligung der Bevölkerung und der Kommunen sehen wir als kritischen Erfolgsfaktor an, um die erforderlichen Flächen bereitzustellen, Investitionen anstoßen und damit zugleich auch zur Akzeptanz vor Ort beitragen zu können.

Abstract

The exit from coal in the traditional mining region of Lusatia, a pivotal measure for climate change mitigation, will structurally transform the regional economy. Lusatia's post-mining legacy, including existing infrastructure, a differentiated energy industry, research and educational centres, and potential land for renewable energy projects can facilitate the creation of a successful energy transition industry in an otherwise structurally weak region with below-average indicators for growth, employment and per-capita productivity compared to other German regions.

As part of the joint project Decarbonisation in Lusatia (DecarbLau), funded by the German Federal Ministry for Education and Research (BMBF), this study analyses opportunities for locally directed development of the energy transition industry, its potential for a positive impact on the regional economy and a long-term contribution to the structural transformation of the region. The study introduces two distinct development scenarios leading up to the year 2040 that address the potential of wind energy, photovoltaics, biomass, heat pumps and the energetic refurbishment of residential buildings. The first scenario, Current Policies, is based on the federal and regional energy and climate regulations in place at the time of writing. The more progressive of the two scenarios, Climateneutral 2045, depicts the regional efforts necessary to adequately support federal climate neutrality targets. Our analysis shows that in order to achieve climate neutrality, the region of Lusatia in general and the Saxon part in particular will need to unlock the greater potential of wind energy, but even more so that of photovoltaics. The installed photovoltaic capacity can potentially grow tenfold, similar to heat pumps, while the deployment of biomass stays roughly the same. For an adequate contribution to German climate neutrality in the area of energetic building refurbishment, the annual rate of refurbishment in the study region of Lusatia needs to triple.

When calculating the impact on the regional economy, the Climateneutral 2045 scenario is grounded in the assumption that regional actors like municipalities, companies, and citizens will assume a significantly higher share of the investments and the subsequent participation in other aspects along the value chain. In doing so, the value added can be kept within the region and allowed to take effect locally. A value added impact of around 450 million euros can thereby be created, predominantly with photovoltaics, but also with wind turbines and residential property energy refurbishment. Along with benefits to individual workers (via income through employment) and local companies (via profits), municipalities can benefit from the energy transition industry's value added through tax revenues and also through direct participation in profits. To realise these potentials, the regulatory framework at both the state and federal levels needs to facilitate options for financial participation. Overall, we consider the financial and procedural participation of local citizens and municipalities to be essential success factors for the provisioning of land, attraction of sufficient investment, and also for public acceptance of the energy transition in Lusatia.

Die Autorinnen und Autoren

Prof. Dr. Bernd Hirschl, Leiter Forschungsfeld „Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz“ am IÖW und parallel Professur Management regionaler Energieversorgungsstrukturen an der BTU, Schwerpunkte: Entwicklung und interdisziplinäre Analyse energie- u. klimapolitischer Strategien und Instrumente

Kontakt: Bernd.Hirschl@ioew.de

Katharina Heinbach, bis Frühjahr 2022 wissenschaftliche Mitarbeiterin Forschungsfeld „Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz“ (IÖW), Dipl.-Geoökologin, ökonomische Bewertung von Energiewendetechnologien, regionalökonomische Effekte

Dr. Steven Salecki, wissenschaftlicher Mitarbeiter Forschungsfeld „Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz“ (IÖW), Volkswirt (M.Sc.), Systemanalyse, energiewirtschaftliche Modellierung, kommunale Wertschöpfung durch erneuerbare Energien

Kontakt: Steven.Salecki@ioew.de

Annika Bode, akademische Mitarbeiterin Fachgebiet MarEs (BTU), Wirtschafts- u. Sozialwissenschaftlerin (M.A.); Photovoltaik und Windenergie, sozial-ökologische Transformationskonflikte

Kontakt: Annika.Bode@b-tu.de

Dr. Bruna Leuner, akademische Mitarbeiterin Fachgebiet MarEs (BTU), Wirtschafts- u. Sozialwissenschaftlerin (M.Sc.), nachhaltige Nutzung von Biomasse, Wirtschaftsstrukturen in der Lausitz

Kontakt: Bruna.Leuner@b-tu.de

Janis Bergmann, wissenschaftlicher Mitarbeiter Forschungsfeld „Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz“ (IÖW), Wirtschaftsingenieur (M.Sc.), ökonomische Bewertung von Energiewendetechnologien, Wärmewende, sozial-ökologische Zielkonflikte

Kontakt: Janis.Bergmann@ioew.de

Jan Wiesenthal (geb. Knoefel), wissenschaftlicher Mitarbeiter Forschungsfeld „Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz“ (IÖW), Betriebswirt (M.Sc.), Partizipation in der Energiewende, polyzentrische Energiesysteme und deren Modellierungen

Kontakt: Jan.Wiesenthal@ioew.de

Unter Mitarbeit von:

Doreen Großmann und Frank Buchholz

Akademische Mitarbeitende im Fachgebiet Management regionaler Energieversorgungsstrukturen an der BTU bis 2021

Michelle Biallowons

Studentische Mitarbeiterin Forschungsfeld „Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz“ (IÖW) seit 2021

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einführung und Grundlagen..... | 1 |
| 1.1 | Motivation, Ausgangslage und Projektkontext | 1 |
| 1.2 | Die Untersuchungsregion Lausitz | 2 |
| 1.2.1 | Geografie und Verwaltungsstruktur | 3 |
| 1.2.2 | Bevölkerungsentwicklung | 3 |
| 1.2.3 | Wirtschaftsstruktur und -daten | 5 |
| 1.2.4 | Energieverbrauch in der Lausitz | 7 |
| 2 | Status quo, Potenziale und Szenarien relevanter Energiewendetechnologien..... | 11 |
| 2.1 | Methodik und Technologieauswahl | 11 |
| 2.1.1 | Technologieauswahl und Status quo-Analysen | 11 |
| 2.1.2 | Potenzialanalysen | 13 |
| 2.1.3 | Szenarioanalysen | 14 |
| 2.2 | Windenergie | 15 |
| 2.2.1 | Status quo | 16 |
| 2.2.2 | Potenziale | 18 |
| 2.2.3 | Szenarien | 26 |
| 2.2.4 | Fazit und Empfehlungen | 31 |
| 2.3 | Photovoltaik | 38 |
| 2.3.1 | Status quo | 38 |
| 2.3.2 | Potenziale | 43 |
| 2.3.3 | Szenarien | 47 |
| 2.3.4 | Fazit und Empfehlungen | 64 |
| 2.4 | Bioenergie | 68 |
| 2.4.1 | Zur Ermittlung und Abgrenzung der energetischen Biomassenutzung | 68 |
| 2.4.2 | Status quo | 71 |
| 2.4.2.1 | Biomasse | 71 |
| 2.4.2.2 | Bioenergie | 80 |
| 2.4.3 | Potenziale | 87 |
| 2.4.4 | Szenarien | 95 |
| 2.4.5 | Fazit und Empfehlungen | 97 |
| 2.5 | Energetische Gebäudesanierung | 101 |
| 2.5.1 | Status quo | 101 |
| 2.5.1.1 | Bestand an Wohngebäuden in der Lausitz | 101 |
| 2.5.1.2 | Sanierungszustand und -raten | 114 |
| 2.5.2 | Potenziale | 119 |
| 2.5.3 | Szenarien | 121 |
| 2.5.4 | Fazit und Empfehlungen | 124 |
| 2.6 | Wärmepumpen zur dezentralen Wärmeversorgung | 127 |
| 2.6.1 | Status quo | 127 |
| 2.6.2 | Potenziale | 133 |
| 2.6.3 | Szenarien | 135 |
| 2.6.4 | Fazit und Empfehlungen | 141 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 2.7 | Gesamtschau: Energiewendeszenarien für die Lausitz..... | 143 |
| 3 | Regionalökonomische Effekte der Szenarien im Jahr 2040..... | 148 |
| 3.1 | Status quo der Energiewendewirtschaft in der Lausitz..... | 148 |
| 3.2 | Methodische Vorgehensweise und Eingangsdaten..... | 152 |
| 3.2.1 | Begriffsabgrenzung „regionale Wertschöpfung“..... | 152 |
| 3.2.2 | Erneuerbare Energien..... | 154 |
| 3.2.2.1 | Modell zur Ermittlung von Wertschöpfung und Beschäftigung durch EE-Technologien..... | 154 |
| 3.2.2.2 | Vorgehensweise bei der Hochrechnung der regionalökonomischen Effekte durch EE-Technologien im Jahr 2040..... | 155 |
| 3.2.2.3 | Eingangsdaten..... | 156 |
| 3.2.3 | Energetische Sanierung / Energieeffizienzmaßnahmen..... | 158 |
| 3.2.3.1 | Modell zur Ermittlung von Wertschöpfung und Beschäftigung durch energetische Gebäudesanierungsmaßnahmen..... | 158 |
| 3.2.3.2 | Vorgehensweise bei der Hochrechnung der regionalökonomischen Effekte durch energetische Sanierung im Jahr 2040..... | 159 |
| 3.2.3.3 | Eingangsdaten..... | 160 |
| 3.3 | Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte..... | 161 |
| 3.3.1 | Gesamteffekte im Überblick..... | 161 |
| 3.3.2 | Spezifische Effekte erneuerbarer Energien..... | 167 |
| 3.3.3 | Spezifische Effekte energetischer Gebäudesanierung..... | 172 |
| 3.4 | Kontextualisierung und Diskussion der Ergebnisse..... | 177 |
| 3.4.1 | Ergebnisse und weitere Potenziale im Kontext der Energiewende..... | 177 |
| 3.4.2 | Sensitivitätsbetrachtungen..... | 180 |
| 3.5 | Fazit und Empfehlungen..... | 183 |
| 4 | Kurzfassung..... | 188 |
| 5 | Literaturverzeichnis..... | 198 |
| 6 | Anhang..... | 215 |
| 6.1 | Weiterführende Daten zum Abschnitt 2.5 „Energetische Gebäudesanierung“..... | 215 |
| 6.2 | Vorgehensweise der Bestandsaufnahme der Energiewendewirtschaft..... | 236 |
| 6.3 | Annahmen zur regionalen Ansässigkeit zur Berechnung regionalökonomischer Effekte..... | 241 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|------------|---|-----|
| Abb. 1-1: | Lage der Lausitz und die Untersuchungsregion Lausitz im Forschungsvorhaben (deutscher Teil) | 3 |
| Abb. 1-2: | Bevölkerungsentwicklung 1990 bis 2019 im Vergleich (1990=1) | 4 |
| Abb. 2-1: | Windstromerzeugung in den Planungsregionen der Lausitz 2018 und im Jahr 2040 in den beiden Zielszenarien | 32 |
| Abb. 2-2: | Installierte Leistung PV in der Lausitz nach Technologien 2018 und im Jahr 2040 in den beiden Zielszenarien | 64 |
| Abb. 2-3: | Flächennutzung in der Lausitz 2018 | 72 |
| Abb. 2-4: | Landwirtschaftlich genutzte Flächen in der Lausitz 2018 | 72 |
| Abb. 2-5: | Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland (2005-2018) | 74 |
| Abb. 2-6: | Flächennutzung in Deutschland 2017 | 75 |
| Abb. 2-7: | Anbaufläche Feldfrüchte in der Lausitz 2018 | 76 |
| Abb. 2-8: | Getreidesorten in der Lausitz 2018 | 76 |
| Abb. 2-9: | Holzeinschlag in Deutschland nach Bundesländern in 2018 | 78 |
| Abb. 2-10: | Verwendung der Holzrohstoffe nach Nutzergruppen in Deutschland | 78 |
| Abb. 2-11: | Anteil installierter Leistung der Biogasanlagen in der Lausitz | 83 |
| Abb. 2-12: | Ausgangsstoffe für Biokraftstoffe 2019 in Deutschland | 84 |
| Abb. 2-13: | Energiepflanzenpotenzial in Sachsen (links) und Brandenburg (rechts) 2020 | 90 |
| Abb. 2-14: | Absatz Wärmepumpen Deutschland (2011-2018) | 128 |
| Abb. 2-15: | Einordnung der Szenarien zum Wärmepumpenbestand in Studienlandschaft .. | 136 |
| Abb. 2-16: | Szenariowerte Installierte Leistung Feldbestand Heizungswärmepumpen Lausitz nach Technologien 2018 und im Jahr 2040 in den beiden Zielszenarien | 140 |
| Abb. 2-17: | Szenariowerte Installierte Leistung Feldbestand Heizungswärmepumpen in der Lausitz nach Technologien und Leistungsklassen im Jahr 2040 | 141 |
| Abb. 3-1: | Aktivitäten der Hersteller und Dienstleister im Bereich Bioenergie in der Lausitz (Status quo 2018, ohne Handwerk) | 149 |
| Abb. 3-2: | Aktivitäten der Hersteller und Dienstleister im Bereich Windenergie in der Lausitz (Status quo 2018, ohne Handwerk) | 150 |
| Abb. 3-3: | Aktivitäten der Hersteller und Dienstleister im Bereich PV-Freiflächenanlagen in der Lausitz (Status quo 2018 ohne Handwerk) | 151 |
| Abb. 3-4: | Aktivitäten der Hersteller und Dienstleister im Bereich PV-Dachanlagen in der Lausitz (Status quo 2018 ohne Handwerk) | 152 |
| Abb. 3-5: | Bestandteile der Wertschöpfung auf regionaler Ebene nach der Wertschöpfungsdefinition in den Modellen des IÖW | 153 |
| Abb. 3-6: | Regionale Wertschöpfung im Jahr 2040 in der Lausitz gemäß der Szenarien <i>Current Policies</i> und <i>Klimaneutral 2045</i> , nach Energiewendebereichen | 163 |
| Abb. 3-7: | Regionale Wertschöpfung durch ausgewählte Energiewendebereiche im Jahr 2040 in der Lausitz nach Wertschöpfungsbestandteilen | 164 |
| Abb. 3-8: | Kommunaler Anteil an der regionalen Wertschöpfung durch ausgewählte Energiewendebereiche im Jahr 2040 in der Lausitz nach Wertschöpfungsbestandteilen | 166 |
| Abb. 3-9: | Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung durch ausgewählte EE-Technologien im Jahr 2040 in der Lausitz nach Wertschöpfungsstufen | 168 |
| Abb. 3-10: | Regionale Wertschöpfung die energetische Sanierung von Wohngebäuden im Jahr 2040 in der Lausitz nach Wertschöpfungsbestandteilen und Sanierungsszenarien | 173 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Abb. 3-11: | Regionale Wertschöpfung durch die energetische Sanierung von Wohngebäuden im Jahr 2040 in der Lausitz nach Landkreisen und Sanierungsszenarien..... | 175 |
| Abb. 3-12: | Regionale Wertschöpfung durch die energetische Sanierung von Wohngebäuden im Jahr 2040 in der Lausitz nach Gewerken und Sanierungsszenarien | 176 |
| Abb. 3-13: | Regionale Wertschöpfung durch ausgewählte Energiewendebereiche in der Lausitz im Jahr 2040 und für die Varianten „V 100%“, „V 0% EK“ und „V 100% EK“ | 181 |
| Abb. 3-14: | Beschäftigung durch ausgewählte Energiewendebereiche in der Lausitz im Jahr 2040 und für die Varianten „V 100%“, „V 0% EK“ und „V 100% EK“ | 182 |
| Abb. 4-1: | Regionale Wertschöpfung im Jahr 2040 in der Lausitz gemäß der Szenarien <i>Current Policies</i> und <i>Klimaneutral 2045</i> , nach Energiewendebereichen | 195 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|------------|--|----|
| Tab. 1-1: | Bevölkerungs- und Erwerbstätigenstand (bundesweit, Brandenburg und Sachsen, Lausitzkreise bzw. kreisfreie Städte). Stand 31.12.2019 | 5 |
| Tab. 1-2: | Bruttowertschöpfung und sozialversicherungspflichtig Beschäftigte (bundesweit, Brandenburg und Sachsen, Lausitzkreise bzw. kreisfreie Städte) 2018 Quellen: Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2019a), Amt für Statistik Berlin und Brandenburg (2019a), Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2021a). | 7 |
| Tab. 1-3: | Bezugsgrößen zur Bildung der Strombilanz für Region Lausitz nach Top-Down Ansatz..... | 8 |
| Tab. 1-4: | Entwicklung Stromverbrauch nach Sektoren (1990, 2010, 2018) in GWh..... | 8 |
| Tab. 1-5: | Geschätzter Endenergieverbrauch (alle Sektoren und Strom) in der Region Lausitz in den Jahren 2010 und 2018 | 9 |
| Tab. 2-1: | Ausbaustand der Windenergie in der Region Lausitz, 31.12.2018 | 18 |
| Tab. 2-2: | Vergleich der Ausbauzahlen der Onshore-Windenergie bis 2045 aus aktuellen Energiesystemstudien | 20 |
| Tab. 2-3: | Wind-Ausbaupotenziale gemäß veröffentlichter Regionalstudien..... | 21 |
| Tab. 2-4: | Wind-Ausbaupotenziale gemäß Regionalstudien und bundesweiter Studien..... | 22 |
| Tab. 2-5: | Referenz-WEA-Typen für zwei Windkraftausbauszenarien für die Lausitz 2040 | 26 |
| Tab. 2-6: | <i>Current Policies</i> -Szenario Wind in den Planungsregionen Lausitz-Spreewald (L-S), Oberlausitz-Niederschlesien (O-N) und in der gesamten Lausitz | 29 |
| Tab. 2-7: | <i>Klimaneutral 2045</i> -Szenario Wind in den Planungsregionen Lausitz-Spreewald (L-S) und Oberlausitz-Niederschlesien (O-N)..... | 31 |
| Tab. 2-8: | Vergleich der Szenarien <i>Current Policies</i> und <i>Klimaneutral 2045</i> für die zwei Lausitzer Planungsregionen Lausitz-Spreewald (L-S) und Oberlausitz-Niederschlesien (O-N)..... | 33 |
| Tab. 2-9: | Ausbaustand der Photovoltaik in der Region Lausitz, 31.12.2018..... | 42 |
| Tab. 2-10: | PV-Ausbauzahlen bis 2045 aus aktuellen Studien im Vergleich..... | 43 |
| Tab. 2-11: | PV Ausbaupotenziale gemäß veröffentlichter Regionalstudien | 44 |
| Tab. 2-12: | PV-Ausbaupotenziale gemäß Regionalstudien und bundesweiten Studien | 45 |
| Tab. 2-13: | <i>Current Policies</i> -Szenario PV in Brandenburg und Lausitz-Spreewald (L-S) | 49 |
| Tab. 2-14: | <i>Current Policies</i> -Szenario PV in Sachsen und der Planungsregion Oberlausitz-Niederschlesien (O-N)..... | 50 |
| Tab. 2-15: | Entwicklung der Photovoltaik im <i>Current Policies</i> -Szenario bis 2040 | 51 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Tab. 2-16: | Mittlerer Zubau der Photovoltaik im <i>Current Policies</i> -Szenario bis 2040 | 52 |
| Tab. 2-17: | Bruttoflächen (in m ²) von Dächern und Fassaden in Lausitz-Spreewald (L-S) und Oberlausitz-Niederschlesien (O-N)..... | 56 |
| Tab. 2-18: | Installierbare BIPV-Anlagengröße auf Wohn- und Nichtwohngebäuden | 57 |
| Tab. 2-19: | Verteilung der BIPV-Modulfläche auf ausgewählte Anlagenklassen in Lausitz-Spreewald (L-S) und Oberlausitz-Niederschlesien (O-N)..... | 58 |
| Tab. 2-20: | BIPV-Flächenpotenzial und installierbare Leistung in der Lausitz..... | 59 |
| Tab. 2-21: | PV-Flächenpotenziale und installierbare Leistung auf Lausitzer Freiflächen | 61 |
| Tab. 2-22: | Bestand und Zubau der Photovoltaik im <i>Klimaneutral 2045</i> -Szenario im Betrachtungsjahr 2040..... | 63 |
| Tab. 2-23: | Untersuchte Biomassen und Bewertung nach Nutzung und Fläche | 70 |
| Tab. 2-24: | Status quo der Bioenergieanlagen in der Lausitz 2018..... | 86 |
| Tab. 2-25: | Verwendete Studien zur Ermittlung der Biomasse-/Bioenergie-Potenziale in der Lausitz..... | 88 |
| Tab. 2-26: | Technische Bioenergiepotenziale in der Lausitz | 95 |
| Tab. 2-27: | Bioenergieanlagen-Szenarien in der Lausitz | 99 |
| Tab. 2-28: | Bestand an Wohngebäuden in der Lausitz nach Landkreisen und Gebäudetypen | 103 |
| Tab. 2-29: | Bestand an SFH-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen des Zensus 2011..... | 104 |
| Tab. 2-30: | Baualtersklasseneinteilungen und Überschneidungen nach der Systematik des Zensus 2011 und nach der IWU-Gebäudetypologie | 105 |
| Tab. 2-31: | Bestand an SFH-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie..... | 106 |
| Tab. 2-32: | Anzahl und Art der Nutzung der Wohnungen in der Lausitz | 107 |
| Tab. 2-33: | Wohnfläche je Gebäudetyp im gesamten Bundesgebiet..... | 108 |
| Tab. 2-34: | Bestand an Wohnflächen (m ²) in der Lausitz nach Landkreisen/ Gebäudetypen | 109 |
| Tab. 2-35: | Bestand an Wohnflächen in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen.. | 111 |
| Tab. 2-36: | beheizte Wohnfläche und wohnflächenspezifische Gebäudehüllflächen in SFH-Gebäuden | 112 |
| Tab. 2-37: | Gesamte Dachflächen im Gebäudebestand nach Landkreisen und Gebäudetypen aufsummiert über alle Baualtersklassen..... | 114 |
| Tab. 2-38: | Anteil der bis 1990 erbauten EZFH mit nach 1990 energetisch sanierten Bauteilen im brandenburgischen Teil der Lausitz im Jahr 2014..... | 115 |
| Tab. 2-39: | Durchschnittliche jährliche Sanierungsraten der bis 1990 erbauten Ein- und Zweifamilienhäuser | 116 |
| Tab. 2-40: | Durchschnittliche jährliche Sanierungsraten der bis 2011 erbauten Gebäude in den neuen Bundesländern in den Jahren 2013 bis 2015 | 116 |
| Tab. 2-41: | Anteil der bis 1990 erbauten EZFH mit nach 1990 energetisch sanierten Bauteilen in der Planungsregion Lausitz-Spreewald im Jahr 2018 | 117 |
| Tab. 2-42: | Anteil der bis 1990 erbauten MFH mit nach 1990 energetisch sanierten Bauteilen in der Planungsregion Lausitz-Spreewald im Jahr 2014 | 117 |
| Tab. 2-43: | Anteil der bis 1990 erbauten MFH mit nach 1990 energetisch sanierten Bauteilen in der Planungsregion Lausitz-Spreewald im Jahr 2018 | 118 |
| Tab. 2-44: | Anteil der bis 1990 erbauten MFH mit nach 1990 und bis zum Jahr 2001 energetisch sanierten Bauteilen in der Planungsregion Lausitz-Spreewald | 118 |
| Tab. 2-45: | Im Jahr 2018 noch unsanierte Gebäudehüllflächen in der Lausitz nach Landkreisen und Gebäudebauteilen..... | 119 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Tab. 2-46: | Im Jahr 2018 noch unsanierte Gebäudehüllflächen und nochmals sanierungsbedürftige Gebäude mit Sanierungsaktivitäten vor 2001 in der Lausitz nach Landkreisen und Gebäudebauteilen..... | 120 |
| Tab. 2-47: | Sanierungsraten im <i>Current Policies</i> -Szenario und im <i>Klimaneutral 2045</i> -Szenario im Jahr 2040 differenziert nach Gebäudetypen | 123 |
| Tab. 2-48: | Im Jahr 2040 sanierte Gebäude im <i>Current Policies</i> -Szenario und im <i>Klimaneutral 2045</i> -Szenario | 123 |
| Tab. 2-49: | Bestand Heizungswärmepumpen 2018 nach Regionen | 130 |
| Tab. 2-50: | Zubau Heizungswärmepumpen 2018 nach Regionen | 131 |
| Tab. 2-51: | Zubau Heizungswärmepumpen [Anlagen] 2018 Lausitz nach Einsatzfeld | 131 |
| Tab. 2-52: | Installierte Leistung Heizungswärmepumpen 2018 in der Lausitz - Zubau und Bestand..... | 132 |
| Tab. 2-53: | Potenziale von Heizungswärmepumpen nach Gebäudetypen | 134 |
| Tab. 2-54: | Szenariowerte Zubau Heizungswärmepumpen bundesweit in 2020, 2030 und 2040 [Anzahl Anlagen] | 137 |
| Tab. 2-55: | Szenariowerte jährlicher Zubau Heizungswärmepumpen Lausitz in 2020, 2030 und 2040 [Anzahl Anlagen] | 137 |
| Tab. 2-56: | Szenariowerte Feldbestand Heizungswärmepumpen Lausitz im Jahr 2040 [Anzahl Anlagen] | 138 |
| Tab. 2-57: | Durchschnittliche Leistungszahlen von Heizungswärmepumpen nach Technologien 2020, 2030 und 2040 | 138 |
| Tab. 2-58: | Szenariowerte Anzahl Anlagen Zubau und Feldbestand Heizungswärmepumpen Lausitz nach Technologien im Jahr 2040 | 139 |
| Tab. 2-59: | Szenariowerte Installierte Leistung Zubau und Feldbestand Heizungswärmepumpen Lausitz nach Technologien im Jahr 2040 | 139 |
| Tab. 2-60: | Übersicht ausgewählter Energiewendepotenziale in der Lausitz: Status quo im Jahr 2018 und Szenarioergebnisse für das Betrachtungsjahr 2040 | 146 |
| Tab. 2-61: | Erneuerbare Stromerzeugung mit Windenergie- und Photovoltaikanlagen in der Lausitz in 2018 sowie in 2040 unter verschiedenen Szenariobedingungen | 147 |
| Tab. 3-1: | Bestand und Zubau bei den betrachteten EE-Technologien im Jahr 2040..... | 156 |
| Tab. 3-2: | Im Jahr 2040 sanierte Gebäudehüllflächen im <i>Current Policies</i> -Szenario und im <i>Klimaneutral 2045</i> -Szenario | 160 |
| Tab. 3-3: | Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung durch ausgewählte Energiewendebereiche im Jahr 2040 in der Lausitz (Szenarien <i>Current Policies</i> und <i>Klimaneutral 2045</i>) | 162 |
| Tab. 3-4: | Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung durch ausgewählte Energiewendebereiche im Jahr 2040 in der Lausitz nach Wertschöpfungsbestandteilen | 164 |
| Tab. 3-5: | Kommunaler Anteil an der regionalen Wertschöpfung durch ausgewählte Energiewendebereiche im Jahr 2040 in der Lausitz | 166 |
| Tab. 3-6: | <i>Current Policies</i> -Szenario: Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung durch ausgewählte EE-Technologien im Jahr 2040 in der Lausitz nach Wertschöpfungsstufen..... | 170 |
| Tab. 3-7: | Szenario <i>Klimaneutral 2045</i> : Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung durch ausgewählte EE-Technologien 2040 in der Lausitz nach Wertschöpfungsstufen | 171 |
| Tab. 3-8: | Regionale Wertschöpfung nach Wertschöpfungsbestandteilen sowie Beschäftigung durch energetische Sanierung von Wohngebäuden im Jahr 2040 in der Lausitz | 173 |
| Tab. 3-9: | Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung durch die energetische Sanierung von Wohngebäuden im Jahr 2040 in der Lausitz nach Landkreisen | 174 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Tab. 3-10: | Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung durch die energetische Sanierung von Wohngebäuden im Jahr 2040 in der Lausitz nach Gewerken | 176 |
| Tab. 4-1: | Übersicht ausgewählter Energiewendepotenziale in der Lausitz: Status quo im Jahr 2018 und Szenarioergebnisse für das Betrachtungsjahr 2040 | 191 |
| Tab. 4-2: | Erneuerbare Stromerzeugung mit Windenergie- und Photovoltaikanlagen in der Lausitz in 2018 sowie in 2040 unter verschiedenen Szenariobedingungen | 192 |
| Tab. 6-1: | Bestand an TH-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen des Zensus 2011 | 216 |
| Tab. 6-2: | Bestand an MFH-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen des Zensus 2011 | 217 |
| Tab. 6-3: | Bestand an AB-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen des Zensus 2011 | 218 |
| Tab. 6-4: | Bestand an TH-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie | 219 |
| Tab. 6-5: | Bestand an MFH-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie | 220 |
| Tab. 6-6: | Bestand an AB-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie | 221 |
| Tab. 6-7: | Durchschnittliche Wohnungsgrößen in SFH-Wohngebäuden im Bundesgebiet im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie | 222 |
| Tab. 6-8: | Durchschnittliche Wohnungsgrößen in TH-Wohngebäuden im Bundesgebiet im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie | 223 |
| Tab. 6-9: | Durchschnittliche Wohnungsgrößen in MFH-Wohngebäuden im Bundesgebiet im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie | 224 |
| Tab. 6-10: | Durchschnittliche Wohnungsgrößen in AB-Wohngebäuden im Bundesgebiet im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie | 225 |
| Tab. 6-11: | Wohnflächen in SFH-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie | 226 |
| Tab. 6-12: | Wohnflächen in TH-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie | 227 |
| Tab. 6-13: | Wohnflächen in MFH-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie | 228 |
| Tab. 6-14: | Wohnflächen in AB-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie | 229 |
| Tab. 6-15: | beheizte Wohnfläche und wohnflächenspezifische Gebäudebauteilflächen in TH-Gebäuden | 230 |
| Tab. 6-16: | beheizte Wohnfläche und wohnflächenspezifische Gebäudebauteilflächen in MFH-Gebäuden | 231 |
| Tab. 6-17: | beheizte Wohnfläche und wohnflächenspezifische Gebäudebauteilflächen in AB-Gebäuden | 232 |
| Tab. 6-18: | Gesamte Flächen der obersten Geschossdecke als Teil der Gebäudehülle im Gebäudebestand nach Landkreisen und Gebäudetypen aufsummiert über alle Baualtersklassen | 233 |
| Tab. 6-19: | Gesamte Außenwandflächen als Teil der Gebäudehülle im Gebäudebestand nach Landkreisen und Gebäudetypen aufsummiert über alle Baualtersklassen | 234 |
| Tab. 6-20: | Gesamte Flächen des unteren Gebäudeabschlusses (unterkellert) als Teil der Gebäudehülle im Gebäudebestand nach Landkreisen und Gebäudetypen aufsummiert über alle Baualtersklassen | 235 |
| Tab. 6-21: | Gesamte Flächen Fenster als Teil der Gebäudehülle im Gebäudebestand nach Landkreisen und Gebäudetypen aufsummiert über alle Baualtersklassen | 236 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Tab. 6-22: | Bewertungsschema zur Abschätzung des Anteils der Energiewendeaktivitäten am Umsatz und den Beschäftigten bei Mischunternehmen | 240 |
| Tab. 6-23: | Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern bei der Wertschöpfungskette (WSK) Wind Onshore | 241 |
| Tab. 6-24: | Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern bei der WSK PV-Freiflächenanlagen | 242 |
| Tab. 6-25: | Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern bei der WSK PV-Dachanlagen bis 10 kWp | 242 |
| Tab. 6-26: | Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern bei der WSK PV-Dachanlagen > 10 kWp bis 300 kWp | 243 |
| Tab. 6-27: | Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern bei der WSK PV-Dachanlagen > 300 kWp | 243 |
| Tab. 6-28: | Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern für WSK Biogas (Vor-Ort-Verstromung) bis 150 kW _{el} | 244 |
| Tab. 6-29: | Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern für WSK Biogas (Vor-Ort-Verstromung) > 150 kW _{el} - 750 kW _{el} | 244 |
| Tab. 6-30: | Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern für WSK Biogas (Vor-Ort-Verstromung) > 750 kW _{el} | 245 |
| Tab. 6-31: | Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern bei der WSK Biogasaufbereitungsanlagen | 246 |
| Tab. 6-32: | Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern bei der WSK Holzheizkraftwerke | 247 |
| Tab. 6-33: | Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern für WSK holzbefeuerte Zentralheizungsanlagen bis 100 kW _{th} | 247 |
| Tab. 6-34: | Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern bei der WSK Wärmepumpen bis 150 kW _{th} | 248 |

Abkürzungen und Einheiten

| | |
|-------------|---|
| BbgWindAbgG | Brandenburgisches Windenergieanlagenabgabengesetz |
| BB | Brandenburg |
| BGA | Biogasanlage |
| BWF | beheizte Wohnfläche |
| BIPV | Bauwerkintegrierte Photovoltaik |
| EE | Erneuerbare Energien |
| EEG | Erneuerbare-Energien-Gesetz |
| EG | Eignungsgebiete |
| EU | Europäische Union |
| EZFH | Ein- und Zweifamilienhaus |
| GEG | Gebäudeenergiegesetz |
| GW | Gigawatt |
| GWEA | Großwindenergieanlagen |
| h | Stunde |
| ha | Hektar |
| HKW | Heizkraftwerke |
| JAZ | Jahresarbeitszahl |
| kW | Kilowatt |
| KSG | Bundes-Klimaschutzgesetz |
| KWEA | Kleinwindenergieanlagen |
| L-S | Lausitz-Spreewald (brandenburgischer Teil der Lausitz) |
| LK | Landkreis |
| MaStR | Marktstammdatenregister |
| MFH | Mehrfamilienhaus / Multi-Family-House |
| MW | Megawatt |
| MWAE | Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie des Landes Brandenburg |
| NaWaRo | Nachwachsende Rohstoffe |
| O-N | Oberlausitz-Niederschlesien (sächsischer Teil der Lausitz) |

| | |
|------|--------------------------|
| OVG | Oberverwaltungsgericht |
| SFH | Single-Family-House |
| SN | Sachsen |
| t | Tonne |
| TM | Trockenmasse |
| Tsd | Tausend |
| TW | Terrawatt |
| VG | Vorranggebiete |
| PPA | Power Purchase Agreement |
| PV | Photovoltaik |
| PtH | Power-to-Heat |
| VZÄ | Vollzeitäquivalente |
| WEA | Windenergieanlagen |
| WDVS | Wärmedämmverbundsystem |
| WSK | Wertschöpfungskette |

1 Einführung und Grundlagen

1.1 Motivation, Ausgangslage und Projektkontext

Die Energiewende und der Weg zur sogenannten Klimaneutralität¹ ist für die meisten Regionen in Deutschland und Europa – egal ob industriell oder durch Dienstleistungen geprägt – eine sehr große Herausforderung. Eine besondere Situation weisen bisherige sogenannte Kohleregionen (Reviere) auf, da hier nicht nur eine starke technologische Prägung und Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen und damit verbundenen Wertschöpfungsketten existiert, sondern diese häufig auch durch kulturelle und identitätsstiftende Aspekte erweitert wird, die den Umstieg erschweren können (Burdack et al. 2016; Müller und Steinberg 2020). Zudem handelt es sich häufig ebenfalls um strukturschwache Regionen, die bereits weitreichend durch vorgelagerte Entwicklungen wie eine De-Industrialisierung infolge der Globalisierung oder den Zerfall des sogenannten Ostblocks (in Deutschland die Wiedervereinigung), durch Urbanisierung und Landflucht oder durch die damit häufig in Verbindung stehende politische Destabilisierung geprägt sind.

Gleichzeitig gibt es jedoch eine Reihe von Voraussetzungen, die den **Umstieg von einer fossilen Kohleregion zu einer klimaneutralen Energiewenderegion** auch begünstigen können. Hierzu zählen vorhandene Infrastrukturen, eine ausgeprägte und differenzierte Energiewirtschaft und teilweise auch weitere vorteilhafte Standortfaktoren wie wissenschaftliche und/oder Ausbildungseinrichtungen. Diese komplexen Gegebenheiten finden sich auch in der Region Lausitz², die in dieser Studie als Fallregion im Vordergrund steht. Der aus Klimaschutzsicht erforderliche und politisch beschlossene Kohleausstieg trifft hier auf eine strukturschwache Region mit über lange Zeit unterdurchschnittlichen Indikatoren für Wachstum, Beschäftigung und Pro-Kopf-Produktivität im bundesdeutschen Vergleich, die bereits nach der Wende einen massiven Strukturbruch zu verarbeiten hatte (Müller und Steinberg 2020; Ragnitz et al. 2022).

Die vorliegende Studie wurde im Rahmen der Fördermaßnahme Ökonomie des Klimawandels (Phase 2) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und entstand im **Verbundprojekt „DecarbLau: Mobilisierung endogener Entwicklungspotenziale für den Strukturwandel – Dekarbonisierung einer Braunkohleregion“**.³ Im gesamten Verbundvorhaben DecarbLau

¹ Der Begriff der Klimaneutralität beschreibt einen Zustand, der sich nicht (mehr) auf den (menschengemachten) Klimawandel auswirkt (Hirschl et al. 2021; dena 2021). Dies wird insbesondere durch ein Gleichgewicht zwischen Treibhausgasemissionsquellen und -senken erreicht. Den größten Anteil an Treibhausgasen (THG), die u. a. auch Methan und Lachgas umfassen, weisen CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe auf. Klimaneutralität geht jedoch noch über eine CO₂- und Treibhausgasneutralität hinaus, da das Konzept auch weitere klimawirksame Effekte, etwa Luftverschmutzung, Wolkenbildung oder die Rückstrahlung der Erdoberfläche enthält, die jedoch überwiegend noch nicht zuverlässig erfasst und bilanziert werden können (ebda.), weshalb Klimaneutralität sich im Regelfall in den meisten Studien auf THG-Neutralität oder vereinfacht auf CO₂-Neutralität bezieht.

² Wenn hier und nachfolgend von der „Region Lausitz“ die Rede ist, dann ist immer der deutsche Teil der Lausitz ohne den polnischen Teil jenseits der Neiße gemeint (zur Geografie und regionalen Eingrenzung siehe auch Kapitel 1.2).

³ Das Verbundvorhaben DecarbLau wurde von 2019 bis 2022 durchgeführt und von der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg (BTU, Prof. Dr. Stefan Zundel) geleitet. Weitere Partner waren neben mehreren Fachgebieten der BTU das Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung Halle (IWH), die Technische Universität Dresden sowie das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) in Berlin. Die vorliegende Studie ist das Ergebnis des gemeinsamen Teilprojektes des IÖW mit dem Fachgebiet Management regionaler Energieversorgungsstrukturen

ging es um die Analyse endogener Potenziale der Lausitz in den Bereichen Wirtschaft und Innovation sowie um die Identifikation von Aktivierungspotenzialen. Die vorliegende Studie untersucht, inwiefern nachhaltige und zukunftsfähige Perspektiven basierend auf vorhandenen regionalen Potenzialen dem Verlust von Arbeitsplätzen in den durch die fossilen Brennstoffe geprägten Industriezweigen zielgerichtet entgegengesetzt werden können. In der vorliegenden Studie standen diesbezüglich explizit die Entwicklungspotenziale der Energiewendewirtschaft im Vordergrund. So wurde im Koalitionsvertrag der seit 2021 auf Bundesebene amtierenden sogenannten „Ampel“-Regierung festgeschrieben, den Anteil Erneuerbarer Energien (EE) am Strommix Deutschlands von ehemals 65 auf 80 Prozent bis 2030 zu erhöhen (SPD et al. 2021). Zudem wurde der voraussichtliche Bruttostrombedarf im Jahr 2030 auf 680-750 TWh angepasst (vgl. mit 580 TWh im EEG 2021). Die Erschließung dieser Potenziale wird aktuell nach der politisch beschlossenen Energiewende massiv mit Fördermitteln von EU-, Bundes- und Landesebene gefördert – zusätzlich zu den allgemeinen Strukturwandelförderungen für die vom Kohleausstieg betroffenen Regionen (Ragnitz et al. 2022).

Zentrale Fragestellungen dieser Studie sind folglich:

- Welche sind die relevanten Energiewendetechnologien und -bereiche für die Lausitz?
- Wie könnten sich diese unter Berücksichtigung der zukünftig zu erwartenden Rahmenbedingungen, aber auch unter Beachtung von regionalen Standortspezifika entwickeln?
- Welche regionalökonomischen Effekte können sich ergeben, wenn ein möglichst hoher Anteil an regionaler Beteiligung bei der Umsetzung und an den Investitionen erreicht wird?
- Welche Rahmenbedingungen sind erforderlich, um eine möglichst hohe regionale Wertschöpfung der Energiewende vor Ort sicherzustellen?

Die **Ausgangsthese** dieser Studie ist dabei, dass die anstehende Transformation für eine Region wie die Lausitz bei richtiger Ausgestaltung der – insbesondere finanziellen – Beteiligung an der Energiewende unter Ausnutzung ihrer Kompetenzen und Kapazitäten mehr Chancen als Risiken birgt, und auf diese Weise der Wandel von einer „fossilen Energieregion“ in eine zukunftsfähige „Energiewenderegion“ gelingen kann.

1.2 Die Untersuchungsregion Lausitz

Im nachfolgenden Abschnitt wird die Untersuchungsregion Lausitz in Bezug auf die für diese Studie maßgeblichen Merkmale und relevanten Indikatoren kurz eingeführt. Dabei beschreiben die Abschnitte 1.2.1 bis 1.2.3 die geografische Lage sowie Strukturdaten der Region als Grundlage für die erschließbaren Potenziale verschiedener Energiewendebereiche. Im nachfolgenden Abschnitt 1.2.4 wird die Entwicklung und die Größenordnung des regionalen Energieverbrauchs untersucht, um eine Bezugsgröße für Aussagen über Versorgungs- und Exportpotenziale maßgeblicher erneuerbarer Energieträger in der Lausitz ableiten zu können. Die detaillierte Beschreibung standortspezifischer Bedingungen für die ausgewählten Energiewendebereiche Windenergie, Photovoltaik, Bioenergie, energetische Gebäudesanierung und Wärmepumpen erfolgt jeweils für die einzelnen Technologien und Maßnahmen in den nachfolgenden Kapiteln.

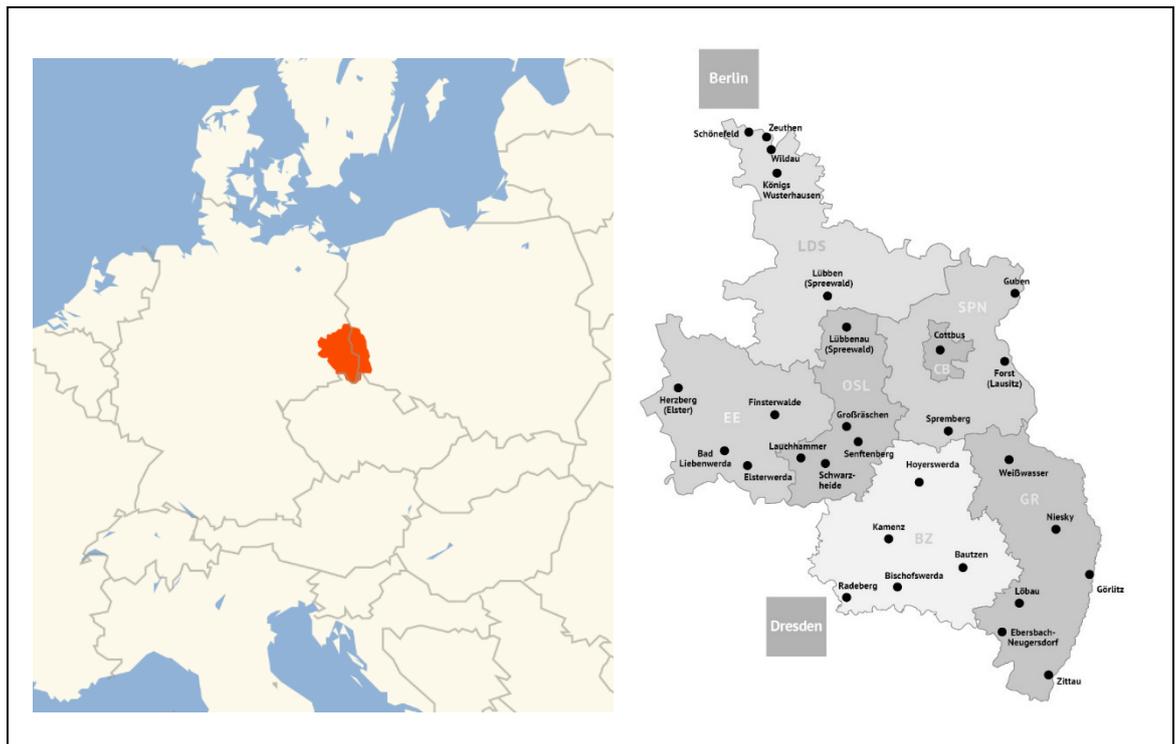


Abb. 1-1: Lage der Lausitz und die Untersuchungsregion Lausitz im Forschungsvorhaben (deutscher Teil)

Quelle: NordNordWest (2016), Wirtschaftsregion Lausitz GmbH (2022)

1.2.1 Geografie und Verwaltungsstruktur

Der deutsche Teil der Region Lausitz⁴ setzt sich aus insgesamt 235 Gemeinden in Südbrandenburg und Ostsachsen zusammen (siehe Abb. 1-1). Im brandenburgischen Teil der Lausitz, der **Planungsregion Lausitz-Spreewald**, liegen die vier Landkreise Dahme-Spreewald, Elbe-Elster, Oberspreewald-Lausitz, Spree-Neiße sowie die kreisfreie Stadt Cottbus. Im sächsischen Teil der Lausitz, der **Planungsregion Oberlausitz-Niederschlesien**, liegen die Landkreise Bautzen und Görlitz. Alle Landkreise, sowie die Stadt Cottbus als einziges Oberzentrum der Region, werden als ländlich klassifiziert (Frondelet al. 2018).

1.2.2 Bevölkerungsentwicklung

Die Region Lausitz ist eine **dünn besiedelte Region**. Durchschnittlich lebten in der Lausitz im Jahr 2019 **98 Einwohnerinnen und Einwohner pro km² Gebietsfläche**, während die Bevölkerungsdichte Deutschlands mit 233 Einwohnerinnen und Einwohner pro km² Gebietsfläche mehr als doppelt so hoch ist (siehe Tab. 1-1). Dabei sind die Landkreise im brandenburgischen Teil der Lausitz ungefähr halb so dicht besiedelt wie die beiden sächsischen Landkreise.

⁴ In dieser Studie beschränkt sich die „Region Lausitz“ auf den deutschen Teil der Region Lausitz. Der polnische Teil der Lausitz wurde in diesem Forschungsvorhaben nicht berücksichtigt.

Die Lausitz ist von einem **starken Bevölkerungsrückgang** betroffen, der voraussichtlich bis 2035 anhält (FrondeI et al. 2018). Seit 1990 ist die Gesamtbevölkerung um etwa 20 Prozent zurückgegangen, von rund 1,4 Millionen auf rund 1,1 Millionen im Jahr 2019 (FrondeI et al. 2018; Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen 2019c; Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2020). Abb. 1-2 zeigt den signifikanten Bevölkerungsrückgang in der Lausitz seit 1995. Anders als in den Bundesländern Brandenburg und Sachsen, in denen die Bevölkerung in der letzten Dekade gestiegen bzw. stabil geblieben ist, sinken die Bevölkerungszahlen in der Lausitz weiter. Lediglich im unmittelbar an Berlin angrenzenden Landkreis Dahme-Spreewald ist die Bevölkerung leicht gewachsen. Die Zahl der Einwohnerinnen und Einwohner der Stadt Cottbus ist zwischen 2007 und 2015 nahezu konstant geblieben (Seibert et al. 2018).

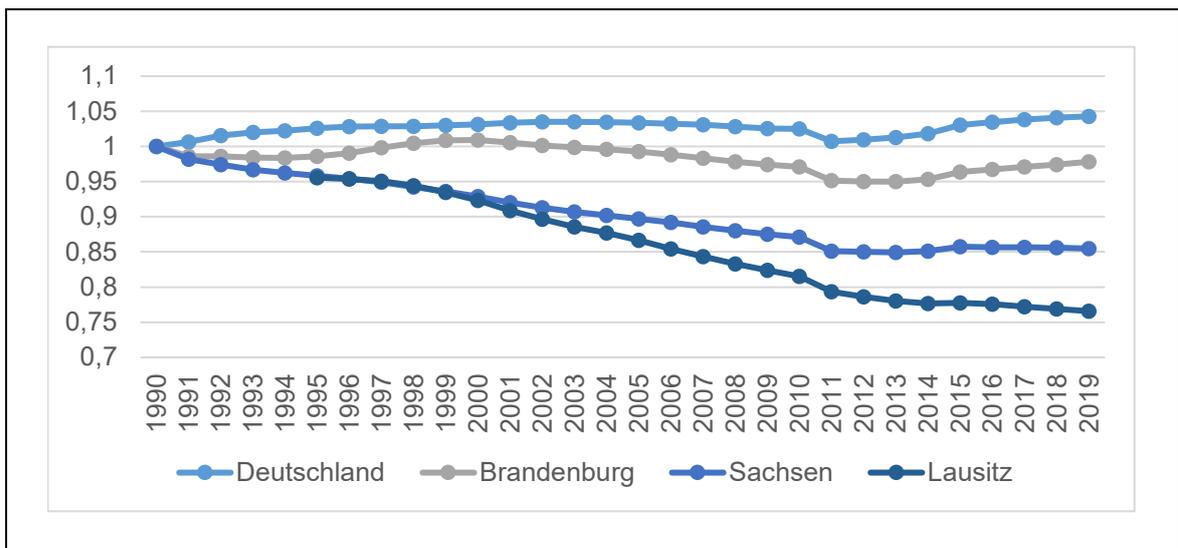


Abb. 1-2: Bevölkerungsentwicklung 1990 bis 2019 im Vergleich (1990=1)

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2021f), Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2022a), Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2019c)

In der Lausitz nimmt insbesondere die Zahl der jüngeren Menschen unter 40 Jahren ab, die seit 2000 um mehr als ein Drittel gesunken ist (FrondeI et al. 2018). Das RWI prognostiziert, dass der Bevölkerungsanteil der über 60 Jährigen in der Lausitz im Jahr 2035 rund 45 Prozent betragen wird, verglichen mit einem geschätzten Anteil von 36 Prozent im Bundesdurchschnitt (FrondeI et al. 2018). Wie in Tab. 1-1 zu sehen, wirkt sich dies schon heute auf den Anteil der Personen im erwerbsfähigen Alter aus, der in der Lausitz 60 Prozent betrug im Vergleich zu einem gesamtdeutschen Anteil der 15-64 Jährigen von 65 Prozent.

Tab. 1-1: Bevölkerungs- und Erwerbstätigenstand (bundesweit, Brandenburg und Sachsen, Lausitzkreise bzw. kreisfreie Städte). Stand 31.12.2019

Gerundete Werte; Quelle: eigene Berechnung auf Grundlage der Daten von Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2021f; 2019), Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2020), Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2021) und Statistisches Bundesamt (2020a)

| Gebiet | Anzahl der Einwohnenden | Fläche [km ²] | Bevölkerungsdichte [je km ² Gebietsfläche] | Anteil Pers. im erwerbsf. Alter [15 bis 64 Jahre] |
|----------------------------|-------------------------|---------------------------|---|---|
| Deutschland | 83.166.711 | 357.588 | 233 | 65 % |
| Brandenburg (BB) | 2.521.893 | 29.654 | 85 | 62 % |
| Sachsen (SN) | 4.071.971 | 18.450 | 221 | 61 % |
| Lausitz | 1.147.870 | 11.727 | 98 | 60 % |
| Cottbus (BB) | 99.678 | 165 | 604 | 63 % |
| Dahme-Spree-wald (BB) | 170.791 | 2.274 | 75 | 62 % |
| Elbe-Elster (BB) | 101.827 | 1.900 | 54 | 61 % |
| Oberspreewald-Lausitz (BB) | 109.371 | 1.223 | 89 | 60 % |
| Spree-Neiße (BB) | 113.720 | 1.657 | 69 | 61 % |
| Bautzen (SN) | 299.758 | 2.396 | 125 | 59 % |
| Görlitz (SN) | 252.725 | 2.111 | 120 | 58 % |

1.2.3 Wirtschaftsstruktur und -daten

Mit der Wiedervereinigung geriet der ehemalige Industriestandort Lausitz in eine wirtschaftliche Randlage und wird als periphere oder sehr **periphere Region** eingestuft, die schwer erreichbar ist (Frondelet et al. 2018). Einzige Ausnahme ist der nördliche Teil des Landkreises Dahme-Spree-wald, der sich durch seine Nähe zu Berlin auszeichnet, aber keine „hinreichende Strahlkraft“ für die Region entwickeln kann (ebda., 196).

Nagel und Zundel (2021) haben die **Wirtschaftszweige** in den beiden Lausitzer Planungsregionen näher betrachtet. Demnach sind einige Teilregionen bedeutend für Unternehmen in der Glas-, Textil-, Kunststoff- und Chemie- sowie Lebensmittelindustrie und der Energiewirtschaft. Letztere ist erheblich vom Braunkohleabbau und der damit verbundenen Energieerzeugung geprägt. Auch der Tourismus entwickelt sich als zukunftsfähiger Wirtschaftszweig positiv, allerdings nicht flächendeckend in der gesamten Region, sondern eher als geografisch begrenzter Cluster.

Lage- und Raumtyp der Lausitz könnten sich negativ auf die Innovations- und Entwicklungsfähigkeit auswirken, wenn **Kosten- bzw. Lohnnachteilen** für Unternehmen bzw. Fachkräfte nicht hinreichend entgegengewirkt wird (Fronde et al. 2018). Einem massiven Strukturbruch, den die Region bereits nach der Wende in den 1990er Jahren erlebt hat, muss deshalb im Kontext des Ausstiegs aus der Braunkohle vorgebeugt werden. Damit sich die Region zu einer innovativen Wirtschaftsregion entwickelt und der jungen Bevölkerung einen attraktiven und lebenswerten Arbeits- und Wohnort bietet, werden aktuell gezielte **strukturpolitische Maßnahmen** aus Finanzhilfen des Bundes gemäß Investitionsgesetz Kohleregionen (InvKG) vom 08. August 2020 auf den Weg gebracht, die zum Teil mit Landesmitteln kofinanziert sind. Dazu zählen die verkehrsinfrastrukturelle Vernetzung der Lausitz mit den Arbeitsmarktzentren Berlin, Leipzig, Dresden und dem polnischen Breslau, sowie die Stärkung von Wissenschaft und Forschung in der Region etwa durch die gezielte Ansiedelung von Instituten und Forschungsgruppen mehrerer Großforschungseinrichtungen oder den Lausitz Science Park, in dem zukünftig rund 1.500 Forschende mit Unternehmen aus der Region vernetzt werden sollen. Die Lausitz als traditionelle Braunkohleregion bietet zudem durch die bestehende Infrastruktur sowie die energiewirtschaftlichen und -technischen Kompetenzen und Kapazitäten von einer größeren Anzahl regionaler Unternehmen, Organisationen und zwei Hochschulen sehr gute Ausgangsbedingungen für die **Transformation zur Energiewenderegion** (Richwien et al. 2018).

Eine weitere wichtige regionalwirtschaftliche Strukturkennzahl ist die **Bruttowertschöpfung** als zentraler Indikator der Wirtschaftskraft. Wie in Tab. 1-2 aufgezeigt wird, erreicht die Lausitz in Summe über alle Landkreise und Städte im Jahr 2018 eine Bruttowertschöpfung in Höhe von ca. 30,4 Mrd. Euro, von denen ca. 44 Prozent auf den sächsischen Teil entfallen. Erst mit einer Bezugsgröße kann diese Kennzahl in ihrer Höhe allerdings richtig eingeordnet werden. Mit 212.830 sozialversicherungspflichtig Beschäftigten entfallen 49 Prozent auf den sächsischen Teil der Lausitz. Daraus ergibt sich eine **Bruttowertschöpfung pro beschäftigter Person** in Höhe von 62.648 Euro im sächsischen Teil und von 77.709 Euro im brandenburgischen Teil. Der Anteil der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten an der Bevölkerung variiert in den Lausitzkreisen zwischen 32 Prozent im Kreis Spree-Neiße und 45 Prozent in der Stadt Cottbus. In der Gesamtregion Lausitz gibt es mit 38 Prozent relativ weniger sozialversicherungspflichtig Beschäftigte im Vergleich zu Deutschland (39 Prozent) und Sachsen (40 Prozent), und relativ mehr Beschäftigte mit Sozialversicherungspflicht im Vergleich zu Brandenburg (34 Prozent). Gemessen an den jeweiligen Bruttowertschöpfungszahlen (pro beschäftigter Person) der Bundesländer Sachsen und Brandenburg gehört der sächsische Teil der Lausitz eher zum wirtschaftsschwächeren Teil des Freistaates, während der brandenburgische Teil leicht über dem Durchschnitt des Bundeslandes liegt. Beide Teile der Lausitz, sowohl in ihrer Einzel- und Gesamtbetrachtung, liegen weit unterhalb des bundesweiten Durchschnitts von 92.310 Euro Bruttowertschöpfung pro beschäftigter Person. Insgesamt ist die Region Lausitz hinsichtlich ihres Lage- und Raumtyps, der demografischen Entwicklung sowie der unterdurchschnittlichen Wirtschaftskraft im bundesweiten Kontext als **strukturschwach** zu beschreiben.

Tab. 1-2: Bruttowertschöpfung und sozialversicherungspflichtig Beschäftigte (bundesweit, Brandenburg und Sachsen, Lausitzkreise bzw. kreisfreie Städte) 2018

Quellen: Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2019a), Amt für Statistik Berlin und Brandenburg (2019a), Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2021a).

| Gebiet | Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte | Anteil sozialversicherungspflichtig Beschäftigte an Bevölkerung | Bruttowertschöpfung [Mio. Euro] | Bruttowertschöpfung / beschäftigte Person [Euro] |
|----------------------------|---|---|---------------------------------|--|
| Deutschland | 32.632.568 | 39 % | 3.012.300 | 92.310 |
| Brandenburg (BB) | 849.148 | 34 % | 64.800 | 76.312 |
| Sachsen (SN) | 1.619.155 | 40 % | 112.000 | 69.172 |
| Lausitz | 433.403 | 38 % | 30.397 | 70.135 |
| Cottbus (BB) | 45.873 | 45 % | 3.191 | 69.562 |
| Dahme-Spree-wald (BB) | 62.535 | 37 % | 5.052 | 67.961 |
| Elbe-Elster (BB) | 33.681 | 33 % | 2.289 | 99.528 |
| Oberspreewald-Lausitz (BB) | 41.439 | 37 % | 2.930 | 70.706 |
| Spree-Neiße (BB) | 37.045 | 32 % | 3.687 | 80.787 |
| Bautzen (SN) | 120.367 | 40 % | 7.171 | 59.577 |
| Görlitz (SN) | 92.463 | 36 % | 6.076 | 65.719 |

1.2.4 Energieverbrauch in der Lausitz

Um später vergleichende Aussagen über die Größenordnungen der zukünftigen Versorgungsmöglichkeiten mit erneuerbaren Energietechnologien in der Region Lausitz sowie über Exportpotenziale treffen zu können, werden hier die Energieverbrauchsdaten eingeführt bzw. abgeschätzt.

Bei den statistischen Landesämtern Berlin-Brandenburg bzw. Sachsen werden die relevanten Energie- und CO₂-Kennwerte lediglich auf Ebene der Bundesländer erhoben. Es liegen daher nur vereinzelt Kennwerte und Abschätzungen aus Studien vor, die beispielsweise im Rahmen der regionalen Energiekonzepte ermittelt wurden. So betrug der gesamte Endenergieverbrauch im brandenburgischen Teil der Lausitz im Jahr 2010 laut dem regionalen Energiekonzept Lausitz-Spree-wald etwa 17.422 GWh (Zschau et al. 2013b). Davon fielen 2.876 GWh bzw. 16,5 Prozent auf den Stromverbrauch, 9.359 GWh bzw. 53,7 Prozent auf Raum- und Prozesswärme und 5.187 GWh bzw. 29,8 Prozent auf den Verbrauch von Kraftstoffen (ebda.) Im sächsischen Teil der Lausitz, der Region Oberlausitz-Niederschlesien, betrug der Endenergieverbrauch im Jahr 2010 laut dem regionalen Energie- und Klimaschutzkonzept 14.955 GWh, wovon 2.648 GWh bzw. 17,7 Prozent auf den Energieträger Strom zurückzuführen sind.

Für eine Einschätzung des regionalen Stromverbrauchs im Betrachtungsjahr 2018 wird mangels Datenverfügbarkeit ein Top-Down Ansatz angewendet: Anhand verschiedener Anteile der Landkreise bzw. der kreisfreien Stadt Cottbus am jeweiligen Bundesland wird der Endenergieverbrauch im Stromsektor für die Gesamtregion Lausitz hergeleitet: Als Bezugsgrößen werden das Bruttoinlandsprodukt, die Anzahl der Erwerbstätigen und die Anzahl der Einwohnerinnen und Einwohner betrachtet (s. o.), die gleich gewichtet werden. Wie Tab. 1-3 zeigt, wird demgemäß angenommen, dass sich ein Anteil der brandenburgischen bzw. sächsischen Lausitz am Stromverbrauch im Land Brandenburg bzw. im Freistaat Sachsen von rund 25 Prozent bzw. 13 Prozent ergibt.

Tab. 1-3: Bezugsgrößen zur Bildung der Strombilanz für Region Lausitz nach Top-Down Ansatz

Quelle: Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2019; 2021b)

| | Bruttoinlandsprodukt | Anzahl Erwerbstätige | Anzahl Einwohnende | Durchschnitt |
|---|----------------------|----------------------|--------------------|--------------|
| Anteil der brandenburgischen Lausitz an Brandenburg | 26 % | 25 % | 24 % | 25 % |
| Anteil der sächsischen Lausitz an Sachsen | 12 % | 13 % | 14 % | 13 % |

Tab. 1-4: Entwicklung Stromverbrauch nach Sektoren (1990, 2010, 2018) in GWh

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an LAK (2021)

Anmerkung: Werte in Klammern: mangels Daten Vorjahreswert verwendet; Industrie umfasst Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden und verarbeitendes Gewerbe; GHD umfasst Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher

| Jahr | Bundesland | Industrie | Verkehr | Haushalte | GHD | Gesamt |
|-------------|------------------|-----------|---------|-----------|-------|--------|
| 1990 | Brandenburg (BB) | 5.118 | 249 | 2.750 | 3.222 | 11.339 |
| | Sachsen (SN) | 9.324 | 324 | 5.246 | 5.962 | 20.856 |
| 2010 | BB | 6.398 | 661 | 3.365 | 3.257 | 13.681 |
| | SN | 8.720 | 479 | 5.289 | 5.722 | 20.210 |
| 2018 | BB | 6.994 | 545 | 3.591 | 3.288 | 14.418 |
| | SN | 10.688 | (492) | 5.305 | 4.968 | 21.452 |

Tab. 1-4 schlüsselt die Entwicklung des Stromverbrauchs (Endenergieverbrauch des Energieträgers Strom) in den Bundesländern Brandenburg und Sachsen in den Jahren 1990, 2010 und 2018

auf.⁵ Die Aufschlüsselung nach Sektoren in Tab. 1-4 zeigt, dass der Stromverbrauch seit 1990 gestiegen ist. Seit 2010 steigt der Stromverbrauch vor allem in der Industrie, und stärker in Sachsen als in Brandenburg. In den Sektoren GHD und Verkehr zeichnet sich demgegenüber für 2018 noch keine zunehmende Elektrifizierung durch Sektorkopplung.

Wie Tab. 1-5 zeigt, liegt der anteilige Stromverbrauch nach dem oben gewählten Top-Down Ansatz im brandenburgischen Teil der Lausitz etwa 15 Prozent über dem ermittelten Verbrauch im regionalen Energiekonzept, während der Wert nach Zschau et al. (2013a) und der geschätzte Verbrauch nach Top-Down Ansatz für den sächsischen Teil der Lausitz etwa identisch ist. Entsprechend wird für die Schätzung für das Jahr 2018 ein 15-prozentiger Abschlag für die Region Lausitz-Spreewald angenommen. Damit beträgt der geschätzte Stromverbrauch in der Lausitz im Jahr 2018 rund 5.760 GWh. Wie in Tab. 1-5 zu sehen ist, fallen davon 3.060 GWh auf die brandenburgische Planungsregion Lausitz-Spreewald und rund 2.700 GWh auf die sächsische Planungsregion Oberlausitz-Niederschlesien.

Tab. 1-5: Geschätzter Endenergieverbrauch (alle Sektoren und Strom) in der Region Lausitz in den Jahren 2010 und 2018

Gerundete Werte; Eigene Berechnung auf Basis der oben beschriebenen Top-Down Methode, sowie unter Berücksichtigung der Prognosen von Zschau et al. (2013a) und Scheuermann et al. (2012a).

| | Lausitz-Spreewald (BB) | Oberlausitz-Niederschlesien (SN) | Lausitz (gesamt) |
|---|-------------------------------|---|-------------------------|
| Ermittelter Endenergieverbrauch (alle Sektoren) in 2010 nach regionalen Energiekonzepten [in GWh] | 17.422 | 14.955 | 32.377 |
| Ermittelter Stromverbrauch in 2010 nach regionalen Energiekonzepten [in GWh] | 2.876 | 2.648 | 5.524 |
| Geschätzter Stromverbrauch in 2010 nach Top-Down Ansatz (ohne 15% Abschlag für L-S) [in GWh] | 2.907 (3.420) | 2.627 | 5.534 (6.047) |
| Geschätzter Stromverbrauch in 2018 [in GWh] | 3.060 | 2.700 | 5.760 |

Im Vergleich dazu haben nach schriftlicher Auskunft der Energieagentur Brandenburg die Endenergieverbrauchssektoren im brandenburgischen Teil der Lausitz im Jahr 2018 nur 2.672 GWh über die Stromnetze bezogen (WFBB 2019). Damit liegen sowohl der in 2010 ermittelte Stromverbrauch von Zschau et al. (2013a) als auch der nach Top-Down Ansatz hergeleitete Stromverbrauch (inklusive 15 Prozent Abschlag) in 2018 höher. Dies kann auf unterschiedliche methodische Abweichungen zurückgeführt werden, beispielsweise können die Eigenverbräuche industrieller Betriebe hier

⁵ Für die Berechnung des Stromverbrauchs wurden Stromaustausch (zuzüglich Strombezug und abzüglich Stromlieferung) und Stromverluste (Umwandlungsverluste bei Stromerzeugung und Leitungsverluste) von der Bruttostromerzeugung abgezogen.

möglicherweise nicht bzw. unterschiedlich erfasst sein. Auf Basis der erhaltenen Ergebnisse gehen wir hier folglich vereinfacht von einer Spannweite von 5.500 bis 6.000 GWh als Größenordnung für den heutigen Stromverbrauch aus, von dem rund 3.000 GWh auf den brandenburgischen Teil und rund 2.700 GWh auf den sächsischen Teil entfallen.⁶

⁶ In den hier untersuchten Regionalen Energiekonzepten wurden seinerzeit ebenfalls Abschätzungen für die zukünftigen Energieverbräuche getroffen. Im Energiekonzept für Lausitz-Spreewald wurde bereits damals angenommen, dass der Stromverbrauch bis 2025 aufgrund der Sektorenkopplung trotz der sinkenden Bevölkerung steigen wird; nach Zschau et al. (2013a) sollte er in 2025 auf rund 3.300 GWh ansteigen. Dieses Ergebnis kann aus heutiger Sicht als durchaus plausibel, wenn gleich konservativ angesehen werden. Dagegen wurde im Regionalen Energie- und Klimaschutzkonzept für Oberlausitz-Niederschlesien von Scheuermann et al. ((2012a) bis 2020 gemäß der damals geltenden Energiestrategie der Bundesregierung von 2010 ein leicht reduzierter Endenergieverbrauch von 13.798 GWh prognostiziert, mit einem ebenfalls leicht reduzierten Stromverbrauch von 2.394 GWh.

2 Status quo, Potenziale und Szenarien relevanter Energiewendetechnologien

2.1 Methodik und Technologieauswahl

Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Ermittlung des Status quo und der Potenziale ausgewählter Energiewendetechnologien sowie bei der Ermittlung der Szenarien. Die detaillierte Beschreibung der Quellen und technologiespezifischen Methodik erfolgt zusammen mit der jeweiligen Ergebnisdarstellung und Diskussion in den sich hieran anschließenden Technologiekapiteln.

Bei den Analysen zur Technologieverbreitung und den jeweiligen Potenzialen konnte nur in seltenen Fällen auf **regionale Daten und Studien** zurückgegriffen werden. Dies ist einerseits dadurch bedingt, dass die Lausitz keine eigene Gebietskörperschaft darstellt und sich zudem über zwei Bundesländer erstreckt. Andererseits sind die hier im Vordergrund stehenden Technologien bzw. Untersuchungsgegenstände (wie die Bioenergie, unterschiedliche Photovoltaiktechnologien oder aber die energetische Sanierung) bisher nicht in der Form in öffentlichen Statistiken erfasst, dass diese auf kommunaler oder regionaler Ebene für die hier vorliegenden Fragestellungen ausgewertet werden können.

Die meisten umfassenderen Datenerhebungen und Analysen für die Region Lausitz lagen im Zeitraum der Erarbeitung bereits mehrere Jahre zurück. Als maßgebliche Literaturquellen sind hier unter anderem das regionale Energiekonzept (REK) Lausitz-Spreewald (Zschau et al. 2013a), das regionale Energie- und Klimaschutzkonzept (REKK) für die Planungsregion Oberlausitz-Niederschlesien (Scheuermann et al. 2012b) oder aber der Projektbericht „Erneuerbare Energien-Vorhaben in den Tagebauregionen“ (Richwien et al. 2018) zu nennen. Vor diesem Hintergrund wurde neben der Literatur- und Datenauswertung öffentlich verfügbarer Daten und Quellen zum einen eine Reihe von **Befragungen und Interviews** bei zuständigen Stellen und Fachpersonen aus Politik und Verwaltung (Regional- und Landesebene) sowie aus der Energie(wende-)wirtschaft durchgeführt. Zum anderen erfolgten Abschätzungen zur Abbildung der heutigen und zukünftigen Situation in der Region Lausitz auf der Basis von übertragbaren **überregionalen Studien** (Status quo-Analysen und Szenarien). Dabei hatten erste Priorität Studien und Daten von der jeweiligen Landesebene (Sachsen und Brandenburg), an zweiter Stelle wurden nationale Studien herangezogen und anhand von ausgewählten regionalen Indikatoren auf die Untersuchungsregion übertragen. Dies erfolgte, wo möglich und methodisch sinnvoll, differenziert für die brandenburgische bzw. sächsische Lausitz.

2.1.1 Technologieauswahl und Status quo-Analysen

Im Rahmen der vorliegenden Studie erfolgte zunächst eine Eingrenzung der zu untersuchenden Energiewende-Technologien und Energieeffizienzmaßnahmen in der Lausitz. Maßgeblich dafür waren die Kriterien der **technischen und regionalökonomischen Relevanz für die Lausitz** sowie die **Bearbeitbarkeit** im Rahmen des Projekts. Während die technische Relevanz sich zunächst auf das heutige und möglicherweise in Zukunft entwickelnde Technologiespektrum sowie die jeweiligen Ausbau- bzw. Entwicklungszahlen (z. B. installierte Anlagen, sanierte Gebäude, regionalökonomische Relevanz entlang der Wertschöpfungsketten o. ä.) bezieht, umfasst das zweite Kriterium Aspekte wie Datenverfügbarkeit, die Komplexität und Heterogenität eines Themenfeldes, der Zu-

gang zu Akteuren oder auch bereits vorhandene Modellierungen für die anstehenden Arbeitsschritte, was jeweils die Anzahl der zu untersuchenden Technologie/ Effizienzmaßnahmen beeinflusst.

Vor diesem Hintergrund wurden auf der Basis einer breiten Literaturrecherche⁷ und unter Berücksichtigung der oben genannten Kriterien fünf Technologien/ Effizienzmaßnahmen ausgewählt, die sich zum Teil wiederum in verschiedene Anwendungen aufzählen, von denen erneut eine Auswahl nach den o. g. Kriterien getroffen wurde. Ausgewählt wurden somit die nachfolgenden, für die Energiewende in der Lausitz relevanten Technologien/ Effizienzmaßnahmen, die nach unserer Einschätzung eine signifikante regionalökonomische Bedeutung entfalten können:

- Onshore-Windenergie
 - Ohne Betrachtung von Kleinwindanlagen, welche zukünftig ggf. auch Potenziale aufweisen können, jedoch voraussichtlich mit deutlich geringeren Anteilen.
- Photovoltaik (gebäudeintegriert sowie Freifläche inklusive Floating- und Agri-PV)
 - Erhält den Vorzug vor der Solarthermie, welche ebenfalls Potenziale aufweist (dezentral und in der Fernwärme), die jedoch meist deutlich geringer eingeschätzt werden.
- Bioenergie (Fokus auf Biogas, Biomethan, Holz-HKW und Kleinfeuerungsanlagen)
 - Es gibt viele weitere Bioenergieanwendungen; für die Bereiche der Strom- und Wärmeerzeugung werden hier die (aktuell) bedeutendsten adressiert. Biokraftstoffe werden angesichts der aktuellen Kontroversen und der damit unklaren Entwicklungsperspektive ausgeklammert.
- Wärmepumpen (erdgekoppelt und Luft-Wärmepumpen) zur dezentralen Wärmeversorgung in Gebäuden
 - Ohne größere Wärmepumpen, die ebenfalls sehr große Potenziale aufweisen, insbesondere in der Fernwärme. Diese sind jedoch aufgrund großer Diversität der verwendeten Umweltenergie und heterogener Anwendungsbedingungen schwierig zu modellieren.
- energetische Gebäudesanierung (klassische energetische Dämmmaßnahmen bezogen auf den regionalen Gebäudebestand).

Viele weitere Energiewendetechnologien können darüber hinaus für die Lausitz relevant werden, wie beispielsweise die Elektromobilität, Energiespeicher und wasserstoffbasierte Power-to-X-Technologien (PtX). Für die Erstgenannten gilt jedoch, dass ein Großteil der Wertschöpfung durch die industrielle Produktion erfolgt, deren Ansiedelung in der Lausitz sicherlich wünschenswert ist, jedoch nur bedingt durch regionale Politik und Rahmensetzung beeinflusst werden kann. Demgegenüber können bei den oben ausgewählten Technologien im Regelfall auch unter Ausklammerung der industriellen Produktion hohe Wertschöpfungspotenziale entlang der mitunter langen Wertschöpfungsketten in der Region entstehen (hierzu ausführlicher in Abschnitt 3.2).

Für die Wasserstoff-/PtX-Anwendungen gilt, dass diese aktuell jenseits von Pilotvorhaben noch nicht weitergehend „beobachtet“ werden können (Problematik der Datenverfügbarkeit), dass sie

⁷ Neben eigenen Vorarbeiten zu spezifischen Technologien und Dienstleistungen im Bereich Energiewende wurden hierfür technologieübergreifende Literaturquellen ausgewertet, darunter die Technologieberichte im strategischen Leitprojekt „Trends und Perspektiven der Energieforschung“ des BMWi (2021) oder der EEG-Erfahrungsbericht (BMWK 2022).

eine große Heterogenität und damit eine schwer zu modellierende Komplexität aufweisen, und dass die regionale Verfügbarkeit von einer Reihe überregionaler, infrastruktureller Entscheidungen abhängen wird. Dennoch wird aufgrund der vermutlich großen Potenziale in den genannten Zukunftstechnologien, die im Rahmen dieser Studie nicht näher betrachtet werden, eine eingehendere Untersuchung dringend empfohlen.

Grundlegend für die Ermittlung der erschließbaren Potenziale bei Energiewendetechnologien und Energieeffizienzmaßnahmen ist die Abbildung des Status quo. Als Basisjahr für die Erfassung des Ist-Zustands wurde im Projektverbund das **Jahr 2018** festgelegt. Das bedeutet, dass das Projektteam für den Stichtag 31.12.2018 den Ausbaustand einzelner EE-Technologien sowie den Gebäudebestand und Sanierungszustand erfasst bzw. abgeschätzt hat.

2.1.2 Potenzialanalysen

Der Potenzialbegriff wird in der Literatur nicht einheitlich definiert. In der Regel wird mit Blick auf die Nutzung regenerativer Energien jedoch zwischen dem theoretischen, technischen, wirtschaftlichen / ökonomischen, ökologischen und erschließbaren / realisierbaren⁸ Potenzial unterschieden (Ehrlich 1998; Hirschl et al. 2011; Kaltschmitt et al. 2013). In einzelnen Studien werden die Potenzialebenen auch kombiniert; so betrachten etwa Lütkehus et al. (2013) das technisch-ökologische Potenzial.

Das **theoretische Potenzial** beschreibt das in einem abgegrenzten Gebiet und Zeitraum theoretisch physikalisch nutzbare (Energie-)Angebot. Limitierende Faktoren sind hier im Regelfall lediglich die physikalischen Nutzungsgrenzen (Kaltschmitt et al. 2013). Technische, ökologische, strukturelle und administrative Faktoren werden nicht berücksichtigt, weshalb das theoretische Potenzial für eine Beurteilung der Realisierbarkeit ungeeignet ist (Ehrlich 1998).

Das **technische Potenzial** ist die Teilmenge des theoretischen Potenzials, die mit heute verfügbarer Technik realisiert werden kann. Es berücksichtigt ausschließlich technische Restriktionen auf Angebots- und Nachfrageseite, z. B. Umwandlungsverluste bei der Nutzenergiegewinnung (Kaltschmitt et al. 2013).

Für die Umsetzbarkeit eines Vorhabens ist das **wirtschaftliche Potenzial** als Teilmenge des technischen Potenzials relevant (Kaltschmitt et al. 2013). Hier werden zusätzlich energiewirtschaftliche Aspekte berücksichtigt und der Frage nachgegangen, welcher Anteil des technischen Potenzials wirtschaftlich genutzt werden kann. Relevant sind hier beispielsweise die fossilen bzw. konventionellen Referenztechnologien sowie das Niveau der Energiepreise (Ehrlich 1998; Kaltschmitt et al. 2013). Bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit spielen auch immer die politischen Rahmenbedingungen eine Rolle, welche die Ermöglichung von Geschäftsmodellen maßgeblich beeinflussen.

Das **ökologische Potenzial** stellt den Teil des technischen Potenzials dar, der unter Berücksichtigung ökologischer Restriktionen zum Beispiel in (Natur)Schutzgebieten nutzbar ist (Lütkehus et al. 2013).⁹

⁸ Die hier aufgeführten Begriffspaare werden in der Literatur jeweils synonym verwendet.

⁹ Das ökologische Potenzial wird insbesondere im Kontext von Biomassepotenzialanalysen auch als „nachhaltiges Potenzial“ bezeichnet (Thrän et al. 2012)

Das **erschließbare oder realisierbare Potenzial** stellt den zu erwartenden tatsächlichen Beitrag einer regenerativen Energiequelle zur Energieversorgung dar und ist im Regelfall eine Teilmenge des technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Potenzials, das weitere Restriktionen und Eingrenzungen umfasst (Kaltschmitt et al. 2013; Lütkehus et al. 2013). Wesentlich für die Erschließung der Potenziale sind beispielsweise Herstellerkapazitäten, Nutzungs- bzw. Abschreibungszeiträume von bereits vorhandenen Anlagen zur Energieerzeugung und -nutzung sowie rechtliche und administrative Hürden, Informationsdefizite und Akzeptanzprobleme in Bezug auf bestimmte Energiequellen oder Technologien aber auch Anreize wie Fördermaßnahmen oder Informationskampagnen (Kaltschmitt et al. 2013; Hirschl et al. 2011).

Die Darstellung der Potenziale von Energiewende-Technologien und Energieeffizienzmaßnahmen in der Lausitz konzentriert sich auf die technischen und wirtschaftlichen Potenziale. Diese werden in einem nächsten Schritt mit dem derzeitigen Ausbaustand verglichen und vor dem Hintergrund standortabhängiger und -unabhängiger Restriktionen diskutiert. Unter den spezifischen Voraussetzungen der beiden entwickelten Szenarien (siehe nachfolgenden Abschnitt für eine allgemeine Einführung sowie spezifische Erläuterungen in den Abschnitten 2.2 bis 2.6) werden schließlich die unter den jeweiligen Annahmen als realisierbar eingeschätzten Potenziale abgeleitet.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass in die Potenzialanalysen eine Reihe von Annahmen wie zum Beispiel Ausschlusskriterien in Bezug auf die Flächennutzung, Flächennutzungsquoten, Raumbedarfe der Technologien sowie Anforderungen an den Standort einfließen. Dies schränkt die Vergleichbarkeit der ermittelten Potenziale in den einzelnen Energiewendebereichen ein. Darüber hinaus verändern sich diese Annahmen im Verlauf der Zeit, bedingt etwa durch technologische Entwicklungen oder energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen. Zudem können sich technologiespezifische Flächenbedarfe durch gekoppelte, hybride Konzepte zukünftig deutlich reduzieren. Solche Mehrfachnutzungen einer Fläche (beispielsweise durch gekoppelte Wind- und Agri-PV-Anlagen mit Biomasseproduktion) sind nicht nur flächeneffizient, sondern sparen auch Infrastrukturen wie Umspannwerke und Netzanschlüsse ein.

2.1.3 Szenarioanalysen

Inwiefern die technisch-ökonomischen Potenziale der Lausitz im Bereich Energiewendewirtschaft in den nächsten Jahren und Jahrzehnten erschlossen werden, hängt von verschiedenen Parametern ab. In diesem Forschungsvorhaben werden mögliche Entwicklungspfade der Energiewendewirtschaft in der Lausitz anhand von **zwei relevanten Szenarien** abgebildet. Der Möglichkeitsraum innerhalb der zwei Szenarien ist dabei normativ ausgerichtet bzw. wird von verschiedenen Zielvorgaben flankiert.¹⁰ Dabei orientiert sich das grundsätzliche Design der beiden Szenarien an gängigen Konzeptionen vieler Szenariostudien: Im Regelfall wird ein (konservatives) Referenz- oder Business-as-usual-Szenario einem ambitionierteren Zielszenario gegenübergestellt.

In unserem Fall beziehen wir das „konservativere“ Szenario auf die zum Zeitpunkt der Berichterstellung gültigen Energiestrategien und die energiepolitische Rahmensetzung für Brandenburg und Sachsen (Szenario **Current Policies**). Dieser politische Rahmen war zum Zeitpunkt der Studiererstellung noch nicht auf Klimaneutralität ausgerichtet.

¹⁰ Zu theoretischen Grundlagen und zur praktischen Konzeption von Energieszenarien siehe auch Grunwald et al. (2016).

Dementsprechend stellen wir diesem *Current Policies*-Szenario eine ambitioniertere Entwicklung unter Berücksichtigung von aktuell diskutierten Klimaneutralitätsanforderungen gegenüber (Szenario **Klimaneutral 2045**), die wir auf die Lausitz übertragen.

Die Basis hierfür ist kein gesamtwirtschaftliches, Energiesystem- oder Treibhausgasmodell der Lausitz – derartige Modelle liegen derzeit für die Lausitz nicht vor und wären auch nur mit erheblichem Aufwand erstellbar (zur Problematik der regionalen Datenverfügbarkeit siehe oben). Zudem bliebe auch bei Existenz solcher Modelle die Entscheidung zu treffen, welchen spezifischen Beitrag die Lausitz mit welcher Technologie zur überregional zu erreichenden Klimaneutralität leisten kann und sollte. Zur Beantwortung dieser Frage wurden im Rahmen der hier vorgenommenen Szenarioanalysen aktuelle überregionale Studien herangezogen, die sich mit technologiespezifischen sowie sektorübergreifenden Anforderungen und Datengerüsten zur Erreichung der Klimaneutralität bis spätestens 2045 (in der Regel auf nationaler Ebene) befassen haben. Dabei beziehen sich diese Studien auf das seit dem Jahr 2021 gemäß EU-Klimaschutzgesetz sowie Bundesklimaschutzgesetz gültigen gesetzlichen Zieljahr 2045 für das Erreichen der Klimaneutralität. Diese (nationalen, in Teilen länderspezifischen) Zielwerte wurden zum einen in Beziehung gesetzt zu geeigneten regionalen Indikatoren, zum anderen zu den regionalspezifischen technisch-ökonomischen Potenzialen.

Maßgeblich für die Wahl des Betrachtungsjahrs war der energie- und klimapolitische Meilenstein, bundesweit bis 2038 aus der Kohle auszusteigen. Zum Zwecke der besseren Vergleichbarkeit zu bestehenden Energieversorgungsszenarien, die im Regelfall in Fünf- oder Zehnjahresintervalle gegliedert sind, wurde im Rahmen dieser Studie das **Betrachtungsjahr 2040** ausgewählt. Für die bessere Nachvollziehbarkeit der Szenarioparameter erfolgt ihre detaillierte Betrachtung in den technologiespezifischen Kapiteln 2.2 bis 2.6, die im Anschluss an diesen Abschnitt folgen. Für jede der betrachteten Technologien/ Energieeffizienzmaßnahmen wurden abschließend auf der Basis der Zielwerte des Szenarios *Klimaneutral 2045* Empfehlungen für Maßnahmen formuliert, um die Weichen für eine beschleunigte Energiewende in der Lausitz als Beitrag zum Erreichen der Klimaneutralität zu stellen.

2.2 Windenergie

Windenergie gilt – zusammen mit der Photovoltaik – als tragende Säule der dekarbonisierten Energieversorgungssysteme der Zukunft (Falkenberg et al. 2021; SMEKUL 2021; Luderer et al. 2021; Sterchele et al. 2020; dena 2021). Windenergie bzw. Windstrom wird mit Windenergieanlagen (WEA) an Land (Onshore) und auf dem Meer (Offshore) gewonnen. Häufig werden mehrere WEA als Windpark in einem gemeinsamen Netzverknüpfungspunkt gebündelt. Um den Windenergieausbau an Land zu stärken, sollen einerseits neue Standorte für WEA ausgewiesen werden, andererseits sollen beim sogenannten „**Repowering**“ ältere WEA an einem bestehenden Standort durch moderne und leistungsstärkere Anlagen ersetzt werden (Hengstler et al. 2021). Aktuell erreichen neu installierte Onshore-WEA Nabenhöhen und Rotorblattdurchmesser von jeweils über 100 Meter und Leistungen von mittlerweile über 3 MW. So hat die durchschnittliche, im Jahr 2018 zugebaute WEA an Land eine Anlagenleistung von rund 3,23 MW, einen Rotordurchmesser von 118 m und eine Nabenhöhe von 132 m (Hengstler et al. 2021). Offshore werden derzeit bereits mehr als doppelt so hohe Leistungen entwickelt und projektiert (Hengstler et al. 2021). Kleinwindenergieanlagen mit geringeren Leistungen bis 75 kW können für den Eigenverbrauch und aufgrund des deutlich geringeren Genehmigungsaufwands interessant sein. In der nachfolgenden Zusammenstellung und Analyse werden der **Ausbauzustand und die Potenziale der Windenergie an Land** in der Lau-

sitz dargestellt. Dabei können mögliche Zukunftstechnologien wie Kleinwindenergieanlagen mit horizontaler und vertikaler Achse oder Flugwindkraftanlagen zur Stromerzeugung aus Höhenwind¹¹ aufgrund fehlender Daten nicht berücksichtigt werden und es bleibt abzuwarten, inwieweit diese Technologien sich durchsetzen können (Thiele et al. 2021).

2.2.1 Status quo

Allgemeine Entwicklung in Deutschland

Vor dem Hintergrund der EEG-Novellierungen 2014 und insbesondere 2017 durchlebte der Windkraftausbau bundesweit eine wechselhafte Entwicklung. Während in der Zeit von 2014 bis 2017 im Onshore-Marktsegment durchschnittlich 4 GW pro Jahr neu installiert worden sind, brach der Markt infolge der neuen **Ausschreibungsregelungen** sowie einer **Vielzahl von Klagen und Planungsrestriktionen** auf nahezu ein Viertel (1.078 MW Brutto) im Jahr 2019 ein (BWE 2021a). Seit der Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) 2017 müssen Windkraft- und Photovoltaikanlagen mit einer installierten Leistung größer 750 kW bei Ausschreibungen einen Zuschlag erhalten, bevor sie errichtet werden dürfen. Im Rahmen des Ausschreibungsverfahrens wird auch der Preis für die 20-jährige, garantierte Vergütungshöhe ermittelt. Mit dem Beginn der Ausschreibungen hat der Anteil überregional agierender, großer Investoren zugenommen, während der Leistungsanteil regionaler Bürgerenergieakteure bei Onshore-WEA gesunken ist (Weiler et al. 2021).

Seit dem Jahr 2020 erfolgte wieder ein leichter Anstieg auf einen Onshore-Bruttozubau von 1.431 MW, der im Jahr 2021 um weitere 35 Prozent auf 1.925 MW angewachsen ist (BWE 2022). Allerdings ist dieses **Zubautempo unzureichend**, um mit den Klimazielen der Bundesregierung und dem wachsenden EE-Strombedarf Schritt zu halten (BWE 2022). Gemäß aktueller Studien und Forderungen von Branchenverbänden müsste der **jährliche Windenergie-Bruttozubau bundesweit mindestens 5.000 MW** (5.600-7.700 MW) betragen, um den zukünftigen Strombedarf in Deutschland zu decken und die verschärften Klimaschutzziele auf Bundesebene zu erreichen (BDEW 2021b; BWE 2021c; Luderer et al. 2021; Prognos et al. 2021). Seit Beginn des Jahres 2021 fallen darüber hinaus immer mehr WEA aus der 20-jährigen EEG-Vergütung. Inwieweit die aktuell von der Bundesregierung vorgeschlagenen Regeln für sogenannte **Post-EEG-Anlagen** einen wirtschaftlichen Weiterbetrieb ermöglichen, ist derzeit noch unklar. Ein wichtiger Faktor für den Weiterbetrieb im Rahmen der Direktvermarktung ist auch die Entwicklung der Börsenstrompreise, die nach einem coronabedingten Verfall im Jahr 2020 auf ein Rekordhoch im August 2021 gestiegen sind (rbb24 2021; Deutsche WindGuard GmbH 2021a, 13). Mit dem Ende 2021/Anfang 2022 angesichts der Gaspreisexplosion ebenfalls stark angestiegenen Strombörsenpreisen ist die Wirtschaftlichkeit zwar kurzfristig gegeben; dennoch braucht es auch auf die längere Sicht hierfür stabile Rahmenbedingungen.

Politische Rahmenbedingungen, Bezug zu Akzeptanz und regionaler Wertschöpfung

Insgesamt ist der Windenergiezubau in Deutschland (Onshore und Offshore) aufgrund von **langen und komplexen Planungs- und Genehmigungsverfahren** (u. a. Konflikte mit Naturschutz, Abstandsregeln, unklare Planungsgrundlagen) bei gleichzeitigem Personalmangel in den Behörden seit einigen Jahren bundesweit stark zurückgegangen (Bett et al. 2021; Deutsche WindGuard GmbH 2020a; Deutsche WindGuard GmbH 2020b). Ein weiteres Hemmnis ist seit einigen Jahren

¹¹ In Brandenburg entwickelt etwa das Start-up Enerkite Flugwindkraftanlagen als automatisierte, mobile Drachensysteme (www.enerkite.de, letzter Zugriff am 02.02.2022)

außerdem die teilweise **Akzeptanzproblematik** vor Ort und/oder **fehlende Anreize** für die lokale Bevölkerung (Hübner et al. 2020a; IÖW et al. 2020). Um die mangelnde Akzeptanz vor Ort zu erhöhen, hat die Bundesregierung mit **§ 6 der EEG-Novelle 2021** einen freiwilligen Mechanismus eingeführt, nach dem Standortkommunen bis zu 0,2 Cent pro kWh von den Anlagenbetreibern erhalten können. Je nach Bauhöhe und Standortbedingungen¹² kann eine moderne Windenergieanlage der 5 bis 6 MW-Klasse mit einem 70 Prozent Referenzertrag Zuwendungen von bis zu 30.000 Euro pro Jahr generieren (UKA 2021). Inwieweit diese freiwillige Maßnahme tatsächlich in der Breite umgesetzt wird und die Akzeptanz bzw. kommunale Eigenaktivitäten im Rahmen der regionalen Planungsprozesse pro Windkraftanlage erhöhen kann, bleibt abzuwarten. Als „härteres“ Instrument mit Vorbildcharakter gilt das in 2019 eingeführte **Brandenburger Windenergieanlagenabgabengesetz** (BbgWindAbgG), mit dem umliegende Kommunen einen rechtlichen Anspruch auf eine Zahlung von 10.000 € pro Jahr und WEA haben. Da es den Landesgesetzgebungen laut EEG 2021 grundsätzlich erlaubt ist, weitergehende Regelungen zur Bürgerbeteiligung und für die Akzeptanz von EE-Vorhaben zu treffen, ist das BbgWindAbgG mit der freiwilligen Zahlung nach § 6 Abs. 2 EEG 2021 kombiniert anwendbar (Landesregierung Brandenburg 2021).

Zudem können Standortkommunen über **Gewerbesteuererträge**, deren Anteil im Jahr 2021 von 70 Prozent auf 90 Prozent erhöht wurde, an der Wertschöpfung von Betreibergesellschaften teilhaben. Zusätzlich verbessert bzw. verstetigt sich die Wertschöpfung dadurch, dass von nun an auf die installierte Leistung und nicht mehr auf das Sachanlagevermögen abzüglich Abschreibungen abgestellt wird. Allerdings wird es auch weiterhin einzelne Anlagen(parks) geben, die aufgrund von Abschreibungen und anderen bilanziellen Vorgängen keine Gewerbeerträge ausweisen. In diesen Fällen reduziert sich die regionale Wertschöpfung auf **Pachtzahlungen** für private oder kommunale Flächen an Grundstückseigentümerinnen und –Eigentümer bzw. die Kommune (Salecki und Hirschl 2021).

Entwicklungen in der Lausitz

Analog zur Entwicklung auf Bundesebene ist auch in Brandenburg und Sachsen der Windenergiezubau infolge der Einführung von Ausschreibungen nach EEG 2017 massiv eingebrochen (BWE 2021b). Neben den oben angesprochenen bundesweiten Hemmnissen gibt es in der Lausitz zusätzliche landesrechtliche und regionalplanerische Hürden. Ein Beispiel hierfür ist das für die Brandenburger Region Lausitz-Spreewald seit 7. Oktober 2020 geltende **Windkraftmoratorium**, wodurch die Genehmigung raumbedeutsamer Windenergieanlagen für zwei Jahre in der gesamten Planungsregion (vier Landkreise sowie die kreisfreie Stadt Cottbus) vorläufig unzulässig ist (GL BB 2020). Für die sächsische Region Oberlausitz-Niederschlesien kann festgehalten werden, dass die Fortschreibung des Regionalplans und damit eine Aktualisierung der Flächenausweisung seit nunmehr 7 Jahren andauert (RPV O-N 2021). Aufgrund der Kopplung von Wind-Vorranggebieten mit der Wirkung von Eignungsgebieten ist zudem bis zum heutigen Tag die Errichtung von **WEA außerhalb der festgesetzten Gebietskulissen ausgeschlossen** (Zaspel-Heisters 2015).

Der Ausbaustand der Windenergie für das Berichtsjahr 2018¹³ in den beiden Planungsregionen Lausitz-Spreewald im Land Brandenburg und Oberlausitz-Niederschlesien im Freistaat Sachsen wird in Tab. 2-1 vergleichend dargestellt. Die Region Lausitz-Spreewald hat Ende 2018 mit 1,85 Prozent der Regionalfläche ungefähr ähnlich viel Fläche für WEA wie das Land Brandenburg

¹² Von WEA betroffene Kommunen sind nach § 6 EEG 2021 alle, deren Gebiet im 2,5 km Radius um die Turmmitte einer WEA liegt. Bei mehreren betroffenen Kommunen wird der Betrag flächenanteilig verteilt (UKA 2021).

¹³ Stichtag für die Angaben ist der 31.12.2018.

ausgewiesen (1,9 Prozent der Landesfläche Ende 2017 (Bons et al. 2019)). In der sächsischen Region Oberlausitz-Niederschlesien betrug demgegenüber der Anteil der Flächen für die Windenergienutzung Ende 2018 nur 0,22 Prozent der Gesamtfläche. Insgesamt liegt Sachsen beim Ausbau der Windenergie mit einem Flächenanteil von 0,2 Prozent deutlich hinter den übrigen Flächenländern zurück (Bons et al. 2019; Deutsche WindGuard GmbH 2021b). Im Vergleich dazu betrug der bundesweite Anteil der ausgewiesenen oder im Ausweisungsprozess befindlichen Flächen für die Windenergienutzung Ende des Jahres 2017 circa 0,9 Prozent, wobei diese Zahl mit Unsicherheiten behaftet ist (Bons et al. 2019).¹⁴

Tab. 2-1: Ausbaustand der Windenergie in der Region Lausitz, 31.12.2018

Quelle: Mitteilung vom Ministerium für Wirtschaft und Energie Brandenburg (MWE 2019) am 22.8.2019 sowie vom Regionalen Planungsverband Oberlausitz-Niederschlesien (RPV O-N) am 19.08.2019.

Anmerkung: Bei den mit einem * gekennzeichneten Leistungs- und Stromerzeugungsangaben in Klammern handelt es sich um WEA, die in Windvorrang- bzw. Eignungsgebieten (VRG/EG) gemäß Regionalplan 2010 errichtet wurden.

| Planungsregion | Anzahl errichtete WEA gesamt | Anzahl Wind-VRG/ Wind-EG | Installierte Leistung [in MW _p] | Stromerzeugung [in GWh/a] | Gesamtfläche der Wind-EG [in km ²] | Anteil der Wind-EG an Regionsfläche |
|---|------------------------------|--------------------------|---|---------------------------|--|-------------------------------------|
| Lausitz-Spree-wald (7220 km ²) | 862 | 41 | 1.766 | 3.268 | 133,8 | 1,85 % |
| Oberlausitz-Niederschlesien (4496 km ²) | 213 (*158) | 23 | 339,8 (*264,4) | 536 (*423) | 9,94 | 0,22 % |
| Lausitz gesamt | 1.075 | 64 | 2.105,8 | 3.804 | 143,74 | 1,23 % |

2.2.2 Potenziale

Ausbauziele, Potenziale und Szenarien für Deutschland

Auf Bundesebene wurden im Jahr 2019 mit dem Klimaschutzgesetz sowie dem Klimaschutzprogramm 2030 maßgebliche energiepolitische Ziele festgelegt. Zudem befinden sich seit dem Bundesländer-Windgipfel im Herbst 2019 eine Vielzahl von Maßnahmen zur Förderung des stark eingebrochenen Windenergieausbaus in Entwicklung, von denen jedoch viele vor der EEG-Novelle 2021 nicht umgesetzt worden sind (Deutscher Bundestag 2020). Die Ausschreibungsvolumina zur Erreichung der EE-Ausbaupfade werden auf bundespolitischer Ebene festgelegt. Auch für die Onshore-

¹⁴ Verschiedene Restriktionsfaktoren haben in den letzten Jahren dazu geführt, dass eine ausgewiesene Fläche nicht oder nur partiell mit Windenergieanlagen bebaut wird. Dazu gehören Einwände der Flugsicherung oder des Militärs, pauschale Abstandsregeln, artenschutzrechtliche Bedenken, oder Konflikte zwischen Projektverantwortlichen und Grundstückseigentümerinnen und -eigentümern (Bons et al. 2019; SRU 2022). Dies spricht dafür, zukünftig höhere Flächenanteile auszuweisen, um den Anteil nicht realisierbarer Projekte mit zu berücksichtigen.

Windenergie ist der Zubau-Pfad für die 2020er Jahre mittels flankierender Zielmarken im Zwei-Jahres-Takt definiert. Demnach soll nach den bisherigen Plänen der Bundesregierung die installierte Leistung bei Onshore-Wind von rund 54 GW in 2020 auf 71 GW in 2030 steigen, um das im EEG 2021 verankerte Ziel zu erreichen, den Anteil von EE-Strom am Bruttostromverbrauch bis zum Jahr 2030 auf 65 Prozent zu heben (§ 1 Absatz 2 Satz 1 EEG 2021). Dies entspricht einem jährlichen Zubau von durchschnittlich etwa 1,7 GW. Diese Ausbauziele sind vor dem Hintergrund des Fit for 55-Pakets der Europäischen Kommission sowie des verschärften Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) deutlich nach oben zu korrigieren. Im neuen Koalitionsvertrag der rot-grün-gelben Bundesregierung wird diesbezüglich auf das Ziel verwiesen, 2 Prozent der Landesflächen für Windenergie an Land auszuweisen und insgesamt bis 2030 den Strom zu 80 Prozent aus erneuerbaren Energien bereitzustellen (SPD et al. 2021).

Das **bundesweite Flächen- und Leistungspotenzial der Windenergie** an Land beträgt einer Studie des Umweltbundesamtes (UBA) aus dem Jahr 2013 zufolge 49.361 km² bzw. 13,8 Prozent der Landesfläche der Bundesrepublik (Lütkehus et al. 2013). Auf den geeigneten Flächen lassen sich rund 1.190 GW Windenergieleistung installieren, die bei mittleren Volllaststunden etwa 2.900 TWh/a Windstrom erzeugen (ebda.). Bei der Potenzialermittlung von Lütkehus et al. (2013) wurden keine Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen durchgeführt, und ausschließlich technische und ökologische Restriktionen berücksichtigt, die nicht der Einzelfallbetrachtung bedürfen. Da besondere Artenschutzbelange aufgrund der nötigen Einzelfallprüfung nicht Teil der Potenzialermittlung sind, ist das technisch-ökologische Potenzial wesentlich geringer (ebda.). Das realisierbare Ausbaupotenzial für Onshore-Wind, das von genehmigungs- und planungsrechtlichen ebenso wie von gesellschaftlichen und politischen Entscheidungen beeinflusst wird, ist wiederum kleiner (Lütkehus et al. 2013). Darüber hinaus wurden in einer kürzlich erschienen Studie des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) Potenziale für eine mensch- und naturverträgliche Raumbeanspruchung durch Onshore-Wind und weitere EE-Anlagen ermittelt (Thiele et al. 2021). Flächen des geringen Raumwiderstands für Wind an Land nehmen, je nach Szenariovariante, zwischen 1,1 Prozent bzw. 3.930 km² und 2,3 Prozent bzw. 8.300 km² der Fläche Deutschlands ein. Auf diesen Flächen lassen sich je nach Variante 149 bis 427 GW Leistung installieren, die zwischen 414 und 1.051 TWh/a Windstrom erzeugen können (ebda.).

Ein Blick auf die Prognosen maßgeblicher, aktueller Energiesystemstudien für die Bundesrepublik in 2045 zeigt, dass der Bruttozubau der Windenergie an Land rund 2 bis 8 GW pro Jahr betragen muss (siehe Tab. 2-2), damit die CO₂-Emissionsreduktionen in Deutschland bis 2030 um -65 Prozent gesenkt und bis 2045 auf nettonull reduziert werden können. Die prognostizierten Ausbaustände für das Jahr 2045 reichen von 124 bis 221 GW (ebda.). Dabei ist die große Spannbreite auf unterschiedliche Annahmen bezüglich nachfrageseitiger Einsparpotenziale (bzw. der absoluten Höhe des Stromverbrauchs), des Einsatzes von Bioenergie und Solarenergie, des Grads der direkten Elektrifizierung sowie des Imports von Strom, Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen zurückzuführen. Zudem wird beim Vergleich der Studien deutlich, dass die Anlagenparameter darüber entscheiden, wie viel Windstrom erzeugt werden kann. Während die Studie des Bundesverbands der Deutschen Industrie (Burchardt et al. 2021) bei 180 GW Onshore-Wind mit 440 TWh/a rechnet, ermittelt der Ariadne-Szenarienreport (Luderer et al. 2021) bei 180 GW installierter Onshore-Leistung eine Nettostromerzeugung von lediglich 206,9 TWh/a.

Tab. 2-2: Vergleich der Ausbauzahlen der Onshore-Windenergie bis 2045 aus aktuellen Energiesystemstudien

Quellen: ¹Luderer et al. (2021); ²dena (2021); ³Prognos et al. (2021); ⁴Brandes et al. (2020); ⁵Burchardt et al. (2021);. Eigene Darstellung. Gerundete Werte. *bis 2030; **ab 2030; *** Basierend auf altem Klimaschutzziel.

| Ausgewählte Studien | Ariadne Report: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 ¹ | Dena Leitstudie: Aufbruch Klimaneutralität ² | Klimaneutrales Deutschland 2045 ³ | Fraunhofer ISE: Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem ⁴ | BDI Studie: Klimapfade 2.0 - Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft ⁵ |
|--|--|---|--|---|---|
| Installierte Leistung [GW _p] | 130 – 180 | 124 | 145 | 221 | 180 |
| Bruttozubau [GW _p /a] | 5,6 – 7,7 | 3,3* 2,1** | 4,5* 7** | 8,4 | k. A. |
| Nettostromerzeugung [in TWh/a] | 151,3 – 206,9 | 198,6 | 252 | 500*** | 440 |

Potenziale in der Lausitz

Zur Ermittlung der Windenergiepotenziale für die Lausitz werden nachfolgend überwiegend Erzeugungspotenziale aus den zuletzt im Rahmen der 2012 und 2013 veröffentlichten regionalen Energiekonzepten herangezogen (siehe Tab. 2-3). Das im Jahr 2013 erarbeitete Regionale Energiekonzept für die Planungsregion Lausitz-Spreewald (Zschau et al. 2013a) ermittelte ein Onshore-Stromerzeugungspotenzial von **8.294 GWh/a in der brandenburgischen Lausitz**.¹⁵ Zschau et al. (2013a) berücksichtigen die (damals) bestehenden Normen und Gesetzgebungen sowie die wirtschaftliche Machbarkeit, sodass dieses Potenzial hier als technisch-ökonomisches Potenzial interpretiert wird. Im Vergleich zu der Ende 2018 in der Brandenburger Lausitz bestehenden Windstromerzeugung von 3.268 GWh/a (siehe voriger Abschnitt) ergibt sich damit ein Ausbaukorridor in der Größenordnung von ca. 5.000 GWh/a. Weit weniger ambitioniert ist das auf Basis der Brandenburger Energiestrategie ermittelte regionale Erzeugungspotenzial in Höhe von 5.547 GWh/a, das im Rahmen des – mittlerweile für unwirksam erklärten – Teilregionalplan aus dem Jahr 2016 ermittelt wurde (Regionale Planungsgemeinschaft Lausitz-Spreewald 2016).

Für eine erste Annäherung der **Windenergie-Potenziale in der sächsischen Lausitz** wurde das im Jahr 2012 erstellte regionale Energie- und Klimaschutzkonzept herangezogen (Scheuermann et al. 2012c).¹⁶ Ein Vorhaben zur Fortschreibung des regionalen Energie- und Klimakonzepts für die sächsische Region Oberlausitz-Niederschlesien ist derzeit nicht bekannt. Im regionalen Energie-

¹⁵ Das regionale Energiekonzept wird aktuell überarbeitet; auch hier liegen zum Berichtszeitpunkt noch keine endgültigen Daten vor.

¹⁶ Zudem wurden im kommunalen Energie- und Treibhausgasbericht des Landkreises Bautzen (Will et al. 2019) der lokale Windkraftausbau prognostiziert. Diese Prognose reicht allerdings nur bis ins Jahr 2020.

und Klimaschutzkonzept ermittelten Scheuermann et al. (2012c) ein weitgehend natur- und raumverträgliches Flächenpotenzial von 3.688 bis 8.018 ha (in den Szenarien „Wind-Basis“ und „Wind+“), was hier als technisch-ökologisches Potenzial interpretiert wird. Es entspricht rund 0,8 bzw. 1,8 Prozent der Gesamtfläche der Planungsregion. Das erwartete Stromerzeugungspotenzial liegt **zwischen 1.579 GWh/a (Wind-Basis) und 3.309 GWh/a (Wind+)** pro Jahr (Scheuermann et al. 2012c). Tatsächlich wurden bis Ende 2018 Windenergieanlagen mit Stromerzeugungserträgen von insgesamt 536 GWh/a auf 0,22 Prozent der Gesamtregionsfläche errichtet (RPV O-N 2019). Damit liegt der reale Ausbau der Windkraft bei etwa 1/3 bzw. 1/6 des von Scheuermann et al. (2012c) ermittelten Potenzials für die Planungsregion.

Tab. 2-3: Wind-Ausbaupotenziale gemäß veröffentlichter Regionalstudien

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Scheuermann et al. (2012c), Zschau et al. (2013a)

| | |
|---|-------------------------------|
| Region Lausitz-Spreewald (Brandenburg) | |
| Status quo (2018) | 3.268 GWh/a |
| Technisch-ökonomisches Potenzial gemäß Regionalem Energiekonzept Lausitz-Spreewald (REK) 2013 | 8.294 GWh/a |
| Region Oberlausitz-Niederschlesien (Sachsen) | |
| Status quo (2018) | 536 GWh/a |
| Technisch-ökologisches Potenzial gemäß Regionalem Energie- und Klimaschutzkonzept (REKK) 2012 | 1.579 bis 3.309 GWh/a |
| Gesamtpotenzial Lausitz | 9.873 bis 11.603 GWh/a |

Für eine Einordnung dieser (veralteten) Regionalstudien werden die zu Beginn dieses Abschnitts vorgestellten bundesweiten Flächenpotenzial- und Energiesystemstudien herangezogen und an die flächen- und bevölkerungsmäßigen Anteile der Lausitz (siehe Abschnitt 1.2.2 für Bevölkerungs- und Flächenanteile) angepasst. Wie Tab. 2-4 zeigt, ergibt die regionalspezifische Extrapolation der bundesweiten Studien **nach Bevölkerungsanteil** ein Nettostromerzeugungspotenzial **von rund 2.100 bis 40.600 GWh/a**, während das **nach Flächenanteil hergeleitete Potenzial für die Lausitz deutlich höher bei rund 5.000 bis 95.120 GWh/a** liegt. Im Vergleich hierzu liegt das summierte Potenzial der regionalen (Energie- und) Klimaschutzkonzepte für die Lausitz von rund 9.900 bis 11.600 GWh/a im oberen Bereich der hier vereinfacht ermittelten Spannweite der Energiesystemstudien, und liegt deutlich unter den Flächenpotenzialen, die vom BfN (Thiele et al. 2021) und vor allem vom UBA (Lütkehus et al. 2013) ermittelt wurden. Jedoch ist dieser erste Vergleich nur für eine erste grobe Einordnung sinnvoll, da den Studien verschiedene Potenzialbegriffe zugrunde liegen.

Tab. 2-4: Wind-Ausbaupotenziale gemäß Regionalstudien und bundesweiter Studien
Gerundete Werte; Eigene Berechnungen und Darstellung auf Basis von Brandes et al. (2020); Burchardt et al. (2021); dena (2021); Luderer et al. (2021); Lütkehus et al. (2013), Prognos et al. (2021); Scheuermann et al. (2012c), Thiele et al. (2021), Zschau et al. (2013a)

| Ausgewählte Studien (2012 – 2021) | Regional(isiert)e Potenziale für Nettostromerzeugung in der Lausitz [in GWh/a] |
|--|--|
| Umweltbundesamt Potenzialstudie (Lütkehus et al. 2013) | Anteil nach Bevölkerung: 40.600 Anteil nach Fläche: 95.120 |
| Regionale Energiekonzepte (summiert) (Zschau et al. 2013 und Scheuermann et al. 2012) | 9.873 bis 11.603 |
| Bundesamt für Naturschutz Potenzialstudie (Thiele et al. 2021) | Anteil nach Bevölkerung: 5.796 bis 14.714 Anteil nach Fläche: 13.580 bis 34.473 |
| Ariadne Report (Luderer et al. 2021) | Anteil nach Bevölkerung: 2.118 bis 2.897 Anteil nach Fläche: 4.963 bis 6.786 |
| dena Leitstudie (dena 2021) | Anteil nach Bevölkerung: 2.780 Anteil nach Fläche: 6.514 |
| Klimaneutrales Deutschland 2045 (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2021)) | Anteil nach Bevölkerung: 3.528 Anteil nach Fläche: 8.266 |
| Fraunhofer ISE (Update): (Brandes et al. 2020) | Anteil nach Bevölkerung: 7.000 Anteil nach Fläche: 16.400 |
| BDI Studie: (Burchardt et al. 2021) | Anteil nach Bevölkerung: 6.160 Anteil nach Fläche: 14.432 |

Im nachfolgenden Abschnitt wird das realisierbare Potenzial der Onshore-Windenergie in der Lausitz anhand von zwei unterschiedlich ambitionierten Szenarien neu bewertet. Für aktuelle Aussagen über die realisierbaren Potenziale der Windenergienutzung in der Lausitz sind dabei u. a. folgende Einflussfaktoren von Bedeutung:

- Im Jahr 2020 hat die sogenannte Post-EEG-Phase begonnen, mit der die ersten EEG-geförderten Anlagen aus der Vergütung fallen. Noch ist schwer abzusehen, wie groß der Anteil der Altanlagen in der Lausitz ist, der danach weiter betrieben, mittels Repowering ersetzt oder mangels wirtschaftlicher Perspektive ersatzlos zurückgebaut wird (Falkenberg et al. 2021). Von den mehr als 3.870 Bestands-WEA in Brandenburg wurden bis Ende des Jahres 2020 für insgesamt 429 WEA Stilllegungen angezeigt (Landtag Brandenburg 2021), im Jahr 2021 wurden jedoch erst 15 WEA stillgelegt (Deutsche WindGuard GmbH 2021b). Im Land Brandenburg, das besonders früh mit dem Ausbau der Windkraft angefangen hat, fallen bis 2026 nach Angaben der Landesvertretungen des BWE und VKU fast die Hälfte der aktuellen WEA aus der EEG-Förderung (BWE BB und VKU BB 2021) und brauchen eine verbindliche Perspektive. Im ungünstigsten Fall könnte es sonst in den Jahren 2023 bis 2029 zu einem Netto-Rückbau der insgesamt in Brandenburg installierten WEA kommen (Falkenberg et al. 2021; MWAE 2021).

Dem stehen allerdings gegenwärtig die aktuell außergewöhnlich hohen Strombörsenpreise entgegen (siehe a. a. O.).

- Um die Nutzung bereits etablierter Standorte durch Repowering mit einer vereinfachten Genehmigung zu ermöglichen, braucht es eine Repoweringstrategie (BWE BB und VKU BB 2021). In Brandenburg wurden im Jahr 2021 14 WEA mit einer Gesamtnennleistung von 57 MW repowert (Deutsche WindGuard GmbH 2021b). In Sachsen wurde im Jahr 2021 eine WEA zugebaut, keine einzige Anlage repowert und zwölf WEA abgebaut, sodass in Sachsen als einzigem Bundesland ein Netto-Rückbau in Höhe von 7 MW stattfand (Deutsche WindGuard GmbH 2021b).
- Neben der effizienten Nutzung der bestehenden Standorte und einem hohen Grad an Repowering müssen für einen beschleunigten Ausbau der Windenergie zusätzliche Flächen in den Regionalplänen ausgewiesen werden (Zschau et al. 2013a). Hierbei können Brandenburg und Sachsen als Flächenländer mehr WEA bauen als beispielsweise das dicht besiedelte Nordrhein-Westfalen. Allerdings wird der Ausbau vor dem Hintergrund **langwieriger Genehmigungsverfahren** und **regionalplanerischer Unwägbarkeiten** aktuell in beiden Planungsregionen erschwert. So wurde etwa in der Planungsregion Lausitz-Spreewald der Sachliche Teilregionalplan Windenergienutzung im Jahr 2020 für unwirksam erklärt. In der Folge ist die Genehmigung raumbedeutsamer Windenergieanlagen bis Oktober 2022 in der gesamten Planungsregion vorläufig unzulässig, es sei denn diese sind planungsrechtlich über einen kommunalen Bauleitplan abgesichert.
- Einen weiteren Einfluss auf die Potenzialerschließung haben **Abstandsregelungen zu Siedlungen**. Während ihre signifikant mindernde Wirkung auf die Potenzialflächen belegt ist (UBA 2019), ist ein positiver Zusammenhang zur lokalen Akzeptanz hingegen wissenschaftlich nicht belegt.¹⁷ Dennoch hat die Landesregierung in Sachsen im Januar 2022 von der Länderöffnungsklausel im Baugesetzbuch Gebrauch gemacht und einen 1.000 m-Mindestabstand für WEA zur Wohnbebauung beschlossen. Als Kompromiss wurde dem Gesetz – ähnlich wie in Nordrhein-Westfalen – hinzugefügt, dass der Mindestabstand bei Zustimmung der betroffenen Gemeinde(n) unterschritten werden darf, wenn diese einer Abweichung z. B. beim Repowering bestehender Anlagen zustimmen (dpa 2022). Auch das brandenburgische Kabinett hat einem Gesetzentwurf der Landesregierung zugestimmt, und den Mindestabstand von neuen WEA zur Wohnbebauung auf 1.000 Meter festzulegen. Über das Gesetz soll der brandenburgische Landtag im Frühjahr 2022 entscheiden (Staatskanzlei Land Brandenburg 2021).
- Größere **Teilhabemöglichkeiten von Kommunen**, von Bürgerinnen und Bürgern sowie von Unternehmen aus der Region erscheinen essenziell für eine Erhöhung der lokalen Akzeptanz (Hübner et al. 2020b; IÖW et al. 2020), da nur dann auch der ökonomische Nutzen und damit Wertschöpfung und Beschäftigung vor Ort entstehen. Das in 2019 eingeführte **Brandenburgische Windenergieanlagenabgabengesetz** (BbgWindAbgG), das bereits oben näher erläutert wurde, hat die spätere bundesweite Regelung des § 6 EEG 2021 vorweggenommen und stellt damit eine wichtige Grundlage für lokale Teilhabe dar. In der aktuellen Fassung ist die EEG-

¹⁷ Hübner et al. (2020a, 23) schreiben hierzu: „Zwar weisen einzelne Studien in der Tat negative Zusammenhänge zwischen Abstand und Akzeptanz auf, wobei aber die Abstände nur subjektiv erfasst wurden. Werden objektive Abstände berücksichtigt, finden sich dagegen keine oder sogar positive Zusammenhänge zwischen Wohnabstand und Einstellungen – je näher die AnwohnerInnen an den Anlagen wohnten, desto positiver waren ihre Einstellungen zu diesen. Dieser positive Zusammenhang war schwach und sollte daher nicht überbewertet werden – macht aber deutlich, dass es umgekehrt keine belastbare Grundlage für einen negativen Zusammenhang gibt, wenn AnwohnerInnen bereits erfahren mit Windenergieanlagen sind.“

Regelung zwar noch auf freiwilliger Basis eingeführt, die neue Regierungskoalition hat sich jedoch vorgenommen, diese verbindlich auszugestalten. Darüber hinaus sollten Rahmenbedingungen geschaffen werden, die es den Kommunen selbst oder ihren kommunalen Unternehmen, aber auch lokalen Unternehmen und Bürgerinnen und Bürgern stärker und ggf. sogar vorrangig ermöglichen, EE-Anlagen selbst zu errichten oder sich zumindest maßgeblich an der Investition zu beteiligen, da dies den Großteil der Wertschöpfung umfasst – die aus Akzeptanzgründen vorrangig in der Region verbleiben sollte (Salecki und Hirschl 2021).

- Die Lausitz kann als dünn besiedelter Raum **überregionale Energiedienstleistungsfunktionen** für die angrenzenden Ballungszentren Dresden und Berlin bzw. Gemeinden in Ostdeutschland übernehmen und verfügt damit über zusätzliche Wertschöpfungspotenziale. So wurden im Jahr 2018 in der Region Lausitz-Spreewald mit 3.268 GWh im Vergleich zu einem Endenergieverbrauch von 2.672,2 GWh/a¹⁸ bereits mehr als 120 Prozent des in der Region abgesetzten Stroms mit Windenergie erzeugt.
- Beim Ausbau der Windkraft gilt es, bestehende und neu ausgewiesene Flächen so sparsam wie möglich zu nutzen. **Hybride Anlagenmodelle**, in der beispielweise Windenergie- und PV-Freiflächenanlagen gekoppelt werden, sind flächenschonend und nutzen die Netzinfrastruktur in effizienter Weise (Richwien et al. 2018). Zusätzlich können **Flächenpotenziale auf ehemaligen Tagebauflächen** erschlossen werden. Diesbezüglich ermittelt die Studie „Erneuerbare Energievorhaben in Tagebauregionen“ ein technisch-ökonomisches Potenzial für WEA auf ausgekohlten und aktiven Tagebauflächen im Lausitzer Revier in der Höhe von knapp 2 GW (ebda.). Für diesen Potenzialwert wird angenommen, dass die ermittelten Flächen zu 80 Prozent genutzt werden, die Standortgüte mindestens 70 Prozent beträgt, bestehende Anlagen repowert werden und nicht in Sperrgebieten zugebaut wird. Würden die bergrechtlich gesperrten Gebiete zusätzlich genutzt werden – dies betrifft insbesondere Sperrgebiete passiver Tagebauflächen – kann das technisch-ökonomische Potenzial auf über 5 GW anwachsen (ebda.). Um die zusätzlichen Flächenpotenziale zu erschließen, sind umfassende **Anpassungen von Planungsrecht** (Raumordnung, Landes- und Regionalplanung) und **fachplanerischen Rahmenbedingungen** (Bergrecht, Braunkohleplanung, Braunkohlesanierungsplanung) notwendig. Welchen Beitrag die Nachnutzung von Tagebauflächen zur Energiewende in der Lausitz leisten kann, illustrieren die Windparks Forst-Briesnig I (seit Ende 2018 am Netz) und II (Inbetriebnahme für Ende 2023/Anfang 2024 geplant) auf den Rekultivierungsflächen des Tagebaus Jänschwalde. Zudem plant die LEAG den Windpark Forst Briesnig II, mit dem bis zu 17 WEA etwa 270.000 MWh/a Strom ins Netz einspeisen können (LEAG 2021).

¹⁸ Daten für die Region Lausitz-Spreewald, bereitgestellt am 12.05.2021 von der Energieagentur des Landes Brandenburg als Angebot der Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH (WFBB).

Textbox 1: Nutzung der Tagebauflächen in der Lausitz für erneuerbaren Energien

Tagebauflächen in der Lausitz umfassen einerseits Flächen des Altbergbaus (passive Tagebauflächen) und andererseits Flächen, die für den aktiven Bergbau genutzt werden (sollen). Während die Verfügungsgewalt für passive Flächen bei der LMBV GmbH liegt, sind die aktiven Flächen im Eigentum der LEAG, welche mit bergrechtlich genehmigten Betriebsplänen die Auskohlung der klar umrissenen Tagebauflächen vornimmt (Richwien et al. 2018). Die Sanierung der Bergbaufolgelandschaften erfolgt auf der Basis von bergrechtlichen Betriebsplänen bzw. Sanierungsbetriebsplänen. Betriebspläne dienen den Zielstellungen: Prüfung, Errichtung und Führung des Bergbetriebs; Sanierungsbetriebspläne der Wiederherrichtung ausgekohlter Flächen für eine landwirtschaftliche, forstwirtschaftliche, wasserwirtschaftliche (bzw. touristische) Nachnutzung und deren erforderliche Wegeinfrastrukturen. Schadensabwehr und die Gewährleistung der Betriebssicherheit sind Kernanliegen von Betriebs- bzw. Sanierungsbetriebsplänen. Explizit nicht Gegenstand eines Betriebsplans bzw. Sanierungsbetriebsplans sind Regelungen zur Nachnutzung der Flächen als Erneuerbare-Energien-Standorte. Nicht unerhebliche Teile der Bergbau-Folgelandschaften unterliegen zwischenzeitlich natur- und artenschutzrechtlichen Restriktionen, welche mit dem Ausbau von erneuerbaren Energien im Konflikt stehen können.

Ob für die erforderliche Flächenbereitstellung für die Windkraftnutzung Tagebauflächen genutzt werden können, hängt von der zukünftigen Regionalplan- und Sanierungsrahmenplanfortschreibung ab. Hier müssten explizite Vorgaben von der Bundes- und Landespolitik kommen, sodass die Nachnutzung der Flächen des Altbergbaus zukünftig in einer entsprechenden Größenordnung für die Nutzung von erneuerbaren Energien bereitstehen. Diese Ziele müssten Eingang in die Fortschreibung der regionalplanerischen Sanierungsrahmenpläne bzw. die Sanierungsbetriebspläne finden, nach denen die LMBV GmbH die passiven Bergbaufolgelandschaften für eine landwirtschaftliche, forstwirtschaftliche, wasserwirtschaftliche oder touristische Folgenutzung rekultiviert.

Es wäre beispielsweise zu diskutieren bzw. juristisch zu prüfen, ob nach Abschluss der Rekultivierungsarbeiten der passiven Bergbauflächen durch die LMBV GmbH oder beauftragte Subunternehmen der Flächenverkauf nach Entlassung aus dem Bergrecht mit einer Klausel im Kaufvertrag versehen werden kann, wonach ein Prozentsatz der veräußerten Flächen für eine Nutzung von erneuerbaren Energien bereitzustellen ist. In den vergangenen Jahren waren ein allgemeiner Wassermangel in der Lausitz und eine erhebliche Wasserverdunstung bei den entstandenen Tagebauseen im Lausitzer Seenland feststellbar. Es kam wiederholt zu Rutschungen an den Randböschungsbereichen der gefluteten Seen, weshalb die LMBV GmbH aktuell bei der Veräußerung von bergbausaniierten Flächen äußerst zurückhaltend ist. Die Flächen müssten zudem vor der Veräußerung aus dem Bergrecht entlassen werden.

Auch für Flächen, welche für den aktiven Tagebau vorgesehenen sind und über die die LEAG über genehmigte Betriebspläne zum Kohleabbau verfügt, könnte eine (Nach-)Nutzung in Form einer Anpassung der Betriebspläne, Ausgliederung von Teilflächen aus den Betriebsplänen zugunsten einer Nutzung für erneuerbare Energien möglich sein. Dies wäre mit den zuständigen Bergämtern einerseits in die Wege zu leiten und andererseits mit der betreffenden regionalen Planungsstelle abzustimmen. Im Fall einer Regionalplanfortschreibung könnten hier Flächenausweisungen als Wind-Vorrang- und Eignungsgebiete erfolgen, d. h. die Flächen, welche eigentlich im Sinne des Bergrechts für den Kohlebergbau vorgesehenen waren, werden in Vorrang- und Eignungsgebiete für die EE-Nutzung umgewidmet.

2.2.3 Szenarien

Nachfolgend werden zwei Szenarien für die zukünftige Entwicklung der Windenergie in der Lausitz bis zum Betrachtungsjahr 2040 vorgestellt, deren Annahmen hinsichtlich Anlagenkonfiguration, Flächenbedarf und Repowering variieren. Das *Current Policies*-Szenario bildet die Entwicklungen in der Lausitz basierend auf der zum Zeitpunkt der Berichterstellung gültigen Energiestrategien für Brandenburg und Sachsen ab. Das *Klimaneutral 2045*-Szenario stellt ein ambitionierteres Ausbauszenario für die erfolgreiche Transformation zur Klimaneutralität dar, das auf den von der Stiftung Klimaneutralität (2021b) ermittelten Windenergie-Beitragswerten der jeweiligen Bundesland- bzw. Landkreisflächen basiert.

In beiden Szenarien werden analog zum Vorgehen in einer Windenergie-Potenzialstudie für das Land Nordrhein-Westfalen (LANUV 2021) für alle potenziellen Flächen zwei Referenzanlagen zugrunde gelegt. Dabei bleibt der aktuelle WEA-Bestand in beiden Szenarien unberücksichtigt, da bis zum Jahr 2040 von einer weitgehenden Rekonfiguration des bestehenden Windanlagenbestands ausgegangen werden kann. Stattdessen stellt eine einheitliche Referenzanlage mit 3 MW Leistung den heutigen heterogenen Anlagenbestand dar, und eine einheitliche Referenzanlage mit 5,3 MW WEA repräsentiert die Anlagenkonfiguration bis 2040. Die in Tab. 2-5 beschriebenen Parameter beeinflussen den Flächenbedarf pro Anlage und die erzielbaren Volllaststunden.

Im *Current Policies*-Szenario wird der WEA-Bestand in ausgewiesenen Wind-VRG bzw. Wind-EG in der Lausitz mit fiktiven 3 MW Referenzanlagen und dem entsprechenden Flächenbedarf abgebildet. Der Zubau ab 2020 erfolgt mit fiktiven 5,3 MW Referenz-WEA, wobei der erforderliche Flächenbedarf berücksichtigt wird. Der Anteil repowerter Anlagen ist in diesem Szenario so gewählt, dass die durchschnittliche Leistung der Bestandsanlagen bei 3 MW stabil bleibt. Beispielsweise wird die Leistung von 3 abgebauten WEA mit einer Nennleistung von jeweils 1 MW durch den Bau einer 3 MW starken WEA kompensiert. Im Jahr 2040 werden dann alle 20 Jahre alte WEA, sprich im Jahr 2020 zugebaute Anlagen, vollständig mit 5,3 MW Referenz-WEA repowert. Beim *Klimaneutral 2045*-Szenario wird von einem verstärkten Repowering ausgegangen, für den Anlagenbestand und Zubau wurde eine einheitliche 5,3 MW Referenzanlage gewählt.

Tab. 2-5: Referenz-WEA-Typen für zwei Windkraftausbauszenarien für die Lausitz 2040

Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf LANUV (2021); WindGuard GmbH (2020c); Richwien et al. (2018)

| | Referenz-WEA 2020 (3 MW) | Referenz-WEA 2030 (5,3 MW) |
|--|--|--|
| Stromerzeugung | 7.500 MWh/a | 16.500 MWh/a |
| Gesamthöhe | 200 m | 240 m |
| Nabenhöhe (NH) | 140 m | 160 m |
| Rotordurchmesser (RDM) | 120 m | 160 m |
| Flächenbedarf je WEA (5x RDM in Hauptwindrichtung, 3x RDM in Nebenwindrichtung) | 600 m x 360 m = 21,6 ha = 0,216 km ² | 800 m x 480 m = 38,4 ha = 0,384 km ² |

Current Policies-Szenario Lausitz-Spreewald (Brandenburg)

Maßgebliches Strategiepapier für den EE-Ausbau in Lausitz-Spreewald ist die aktuell geltende Energiestrategie der Landesregierung (MWE 2012) sowie das Regionale Energiekonzept, welches „als regionalisierte Untersetzung“ (Zschau et al. 2013a, 2) der brandenburgischen Energiestrategie zu verstehen ist. Diese sieht vor, in Brandenburg eine installierte Windenergieleistung von 10,5 GW bis 2030 zu erreichen. Auf dieser Grundlage wurde im regionalen Energiekonzept für die Planungsregion Lausitz-Spreewald ein regionalisiertes Stromerzeugungsziel in Höhe von **5.547 GWh bis 2030** ermittelt (Zschau et al. 2013a). Zum Zeitpunkt der Studiererstellung befindet sich sowohl das Regionale Energiekonzept Lausitz-Spreewald als auch die Energiestrategie des Landes Brandenburg in Revision, sodass aktuelle Beschlüsse für das Betrachtungsjahr 2040 derzeit noch fehlen. Bereits in der Energiestrategie 2020 hat das Land Brandenburg zur Erreichung der Ausbauziele einen Flächenbedarf von 2 Prozent der Landesfläche definiert (MWE 2012). Die Zielvorgaben sind jedoch nicht verpflichtend (SRU 2022).

Aufgrund mangelnder offizieller Zielvorgaben für das Jahr 2040 basiert das *Current Policies*-Szenario in der brandenburgischen Lausitz in Teilen auf einem von der Prognos AG erstellten **Gutachten zur Energiestrategie Brandenburg 2040** (Falkenberg et al. 2021), das Ende Mai 2021 veröffentlicht wurde. Aufgrund der hohen Rückbauzahlen und der stockenden Flächenbereitstellung nehmen Falkenberg et al. (2021) hierbei an, dass das in der Energiestrategie 2030 (MWE 2012) verankerte Ausbauziel von 10,5 GW Windkraftleistung bis 2030 verfehlt wird.¹⁹ Erst ein beschleunigter Zubau ab 2030 ermöglicht eine installierte Leistung von **11,6 GW in 2040**, mit der **25 TWh/a** erzeugt werden können (Falkenberg et al. 2021). Für die Ermittlung der regionalisierten Ausbauziele der Planungsregion Lausitz-Spreewald im *Current Policies*-Szenario wird vereinfachend angenommen, dass die Region Lausitz-Spreewald in Anbetracht des Flächen- und Bevölkerungsanteils von jeweils ca. 25 Prozent (siehe Abschnitt 1.2.2) zu rund **einem Viertel des Wind-Ausbaus in Brandenburg** beitragen kann. Unter dieser Annahme ist in Anlehnung an Falkenberg et al. (2021) mit einer Stromerzeugung von rund **6.250 GWh in 2040** zu rechnen.

Zu einer anderen Einschätzung kommt der vom brandenburgischen Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie (MWAE) Ende Dezember 2021 vorgelegte **Entwurf zur Energiestrategie 2040** (MWAE 2021), der in weiten Teilen auf dem Gutachten von Falkenberg et al. (2021) basiert. Während sich Falkenberg et al. (2021) allerdings am alten Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) mit dem Ziel der Klimaneutralität bis 2050 orientieren und vor dem Hintergrund hoher Rückbauquoten und langwieriger Genehmigungsprozesse niedrigere Zielwerte formulieren, legt der MWAE-Entwurf vom SPD-geführten Wirtschaftsministerium (MWAE 2021) die novellierte Fassung des KSG mit dem Ziel der Klimaneutralität bis 2045 als rechtlichen Rahmen zugrunde und weist ambitioniertere EE-Ausbauziele aus (siehe auch Abschnitt 2.3.3 für PV-Ausbauziele). Für das Jahr 2030 übernimmt der MWAE-Entwurf das Ausbauziel der aktuell geltenden Energiestrategie von 10,5 GW installierter Windleistung. In der darauffolgenden Dekade soll die installierte Windenergieleistung weiter auf **15 GW bis 2040** anwachsen, mit der **37,5 TWh** erzeugt werden können (MWAE 2021). Davon sollen 3,0 GW vorrangig für die grüne Wasserstoffproduktion eingesetzt werden (MWAE 2021). Der Entwurf befindet sich aktuell in einer öffentlichen Konsultation und sollte voraussichtlich im ersten Quartal 2022 vom Kabinett beschlossen werden (MWAE 2022), was nach aktuellem Wissenstand der Autor*innen aber verschoben wurde.

¹⁹ Falkenberg et al. (2021, 19) prognostizieren einen moderaten Nettozubau in den nächsten Jahren, sodass die installierte Windenergieleistung in Brandenburg von 7,1 GW in 2018 auf lediglich 8,6 GW in 2030 anwächst.

Da das *Current Policies*-Szenario die aktuellen politischen Beschlüsse widerspiegelt, werden für das Jahr 2030 die ausgewiesenen Zielwerte der Landesregierung bzw. Regionalplanung übernommen. Für das Jahr 2040 wird das *Current Policies*-Szenario für die Region Lausitz-Spreewald an das weniger ambitionierte Gutachten der Prognos AG (Falkenberg et al. 2021) angepasst. Daraus resultiert eine nichtlineare Entwicklung der Windenergie in Lausitz-Spreewald bis 2040, die durch einen beschleunigten Zubau bis ins Jahr 2030 und einen weniger dynamischen Ausbau in den darauffolgenden 10 Jahren gekennzeichnet ist. Dies basiert auf der Prämisse, dass das Repowering mit einem geeigneten Rahmen gestärkt wird und so ein Rückbau in den nächsten Jahren verhindert werden kann (MWAE 2021). Außerdem wird damit ein Szenario entworfen, in dem sich die Regionalplanung in Lausitz-Spreewald auf einen früheren Kohleausstieg einstellt und einen beschleunigten Ausbau der Windenergie bis ins Jahr 2030 aktiv gestaltet.

Current Policies-Szenario Oberlausitz-Niederschlesien (Sachsen)

Das *Current Policies*-Szenario im sächsischen Teil der Lausitz basiert auf den energie- und klimapolitischen Zielen des Freistaates Sachsen, die im **Energie- und Klimaprogramm (EKP) Sachsen 2021** verankert sind und auf dem Koalitionsvertrag für die Legislaturperiode 2019-2024 basieren. Das im Juni 2021 veröffentlichte Strategiepapier ist die Grundlage für Klimaschutz, Energiewende und Klimaanpassung in Sachsen für den Zeitraum bis 2030. Das EKP 2021 sieht einen zusätzlichen Zubau der erneuerbaren Energien von 10 TWh/a bis 2030 mit einem Zwischenziel von 4 TWh/a Zubau bis 2024 vor (SMEKUL 2021). Offizielle Dokumente zur Fortschreibung der Strategie bis 2040 liegen zum Zeitpunkt unseres Studienabschlusses nicht vor, sodass im *Current Policies*-Szenario in Sachsen vor dem Hintergrund wachsender Klimaschutzanforderungen eine lineare Zielfortschreibung angenommen wird. Damit verdoppelt sich der Zielwert für den Ausbau Erneuerbarer Energien von 10 TWh in 2030 bis ins Jahr 2040 auf 20 TWh. Für das *Current Policies*-Szenario wird vereinfachend angenommen, dass davon 50 Prozent, also **5 TWh in 2030 und 10 TWh in 2040 mit Windenergieanlagen** erzeugt werden (siehe auch PV Szenario in Abschnitt 2.3.3).

Analog zum Vorgehen in Lausitz-Spreewald wird davon ausgegangen, dass die Region Oberlausitz-Niederschlesien als eine von vier sächsischen Planungsregionen **25 Prozent des Windstroms in Sachsen erzeugen** kann.²⁰ Damit wird in Oberlausitz-Niederschlesien ein Windenergie-Zubau von **1.250 GWh bis 2030** und **2.500 GWh bis 2040 erwartet**. Das Wind-Ausbauziel im *Current Policies*-Szenario für Oberlausitz-Niederschlesien liegt damit zwischen den Ausbauzielen der „Wind Basis“ und „Wind Plus“-Szenarien: Hier liegt der Zubaukorridor abzüglich der Ende 2018 erzeugten rund 500 GWh/a zwischen etwa 1.000 bis 2.800 GWh/a. (Scheuermann et al. 2012c)

²⁰ Zwar umfassen die Einwohnerinnen und Einwohner in Oberlausitz-Niederschlesien nur 14% der sächsischen Bevölkerung, allerdings entspricht die Fläche der Planungsregion rund 25% der Landesfläche Sachsens.

Ergebnisse *Current Policies*-Szenario für die Lausitz

Tab. 2-6: *Current Policies*-Szenario Wind in den Planungsregionen Lausitz-Spreewald (L-S), Oberlausitz-Niederschlesien (O-N) und in der gesamten Lausitz

Gerundete Werte; Quelle: Eigene Berechnung auf Grundlage von Falkenberg et al. (2021) und SMEKUL (2021)

| | Planungsregion | Jahresbeginn 2020 | Jahresbeginn 2030 | Jahresbeginn 2040 |
|--|----------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Stromerzeugung [in GWh] | L-S | 3.268 | 5.547 | 6.250 |
| | O-N | 536 | 1.786 | 3.036 |
| Installierte Leistung [in MW _p] (fiktiver Anlagenbestand) ²¹ | L-S | 1.308 | 2.045 | 2.267 |
| | O-N | 216 | 619 | 1.022 |
| Flächenbedarf [in km ²] ²² (% d. Regionalfläche mit fiktivem Anlagenbestand) | L-S | 94,18 | 147,56 | 163,68 (2,27 %) |
| | O-N | 15,55 | 44,73 | 73,92 (1,64 %) |
| Stromerzeugung Lausitz Gesamt [in GWh] | | 3.804 | 7.333 | 9.286 |
| Installierte Leistung Lausitz Gesamt [in MW _p] | | 1.524 | 2.664 | 3.289 |
| Flächenbedarf Lausitz Gesamt [in km ²] (% d. Regionalfläche mit fiktivem Anlagenbestand) | | 109,73 | 167,73 | 237,6 (~2 %) |

Im *Current Policies*-Szenario wächst die installierte Windenergieleistung in der Lausitz bis 2040 auf 3.289 MW_p an (siehe Tab. 2-6). Mit einem fiktiven WEA-Bestand, der auf 3 MW Referenzanlagen basiert, zu dem 5,3 MW Referenzanlagen ab 2020 zugebaut werden, wird die Windstromerzeugung in der Lausitz von rund 3.800 GWh/a auf knapp **9.300 GWh/a in 2040** gesteigert und kann so mehr als verdoppelt werden. In der brandenburgischen Planungsregion Lausitz-Spreewald ist der überwiegende Teil des Zubaus bis 2030 fertiggestellt (siehe Tab. 2-6). In diesem Zeitraum wächst die Stromerzeugung von 3.268 GWh/a auf 5.547 GWh/a um knapp 170 Prozent.

²¹ Der 2020er Wert entspricht der Menge an 3-MW-Referenzanlagen (technologiespezifische Volllaststunden von 2.500 h/a), die im fiktiven Bestand erforderlich wären, um die Windstromerzeugung vom 31.12.2018 in den jeweiligen Planungsregionen zu decken. Die Werte für 2030 und 2040 addieren zum 2020er Ausbaustand (fiktiver Bestand) die erforderliche Menge von 5,3-Referenzanlagen (technologiespezifische Volllaststunden von rund 3.113 h/a), die erforderlich sind um die jeweiligen potenziellen Stromerträge zu erreichen. Beispielrechnung L-S in 2040: 436 WEA à 3 MW_p ergeben eine installierte Leistung von 1.308 MW_p. Bei 2.500 Volllaststunden pro Jahr können damit 3.270 GWh erzeugt werden. Wenn bis 2040 181 WEA à 5,3 MW_p hinzugebaut werden (entspricht installierter Leistung von 95,3 MW_p), können bei rund 3.113 Volllaststunden pro Jahr zusätzlich 2.986 GWh/a erzeugt werden. Damit ist die Zielmarke von 6.250 GWh/a bis 2040 erreicht.

²² Der Wert ist die Summe aus dem Flächenbedarf der 3-MW-Referenzanlagen und dem Flächenbedarf der 5,3 MW-Referenzanlagen (siehe Tab. 2-5).

Da die sächsische Planungsregion Oberlausitz-Niederschlesien aktuell über einen deutlich niedrigeren Anlagenbestand verfügt, wächst die Windstromerzeugung relativ schneller und kann bis 2030 von 536 auf 1.786 GWh/a mehr als verdreifacht werden (siehe Tab. 2-6). Bis 2040 verdoppelt sich die Erzeugungsmenge im sächsischen Teil Lausitz nochmals auf rund 3.000 GWh/a, während sie im brandenburgischen Teil der Lausitz moderat auf 6.250 GWh/a anwächst. Damit verringert sich der Rückstand in der sächsischen Planungsregion, allerdings verfügt die brandenburgische Planungsregion auch noch im Jahr 2040 über deutlich höhere Windstromerzeugungskapazitäten. Der fiktive Anlagenbestand von 3 MW- und 5,3 MW-Referenzanlagen umfasst in Oberlausitz-Niederschlesien 1,64 Prozent der Regionalfläche und in Lausitz-Spreewald 2,27 Prozent der Regionalfläche. Auf die gesamte Region bezogen müssten rund **2 Prozent der Fläche in der Lausitz** für die Windenergienutzung ausgewiesen werden.

Klimaneutral 2045-Szenario

Zum Erreichen der Klimaneutralität in Deutschland ist es nach aktuellen Schätzungen notwendig, einen Anteil der Landes- und Gemeindeflächen von durchschnittlich mindestens 2 Prozent für die Windenergie zur Verfügung zu stellen (Stiftung Klimaneutralität 2021a; SRU 2021; SPD et al. 2021). Dabei sind unterschiedliche regionale Voraussetzungen wie die Windhöflichkeit, die Besiedlungsdichte oder Naturschutzflächen zu berücksichtigen. Grundlage für das *Klimaneutral 2045-Szenario* ist deshalb der Vorschlag der **Stiftung Klimaneutralität** (2021b) zu „**Windenergie-Beitragswerten**“, der eine solche Differenzierung berücksichtigt. Dabei wurden alle Flächen ausgeschlossen, in denen eine Windenergienutzung aus rechtlichen bzw. praktischen Gründen nicht möglich ist. Darunter fallen Siedlungsflächen mit Wohnnutzung, Naturschutzgebiete, Nationalparks und die Kernzonen von Biosphärenreservaten (Stiftung Klimaneutralität 2021a). Gemäß der **Länder-Windenergie-Beitragswerte** der Stiftung Klimaneutralität (2021b) müssten **in Brandenburg mindestens 2,5 Prozent der Landesfläche** für die Windkraftnutzung und **in Sachsen mindestens 1,9 Prozent der Landesfläche** bereitgestellt werden. Damit liegt der Windenergie-Beitragswert im Land Brandenburg oberhalb und im Freistaat Sachsen unterhalb des bundesweiten Flächenziels von 2 Prozent. Der Vorschlag der Stiftung Klimaneutralität (2021b) beinhaltet zudem eine spezifische Analyse auf Landkreisebene, um zu berücksichtigen, dass es dicht und dünn besiedelte Kommunen gibt und solche mit viel und wenig Windpotenzialen. Das *Klimaneutral 2045-Szenario* setzt unter Berücksichtigung der kommunalen und länderspezifischen Beitragswerte²³ nach Vorschlag der Stiftung Klimaneutralität (2021b) in Lausitz-Spreewald einen Flächenanteil von 2,4 Prozent bzw. rund 173 km² für die Nutzung durch Windenergieanlagen, sowie in Oberlausitz-Niederschlesien einen Flächenanteil von 1,9 Prozent bzw. 85,4 km² an.

Das *Klimaneutral 2045-Szenario* beruht auf der vereinfachten Annahme, dass der Anlagenbestand in der Lausitz bis 2040 vollständig aus 5,3 MW Referenzanlagen besteht bzw. das auf der gleichen Fläche mehr Windertrag geerntet werden kann. Wie in Tab. 2-7 dargestellt, können auf den geeigneten Regionalflächen unter Berücksichtigung des erforderlichen Flächenbedarfs für 5,3 MW Referenzanlagen gemäß des Vorschlags der Stiftung Klimaneutralität (2021b) rund **11.000 GWh/a Windstrom bis zum Jahr 2040** erzeugt werden. Verglichen mit den Ausbauprognoesen der in Abschnitt 2.2.2 eingeführten Energiesystemstudien, die ein flächenanteiliges Nettostromerzeugungspotenzial von 5.000 bis 16.400 GWh/a bis 2045 für die Lausitz ergeben, liegen die Ergebnisse im

²³ Da sich die Beitragswerte der Länder und der Planungsregionen (abgebildet durch den Durchschnittswert der zugehörigen Kommunen) leicht unterscheiden, wurde jeweils der gerundete Mittelwert als Beitragswert für die Planungsregionen angenommen.

Klimaneutral 2045-Szenario im oberen Bereich. Dafür werden rund 1,9 Prozent der Fläche in Oberlausitz-Niederschlesien und 2,4 Prozent der Fläche in Lausitz-Spreewald genutzt. Bezogen auf die Gesamtregion müssten dafür rund **2,2 Prozent der Fläche in der Lausitz** für die Windenergienutzung ausgewiesen werden.

Tab. 2-7: Klimaneutral 2045-Szenario Wind in den Planungsregionen Lausitz-Spreewald (L-S) und Oberlausitz-Niederschlesien (O-N)

Gerundete Werte; Quelle: Eigene Berechnung auf Grundlage von Stiftung Klimaneutralität (2021b)

| | Planungsregion | Jahresbeginn 2030 | Jahresbeginn 2040 |
|---|----------------|-------------------|---------------------------|
| Stromerzeugung [in GWh] | L-S | 3.680 | 7.425 |
| | O-N | 1.848 | 3.680 |
| Installierte Leistung [in MW _p] (fiktiver Anlagenbestand) | L-S | 1.193 | 2.385 |
| | O-N | 594 | 1.182 |
| Flächenbedarf [in km ²] (% der Regionalfläche mit fiktivem Anlagenbestand) | L-S | 86,4 | 172,8 (2,4 %) |
| | O-N | 43 | 85,6 (1,9 %) |
| Stromerzeugung Lausitz Gesamt [in GWh] | | 5.528 | 11.105 |
| Installierte Leistung Lausitz Gesamt [in MW_p] | | 1.787 | 3.567 |
| Flächenbedarf Lausitz Gesamt [in km²] | | 129,4 | 258,4 (~2,2 %) |

2.2.4 Fazit und Empfehlungen

Die Windenergie ist ein wichtiger Teil der Energiewende in der Lausitz, die besonders im Winter Strom liefert und sich so ideal mit der Photovoltaik ergänzt. Sie ist zudem perspektivisch neben der Photovoltaik die entscheidende Stromerzeugungstechnologie für die Stromversorgung der angrenzenden Metropolregionen Berlin und Dresden (Bedarf im Winter) und bietet die nötigen Volllaststunden für den wirtschaftlichen Betrieb von PtX-Technologien wie (allen voran) die Elektrolyse zur Erzeugung von Wasserstoff. Insbesondere bevölkerungsarme Flächenregionen wie die Lausitz bieten sich daher unter gewissen Rahmenbedingungen für die Errichtung von Windenergieanlagen an. Vor diesem Hintergrund wird derzeit diskutiert, dass zu dem seit mehreren Jahren geforderten und im aktuellen Koalitionsvertrag auf Bundesebene angestrebten Flächenziel von 2 Prozent der Landesflächen für Windenergie (SPD et al. 2021) eine differenzierte Aufteilung auf die Bundesländer und Regionen je nach Eignungsfaktoren erfolgen sollte. Gemessen an dem durchschnittlichen Flächenziel wies die sächsische Planungsregion Oberlausitz-Niederschlesien Ende 2018 lediglich 0,22 Prozent der Regionalfläche für die Windenergienutzung aus, im Gegensatz dazu wurde in der Planungsregion Lausitz-Spreewald ein vergleichsweise hoher Flächenanteil von 1,85 Prozent für

die Windenergieanlagenutzung ausgewiesen. Um den Ausbau der Windenergie, der in den letzten Jahren stagnierte, deutlich zu beschleunigen, braucht es daher zunächst ausreichend große Flächen für die Windenergienutzung.

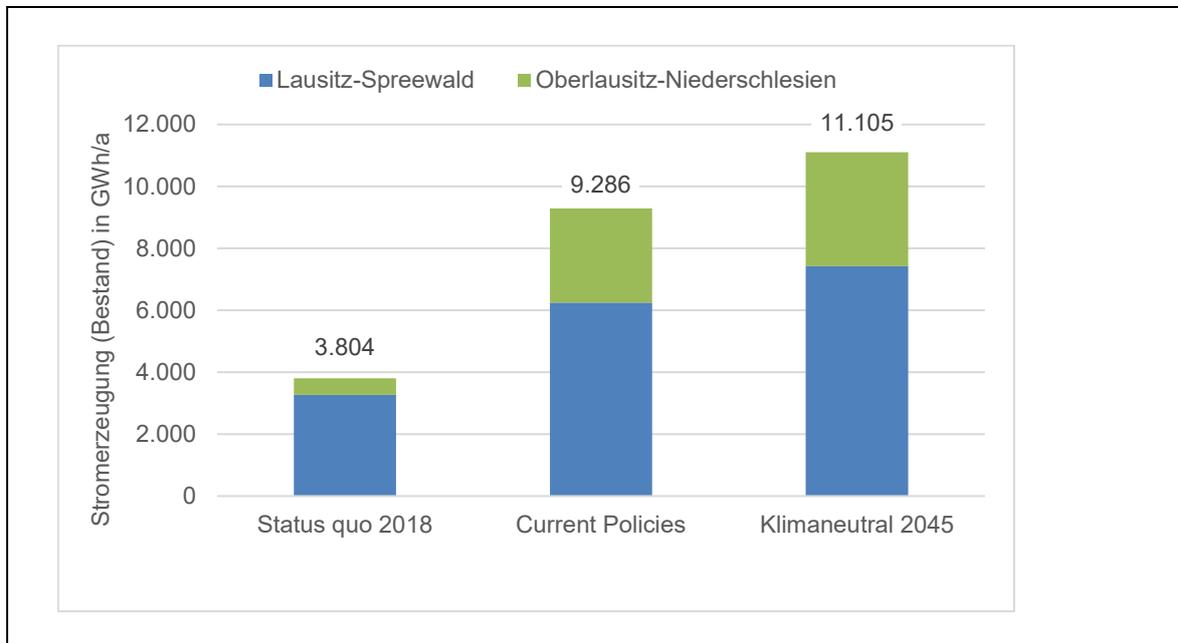


Abb. 2-1: Windstromerzeugung in den Planungsregionen der Lausitz 2018 und im Jahr 2040 in den beiden Zielszenarien

Quelle: eigene Darstellung

Der Flächenbedarf für die Windenergienutzung in der Gesamtlusitz steigt bis zum Jahr 2040 im *Current Policies*-Szenario auf 2,0 Prozent bzw. im *Klimaneutral 2045*-Szenario auf 2,2 Prozent (siehe Tab. 2-8 für einen Überblick beider Szenarien). Hierbei ist jedoch anzumerken, dass es für die dargestellten Flächenwerte keine standardisierte Berechnungsmethode gibt, und in Forschung und Praxis zum Teil deutlich voneinander abweichende Verfahren angewendet werden. So kann etwa die linienförmige Anordnung der Anlagen quer zur Hauptwindrichtung den Flächenbedarf reduzieren, während der Einsatz von Schwachwindanlagen den Flächenbedarf erhöht (Hirschl et al. 2022)²⁴ Entsprechend schwanken die Angaben zum Flächenbedarf je nach Anlagen- bzw. Installationsparameter von 18 bis über 45 MW/km² (ebda.). Der in den Szenarien verwendete Flächenbedarf von circa 7,2 ha/MW bzw. rund 14 MW/km² ist im Vergleich dazu als großzügig einzuschätzen. Gleichzeitig bildet eine konservative Flächenbedarfskalkulation bzw. die daraus abgeleitete größere raumordnerische Bereitstellung von Flächen die multiplen Restriktionen besser ab, die die tatsächliche Flächennutzung für Windenergie in den letzten Jahren stark vermindert hat. Zudem ist zu berücksichtigen, dass der Großteil der hier ausgewiesenen Flächen weiterhin für land- oder forstwirtschaftliche Nutzung zur Verfügung steht, da nur die Betriebsfläche für Fundament, Kran und Zuwegung dauerhaft belegt ist, nicht aber die Abstandsflächen (UM BW 2020). In diesem Zusammenhang spielen Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen etwa in Form von Biotopen oder Aufforstungsgebieten eine zentrale Rolle für eine naturverträgliche Ausgestaltung der Energiewende (ebda.)

²⁴ Gleichzeitig ist der Einsatz von Schwachwindanlagen, die durch Drosselung der Leistung Windstromüberschüsse an windstarken Tagen vermeiden, aus energie- und volkswirtschaftlicher Perspektive wertvoll (Hirschl et al. 2022).

Neben einer ausreichenden Flächenausweisung entscheidet auch die Anlagentechnik über die letztlich erschließbaren Windstrompotenziale. Mit leistungsstärkeren Anlagen, die mittels Neubau oder umfassendem Repowering entstehen, wächst die Stromerzeugung bei höheren Volllaststunden im Verhältnis zum Flächenbedarf überproportional an. So können in der Gesamtregion Lausitz im *Current Policies*-Szenario mit einem Mix aus 3 MW und 5,3 MW Referenzanlagen auf circa 2 Prozent der Flächen rund 9.300 GWh/a erzeugt werden, während im *Klimaneutral 2045*-Szenario mit Windparks aus 5,3 MW Referenzanlagen auf rund 2,2 Prozent der Fläche mehr als 11.000 GWh/a erzeugt werden können (siehe Tab. 2-8 für einen Überblick). Der Flächenbedarf von etwa 2.600 Hektar pro erzeugter Gigawattstunde im *Current Policies*-Szenario kann so auf rund 2.400 Hektar pro erzeugter Gigawattstunde im *Klimaneutral 2045*-Szenario reduziert werden.²⁵ Außerdem werden im *Klimaneutral 2045*-Szenario mit rund 670 Anlagen etwa ein Fünftel weniger Anlagen benötigt im Vergleich zum *Current Policies*-Szenario, in dem etwa 840 Anlagen betrieben werden. Die Anzahl der Referenzanlagen für die Gesamtregion Lausitz im *Current Policies*-Szenario in 2004 ist dabei sogar niedriger als die Ende 2018 installierten Anlagen in Lausitz-Spreewald (840 Referenzanlagen in 2040 vs. 862 Anlagen in 2018).

Tab. 2-8: Vergleich der Szenarien *Current Policies* und *Klimaneutral 2045* für die zwei Lausitzer Planungsregionen Lausitz-Spreewald (L-S) und Oberlausitz-Niederschlesien (O-N)
Gerundete Werte; Quelle: Eigene Darstellung

| | <i>Current Policies</i> -Szenario | <i>Klimaneutral 2045</i> -Szenario |
|---------------------------------------|--|--|
| Annahmen | Zubauziele gemäß aktueller politischer Beschlusslage (MWE 2012; SMEKUL 2021) bzw. Gutachten (Falkenberg et al. 2021). Fiktiver Bestand 2020 mit 3 MW Referenzanlagen. Repowering bis 2040 stabilisiert 2020er Bestand bzw. kompensiert Rückbau. Ab 2020 Zubau von 5,3 MW Referenzanlagen. | Flächenausweisung orientiert an Beitragswerten nach Vorschlag der Stiftung Klimaneutralität (2021b). Zubau und umfassendes Repowering mit 5,3 MW Referenzanlagen, sodass Anlagenbestand vollständig aus dieser Referenzanlagenklasse besteht. |
| Anzahl der Windenergieanlagen | 3 MW Referenzanlagen: L-S: 436; O-N: 72 5,3 MW Referenzanlagen: L-S: 181; O-N: 152 Lausitz: 841 | 3 MW Referenzanlagen: L-S: 0; O-N: 0 5,3 MW Referenzanlagen: L-S: 450; O-N: 223 Lausitz: 673 |
| Stromerzeugung 2040 [in GWh/a] | L-S: 6.250 O-N: 3.036 Lausitz: 9.286 | L-S: 7.425 O-N: 3.680 Lausitz: 11.105 |

²⁵ Im *Current Policies*-Szenario können auf 237,6 km² etwa 9.286 GWh Windstrom erzeugt werden, also auf 0,02558 km² bzw. rund 2.600 Hektar 1 GWh. Im *Klimaneutral 2045*-Szenario können auf 265,9 km² 11.105 GW erzeugt werden, also werden 0,0239 km² bzw. circa 2.400 Hektar pro erzeugter GWh benötigt.

| | <i>Current Policies-Szenario</i> | <i>Klimaneutral 2045-Szenario</i> |
|---|---|--|
| Installierte Leistung 2040 [in MW_p] | L-S: 2.267 O-N: 1.022 Lausitz: 3.289 | L-S: 2.385 O-N: 1.182 Lausitz: 3.567 |
| Flächenbedarf 2040 [in km₂] | L-S: 163,7 (~ 2,3 % d. Fläche) O-N: 73,9 (~ 1,6 % d. Fläche) Lausitz: 237,6 (~ 2 % Fläche) | L-S: 172,8 (~ 2,4 % d. Fläche) O-N: 85,6 (~ 1,9 % d. Fläche) Lausitz: 265,9 (~ 2,2 % d. Fläche) |

Die Szenarioergebnisse liegen gemessen am Ausbauniveau bundesweiter Energiesystemstudien (siehe Abschnitt 2.2.2), die je nach Bevölkerungs- bzw. Flächenanteil ein Nettostromerzeugungspotenzial von 2.100 bis 7.000 GWh/a bzw. 5.000 bis 16.400 GWh/a im Jahr 2045 für die Lausitz ergeben, im oberen Bereich. Im Vergleich zu den Szenarioergebnissen aus dieser Studie ermittelten die regionalen (Energie- und) Klimaschutzkonzepte aus den Jahren 2012 und 2013 bei einem ausgewiesenen Windstromerzeugungspotenzial von rund 9.900 bis 11.600 GWh/a ein ähnlich hohes Leistungspotenzial. Damit erscheinen die hier ermittelten Ausbauwerte für die Windenergie unter der Maßgabe der Mitversorgung der angrenzenden Ballungsgebiete, der Dekarbonisierung der Industrie (inkl. der Ermöglichung einer regionalen Wasserstoffwirtschaft) sowie als wichtiger Beitrag zum Erreichen der bundesweiten Klimaneutralität in dieser Größenordnung plausibel. Demzufolge sind die erforderlichen Flächen auszuweisen, aber auch eine Reihe weiterer Rahmenbedingungen zu schaffen, damit auf diesen Flächen tatsächlich auch Anlagen im nötigen Umfang - und mit einem hohen regionalen Nutzen - zugebaut werden. Dazu zählen neben regulativen und planerischen Voraussetzungen auch die Berücksichtigung von sozialen, ökologischen und administrativen Aspekten, die stärkere Einbindung und (finanzielle) Beteiligung der Kommunen sowie die Ermöglichung möglichst höher regionalökonomischer Effekte.

Bezüglich der Frage des Zubauniveaus sind zunächst die Nettoeffekte angesichts möglicher hoher **Rückbauzahlen** von Altanlagen zu thematisieren. Aktuell erscheint angesichts hoher Strompreise die Perspektive für einen Weiterbetrieb außerhalb der EEG-Förderung deutlich verbessert, die mittel- und längerfristige Perspektive bleibt diesbezüglich jedoch unklar. Ein **Repowering** mit leistungsstärkeren Anlagen unterliegt demgegenüber jedoch derzeit noch vielen Beschränkungen aus dem Bauplanungs-, dem Immissionsschutz- und dem Artenschutzrecht (SRU 2022). Das Ersetzen von Altanlagen mit größeren Neuanlagen sollte daher angesichts der höheren Produktivität und damit einhergehenden Flächenbedarfsreduktion grundsätzlich vom Gesetzgeber durch vereinfachte Genehmigungsverfahren bei Repowering gefördert werden, ohne die naturschutzfachliche Einzelfallbetrachtung zu vernachlässigen (SRU 2022). Die Repoweringstrategie – aber auch die Errichtung von Neuanlagen – sollte in einer Weise ausgestaltet werden, die den Zielsetzungen der Kreislaufwirtschaft entspricht. Dazu gehört auch der eine reparatur-, demontage- und recyclinggerechte Planung und Konstruktion neuer Anlagen sowie innovative Finanzierungsmöglichkeiten für den Weiterbetrieb von Altanlagen zur Verlängerung der Nutzungsdauer (SRU 2022). Die Ansiedelung innovativer Recyclingindustrien für Rotorblätter könnte in der Lausitz (als ehemaligem Rotorblattproduktionsstandort) passend und zukunftssträchtig sein.

Der in dieser Studie verwendete und im politischen Diskurs derzeit vorherrschende **Flächenrichtwert** von 2 Prozent der Bundesfläche für die Windenergie an Land sollte zeitnah wissenschaftlich weiter fundiert und regelmäßig bedarfsbezogen angepasst werden (SRU 2022; Luderer et al.

2021). Die gesetzliche Festlegung eines bundesweiten Flächenziels erscheint notwendig²⁶, da aktuell Klimaschutz und damit auch der EE-Ausbau als Grundsatz der Raumordnung (ROG 2017) abwägungsbedürftig und damit für die Landes- und Regionalebene nicht verpflichtend sind (Thiele et al. 2021). In der Folge erscheint eine regionale Differenzierung notwendig und sinnvoll, die kriterienbasiert ermittelt, in Form einer Vereinbarung zwischen Bund und Ländern ausgestaltet und ebenfalls regelmäßig angepasst werden sollte (Bett et al. 2021; Stiftung Klimaneutralität 2021b; SRU 2022).²⁷ Eine solche Regelung kann durch die Länder selbst oder – ausgehend von bundeseinheitlichen Vorgaben – auch auf Gemeinden heruntergebrochen werden, die derartige Zielwerte jedoch auch kooperativ im Sinne kommunaler Planungsverbände erfüllen könnten (Stiftung Klimaneutralität 2021b). Ob die länderbezogenen Ausbauziele je Gemeinde, im Gemeindeverbund oder klassisch über eine regionale, raumordnerische Konzentrationszonenplanung erfolgt, ist (länderspezifisch) abzuwägen, stünde jedoch unter dem Vorbehalt der Flächenzielerfüllung (Stiftung Klimaneutralität 2021b). Damit bliebe ein für die Regionalplanung und kommunale Bauleitplanung wichtiges Instrument zur Steuerung der Anlagenstandorte erhalten (SRU 2022). Gleichzeitig wird ein Anreiz zur substanziellen Flächenausweitung geschaffen, denn wenn regionale Planungsträger zu restriktiv ausweisen, könnte – gemäß Vorschlag der Stiftung Klimaneutralität (2021b) – der Außenbereich außerhalb der Konzentrationszonen für Windenergieanlagen geöffnet werden.

Als zentrales Hemmnis der letzten Jahre gelten die langwierigen **Planungsverfahren der Windnutzung über die Regional- und Bauleitplanungen**, die angesichts des hohen Handlungsdrucks beschleunigt werden müssen. Hierbei sind die Kompetenzen und Aufgaben der landesweiten Raumordnungsplanung im Zusammenspiel mit den Planungseinheiten auf Regional- und Gemeindeebene dahingehend neu zu bewerten, inwieweit sie eine effiziente, zielorientierte und faire Planung kurzfristig mit möglichst hoher lokaler Beteiligung sicherstellen können; eine neue fachplanerische Behörde auf Bundesebene kann dieses weiterhin wichtige Zusammenspiel demgegenüber nicht ersetzen (SRU 2022). In jedem Fall braucht es dringend **mehr Personal und Weiterbildungsmöglichkeiten in den Behörden** sowie **festgelegte Prüfverfahren mit standardisierten Methoden**, damit rechtssichere Prüfungen und Genehmigungen schneller umgesetzt werden können (Bett et al. 2021; SRU 2021; SRU 2022). Mehr Rechtssicherheit kann z. B. durch klare und bundesweite einheitliche Vorgaben zum Vollzug des Artenschutzrechts erwirkt werden²⁸, insbesondere um windenergiesensible Vogelarten zu schützen (Bett et al. 2021; SRU 2021; SRU 2022). Wie für die Planung gilt auch für die Genehmigung, dass hier schnellere und rechtssichere Verfahren ermöglicht werden müssen. Die neue Bundesregierung will generell „Planung, Genehmigung und Umsetzung“ deutlich beschleunigen (SPD et al. 2021) und sich dabei insbesondere bei EE-Anlagen den oben angesprochenen Themen zeitnah widmen.

²⁶ Siehe hierzu Diskussion in SRU (2022, 19) oder Schütte et al. (2021) um ein „Wind-an-Land-Gesetz“. Grundsätzlich sollten hierfür auch die Methoden zur Ermittlung der spezifischen EE-Flächenbedarfe je Leistungseinheit vereinheitlicht werden.

²⁷ Im Vorschlag der Stiftung Klimaneutralität (2021b) wird dieser Anteil „Windenergie-Beitragswert“ genannt. Eine Regelung mit differenzierten Zielvorgaben der Länder könnte in den Kompetenzbereich der Raumordnung fallen und damit das Abweichungsrecht der Länder rechtfertigen. Andererseits ist dieses Abweichungsrecht dahingehend beschränkt, dass die Gesetzgebungskompetenz der Länder nicht die bundesrechtlichen Klimaschutz- und EE-Ausbauziele konterkarieren darf (siehe SRU (2022) S. 19 für eine detaillierte Ausführung zur Ausgestaltung eines Windenergie-an-Land-Gesetzes).

²⁸ Für eine detaillierte Einschätzung, inwiefern Ausnahmegenehmigungen Teil einer reformierten Biodiversitäts- und Artenschutzstrategie sein können, siehe die Stellungnahme des Sachverständigenrates für Umweltfragen (2022, 39 ff.).

Bei der Neuausweisung von Flächen für die Windenergie **werden konkurrierende Landnutzungsinteressen** eine große Rolle spielen, die **wissensbasiert und mit breiter Stakeholderbeteiligung abgewogen** werden sollten. So könnten beispielsweise Flächen für weniger energieeffiziente Anbaubiomasse teilweise für die Windenergie (und/ oder Photovoltaik, siehe Abschnitt 2.3) eingeplant werden oder parallele Nutzungsformen z. B. mit der Forstwirtschaft entstehen, wenn eine sachgerechte Prüfung möglicher Einschränkungen der Natur- und Klimaschutzwirkung erfolgt ist (SRU 2022).

Zudem könnten verschiedene Erneuerbare Energien-Anlagen gekoppelt werden, etwa, wenn Freiflächen-PV Anlagen parallel auf Windenergieflächen errichtet oder Biogasanlagen mit Windstrom betrieben werden. Power-to-X-Konzepte können Windstromüberschüsse für Heizung, Elektrolyse oder andere moderne Stromanwendungen nutzen und damit zur Dekarbonisierung der anderen Sektoren beitragen (Bett et al. 2021). Darüber hinaus können derartige Stromanwendungen ebenso wie EE-Anlagenkombinationen Perspektiven für ausgeforderte Anlagen schaffen (AEE 2022) und damit Standortverluste durch Rückbau (siehe oben) verhindern. Sowohl die Repoweringstrategien der Länder als auch die Flächenplanung der Länder und Kommunen sollten also die **wirtschaftlichen Chancen der Anlagen- und Sektorenkopplung** berücksichtigen.

Studienergebnisse legen nahe, dass **pauschale Mindestabstände** kein entscheidender Hebel für die Akzeptanz vor Ort sind (UBA 2019; IASS 2020). Zudem haben Anwohnerinnen und Anwohner mit Windenergieanlagen im unmittelbaren Wohnumfeld nach derzeitigem Forschungsstand kein erhöhtes Risiko für negative Gesundheits- und Belastungswirkungen, wenn immissionsschutzrechtliche Vorgaben und technische Schutzmaßnahmen z. B. hinsichtlich Eiswurf eingehalten werden (SRU 2022). Deshalb sollten pauschale Mindestabstände zur Wohnbebauung, wie sie zuletzt in Brandenburg eingeführt worden sind, erneut diskutiert werden bzw. niedrigschwellige Möglichkeiten für die Einzelfallbetrachtung geschaffen werden.

Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen jedoch eindeutig, dass es für die Erhaltung und den Ausbau der Akzeptanz zentral ist, die **finanzielle Teilhabe und prozedurale Beteiligung** der Kommunen und Bürgerinnen und Bürger vor Ort deutlich zu stärken (IASS 2020; Hübner et al. 2020a; Salecki und Hirschl 2021). Die finanzielle Beteiligung von Kommunen an EE-Anlagen sollte dabei in einer angemessenen Höhe, langfristig und planbar erfolgen (IÖW et al. 2020). Das Instrument der freiwilligen Zahlung nach § 6 EEG 2021, das nun auch PV-Freiflächenanlagen umfasst, ist ein wichtiger erster Schritt zur Stärkung der lokalen Wertschöpfung (Salecki und Hirschl 2021). Damit ein möglichst hoher Anteil der Wertschöpfung vor Ort verbleibt, sollte die Verlässlichkeit bestehender Instrumente (§ 6 EEG 2021 oder Gewerbesteuerzahlungen) verbessert und neue Gewinnbeteiligungsformen etabliert werden (siehe Ausführungen zum Brandenburgischen Windenergieanlagenabgabengesetz in Kapitel 2.2.1). Außerdem sollte das proaktive Handeln insbesondere von **finanzschwachen Kommunen gestärkt** werden (Heinbach et al. 2020): Wenn Kommunen befähigt werden, sich relevante Standortflächen zu sichern, eine lokale Betreibergesellschaft anzusiedeln und ggf. regionale Dienstleister und Kooperationspartner einzubinden, können Wertschöpfungspotenziale signifikant wachsen (Salecki und Hirschl 2021). Dafür müssen die Kommunen personell, prozedural und finanziell unterstützt werden und es müssen Lösungen gefunden werden, die finanzschwachen Kommunen ermöglichen, an derartigen Investitionen zu partizipieren.²⁹

²⁹ Das gegenwärtige kommunale Haushaltsrecht untersagt Kommunen in der Regel beispielsweise die Beteiligung an derartigen Projekten, da hier ein unternehmerisches Risiko nicht ausgeschlossen werden kann (Heinbach et al. 2020). Hier können Betreiberkonstruktionen mit kreditwürdigen kommunalen Unternehmen, Kredite und Bürgschaften des

Neben der finanziellen Beteiligung sollten Kommunen bei allen Planungsschritten ermächtigt werden. So sieht zum Beispiel ein gemeinsames Eckpunktepapier von BMWK, BMUV und BMEL (2022) vor, dass es Kommunen in den Verträgen zur finanziellen Beteiligung ermöglicht wird, dem Anlagenbetreiber naturschutzfachliche Anforderungen vorzugeben. Grundsätzlich gilt, die Mitsprachemöglichkeiten von Bürgerinnen und Bürgern und Kommunen frühzeitig einzuräumen, um Gelegenheitsfenster in der Planungsphase vor dem Zulassungsverfahren zu nutzen (Salecki und Hirschl 2021; SRU 2022). Öffentlichkeitsbeteiligung erfordert auch, einen niedrighschwelligigen Zugang zu relevanten Informationen wie Gutachten zu schaffen und Vermittlungspersonen bzw. – Institutionen z. B. in Form von Bürgervertrauenspersonen oder Fachagenturen einzubeziehen (SRU 2022).

Schließlich sind die Potenziale für die **Errichtung erneuerbarer Energien auf den Tagebauflächen** zeitnah konkret zu ermitteln, und die berg- und planungsrechtlichen Voraussetzungen (ebenfalls zeitnah) dafür zu schaffen, dass diese gezielt erschlossen werden können.³⁰ Neben den berechtigten landwirtschaftlichen, touristischen und naturschutzbezogenen Nutzungsinteressen ist auch die – zum Teil parallel mögliche – Nutzung erneuerbarer Energien in den Regelwerken zu verankern. Hierfür ist ein Zusammenspiel von den betroffenen Kommunen bis hin zu den verantwortlichen Bundesministerien (BMUV, BMWK) erforderlich, um die Voraussetzungen zu schaffen, dass hier Projekte nicht nur vom derzeitigen Tagebaubetreiber, sondern zukünftig auch von anderen, regionalen Akteuren entstehen, um die regionale Wertschöpfung und damit auch die Akzeptanz für solche Vorhaben zu sichern.

Landes für derartige Investitionen, kommunale Vorkaufsrechte für privatwirtschaftliche EE-Anlagen auf eigenem Gebiet und andere Instrumente das aktive Engagement von Kommunen zur Steigerung des finanziellen Nutzens an EE-Anlagen befördern (Heinbach et al. 2020; Salecki und Hirschl 2021).

³⁰ Vgl. hierzu auch die Empfehlungen in Richwien et al. (2018).

2.3 Photovoltaik

Sowohl in energiepolitischen Strategiepapieren als auch in wissenschaftlichen Studien besteht Einigkeit darüber, dass Photovoltaik (PV) - zusammen mit der Windenergie - die dominante Kraftwerkstechnologie im künftigen Stromsystem ist (Falkenberg et al. 2021; SMEKUL 2021; Luderer et al. 2021; Sterchele et al. 2020; dena 2021). Auf dem Weg zur Klimaneutralität werden neben konventionellen PV-**Dachanlagen** und Solarparks auf förder- und nicht-förderfähigen **Freiflächen** neue Formen der integrierten Photovoltaik eine wichtige Rolle spielen (Wirth 2021). Die Integration von Photovoltaik bietet dabei die Möglichkeit, Flächen mehrfach zu nutzen bzw. mehrfache Funktionen auf derselben Fläche zu ermöglichen und damit die Wirtschaftlichkeit, aber auch die Akzeptanz und somit letztlich die Solar-Potenziale zu erhöhen. In diesem Bericht werden deshalb neben den konventionellen Dach- und Freiflächenpotenzialen drei weitere innovative PV-Technologien und ihre Flächenpotenziale für die Region Lausitz einbezogen: 1) bauwerkintegrierte PV-Anlagen, kurz **BIPV**, die mit der Fassade von Gebäuden verschmelzen, 2) **Floating PV**-Anlagen, die auf der Wasseroberfläche gefluteter Tagebauseen installiert werden, sowie 3) **Agri-PV**-Anlagen, mit denen landwirtschaftliche Flächen zur kombinierten Strom- und Nahrungsmittelversorgung genutzt werden (Wirth 2021).

2.3.1 Status quo

Allgemeine Entwicklung in Deutschland

Die Photovoltaik erlebte in Deutschland insbesondere vor rund 10 Jahren einen **starken Zubau**. So konnte die installierte Leistung von rund 10,5 GW in 2009 auf rund 34 GW in 2012 mehr als verdreifacht werden (AGEE-Stat 2021). Gefördert durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) wurde in diesem Zeitraum ein jährlicher Zubau von rund 7,8 GW im Mittel erreicht (AGEE-Stat 2021). Danach verringerte sich der Zubau von Photovoltaikanlagen aufgrund starker Einschnitte in der Solarstromförderung deutlich auf unter 2 GW (AGEE-Stat 2021). Diese **stark rückläufige Entwicklung** ging einher mit einem Beschäftigungseinbruch, infolgedessen fast 65.000 Menschen ihren Arbeitsplatz in der Solarwirtschaft innerhalb von zwei Jahren (2012-2014) verloren (Eckermann 2016).³¹ Seit 2017 wachsen die Zubauraten der Photovoltaik wieder stetig - von rund 2,8 GW neu installierter Leistung in 2018 und etwa 3,8 GW zugebauter Leistung in 2019 auf 4,8 GW zugebaute Leistung in 2020 (AGEE-Stat 2021), liegen damit jedoch noch weit unterhalb der stärksten Zubaujahre (s. o.) sowie unterhalb der erforderlichen Zubauraten gemäß einer Vielzahl von Studien (siehe Abschnitt 2.3.2). Ende 2020 betrug die installierte Photovoltaikleistung rund **54 GW** (AGEE-Stat 2021). Mit Abschaffung des seit 2012 eingeführten sogenannten Solardeckels in Höhe von 52 GW ist es auch weiterhin möglich, EEG-geförderte Anlagen zu errichten (siehe Textbox 2 am Ende des Abschnitt 2.3.3).

³¹ Durch diese nicht nur energie- sondern vor allem industriepolitische Entscheidung verlor Deutschland die heimische Solarindustrie. Die Module wurden seitdem verstärkt aus Asien, vor allem aus China importiert, das seine Hersteller massiv subventionierte. Durch die nachhaltigen globalen Wachstumspotenziale der Solarenergie bei steigenden Logistik- und sinkenden spezifischen Kosten ergeben sich derzeit wieder Chancen für eine Renaissance der rationalisierten Produktion in Europa und auch in Deutschland. Diese Chance wird durch den Aspekt der Erhöhung der Versorgungssicherheit durch heimische Produktion, der nicht zuletzt durch die Corona-Krise an Bedeutung gewonnen hat, weiter unterstützt.

Im Vergleich zu 2010 sind die Kosten für PV-Module um über 90 Prozent gesunken (Wirth 2021), sodass die **Stromgestehungskosten** von PV-Anlagen schon heute auf einer Höhe mit den Betriebskosten konventioneller Kraftwerke liegen, während Freiflächenanlagen bereits im Jahr 2021 die niedrigsten Stromgestehungskosten aller Kraftwerkstechnologien aufwiesen (Kost et al. 2021). Unter Berücksichtigung einer 15 prozentigen Lernrate für PV-Anlagen und der CO₂-Preisentwicklung prognostiziert das Fraunhofer ISE für das Jahr 2040, dass die Stromgestehungskosten von kleinen PV-Dachanlagen zwischen 3,58 und 6,77 € Cent/kWh und bei Freiflächenanlagen zwischen 1,92 und 3,51 € Cent/kWh liegen (Kost et al. 2021). Im Vergleich dazu belaufen sich die Betriebskosten normaler Gas- und Dampfturbinenkraftwerke auf über 9 € Cent/kWh, bzw. auf Kraftwerke mit Wärmeauskopplung auf über 5 € Cent/kWh (Kost et al. 2021), wobei bei den fossilen Kraftwerken die externen Kosten nur zu einem Teil (über den CO₂-Preis) einbezogen sind.

Auch wenn Photovoltaikanlagen im Vergleich zu anderen Stromerzeugungstechnologien ein großes Potenzial hinsichtlich Dezentralität und Partizipation aufweisen (Wirth 2021), ist die Anlagengrößekonfiguration in den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union (EU) sehr unterschiedlich, was u. a. auf klimatische und politische Einflussgrößen zurückzuführen ist (Hengstler et al. 2021). Während in Spanien vorwiegend große Freiflächenanlagen installiert wurden, überwiegen in Deutschland mit einem Anteil von 75 Prozent im Jahr 2017 dezentrale Anlagen auf Dächern von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Hengstler et al. 2021). Gründe hierfür sind neben den unterschiedlichen klimatischen Bedingungen in den Ländern und Regionen auch in verschiedenen Bevölkerungsdichten, Planungsrestriktionen und Kapitalmarktkosten zu sehen.

Bei Neuinstallationen liegt der Anteil von Kleinstanlagen <10 kW seit 2014 konstant bei durchschnittlich 82 Prozent (Peper et al. 2021). Allerdings ist auch in Deutschland seit rund 10 Jahren ein **Trend zu größeren Anlagenklassen** zu beobachten (Hengstler et al. 2021). Gemessen am Leistungszuwachs hat sich der Anteil großer Aufdachanlagen von 100 bis 750 kW von 17 Prozent im Jahr 2012 auf 38 Prozent im Jahr 2019 mehr als verdoppelt (Peper et al. 2021). Mögliche Ursachen für das Wachstum im Segment der großen PV-Aufdachanlagen, die vorrangig auf Gewerbedächern installiert werden, sehen Peper et al. (2021) in fallenden Preisen für PV-Anlagen, steigenden Strompreisen sowie einem erhöhten Klimaschutzengagement von Unternehmen. Im gleichen Zeitraum verliert der Anteil von EEG-geförderten Freiflächenanlagen am Leistungszubau signifikant an Bedeutung; er sinkt von 45 Prozent in 2012 auf 20 Prozent in 2019 (Peper et al. 2021).

Dagegen erlebte das Segment für mit Erneuerbaren Energien (EE) betriebene Kraftwerke mit mehrjährigen Stromabnahmeverträgen, sogenannten **Power Purchase Agreements (PPA)**, in den letzten Jahren ein starkes Wachstum (Ziegert 2021; Pedretti 2021). Auch im Koalitionsvertrag spricht sich die neue Bundesregierung für eine Stärkung des förderfreien Zubaus mittels PPAs aus (SPD et al. 2021). Dabei werden PPA-Solarparks auf Flächen realisiert, die nicht EEG-förderfähig sind. Ein großer Teil der sich derzeit in Planung befindlichen Projekte befindet sich in Ostdeutschland (Ziegert 2021): So wurde in Brandenburg der größte förderfreie Solarpark Deutschlands mit 187 MW installierter Leistung auf 164 Hektar Fläche gebaut und zwei weitere Großprojekte mit jeweils 150 MW installierte Leistung sind in Planung (EnBW 2021). Ob förderfreie, PPA-finanzierte Solarparks mit politischem Rückenwind die Zubaurate von EEG-förderfähigen Freiflächenanlagen erreichen oder gar übersteigen können, bleibt abzuwarten. Derzeit erleichtern attraktive Erlöse durch hohe PV-Marktwerte und ungenutzte Flächenpotenziale den Ausbau, jedoch können hohe Investitionskosten durch steigende Rohstoffkosten, begrenzte Verteilnetzkapazitäten und langwierige Genehmigungsverfahren den Ausbau bremsen (Ziegert 2021).

Politische Rahmenbedingungen und planungsrechtliche Grundlagen

Im Gegensatz zu der planungsrechtlich erforderlichen Ausweisung von Wind-Vorrang und/oder Eignungsgebieten in der Regionalplanung in Sachsen und Brandenburg ist beim Ausbau der Photovoltaik die **kommunale Bauleitplanung** gefragt. Nach EEG sind nur solche PV-Freiflächenanlagen nach § 48 Abs. 1 Nr. 2 und 3 **EEG-förderfähig**,

- die auf bereits versiegelten Flächen entstehen,
- deren Flächen längs von Autobahnen oder Schienenwegen liegen und PVA in einer Entfernung von bis zu 200 Metern bei einem Abstand von 15 Metern bis zur Fahrbahn errichtet werden, oder
- die sich auf Konversionsflächen aus wirtschaftlicher, verkehrlicher, wohnbaulicher oder militärischer Nutzung befinden, die nicht als Naturschutzgebiet ausgewiesen sind.

Diese Flächen müssen in einem Bebauungsplan im Sinne des Baugesetzbuchs beschlossen sein. Somit wird der Ausbaupfad der Photovoltaik in den 2020er Jahren auch davon abhängen, inwieweit Städte und Kommunen ausreichend große Flächen für die Photovoltaik ausweisen.

Darüber hinaus könnten auch Flächen in sogenannten „**benachteiligten Gebieten**“ (§ 3 Nr.7 EEG 2021) genutzt werden. Merkmale dieser benachteiligten Gebiete sind etwa schwierige klimatische Bedingungen, eine schwache Ertragsfähigkeit der Böden und oftmals mangelnde Wirtschaftlichkeit landwirtschaftlicher Betriebe. PV-Freiflächenanlagen in benachteiligten Gebieten sind laut EEG nur dann förderfähig, wenn die Länder dies über eine sogenannte **Länderöffnungsklausel** erlauben. Neben Bayern, Baden-Württemberg, Hessen, dem Saarland, Rheinland-Pfalz und Niedersachsen hat auch der Freistaat Sachsen mit der Photovoltaik-Freiflächenverordnung (PVFVO) im August 2021 beschlossen, die Errichtung von Freiflächenanlagen größer als 750 kW bis 20 MW auf Acker- und Grünland in benachteiligten landwirtschaftlichen Gebieten zu erlauben (Kriesel 2021). Analog zu Beschlüssen der anderen Bundesländer sieht auch die Sächsische PV-Freiflächenverordnung vor, die Gesamtleistung aller neuinstallierten Anlagen auf 180 MW (vgl. 150 MW in Niedersachsen) pro Kalenderjahr zu begrenzen, um eine übermäßige Inanspruchnahme landwirtschaftlicher Flächen zu vermeiden (Kriesel 2021). Brandenburg hat diese Regelung bisher noch nicht in Landesrecht überführt. Somit hängt der PV-Zubau in der Freifläche in den 2020er Jahren in der Lausitz zumindest teilweise davon ab, inwiefern Brandenburg und Sachsen mittels entsprechender Landesverordnung den PV-Freiflächenausbau fördern. Unabhängig von der Länderöffnungsklausel könnten Freiflächenanlagen in benachteiligten Gebieten prinzipiell auch über Power Purchase Agreements ohne EEG-Förderung projektiert werden (Regionale Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel 2021). Gemäß Koalitionsvertrag der neuen Bundesregierung soll die Photovoltaik mit 200 GW bis 2030 in sehr viel größerem Ausmaß ausgebaut werden (SPD et al. 2021). Dafür sollen unter anderem Hemmnisse und bürokratische Hürden beseitigt, Planungs- und Genehmigungsprozesse beschleunigt und eine Solarpflicht für Gewerbe eingeführt werden. Es ist davon auszugehen, dass diese und weitere Regelungen auch Auswirkungen auf die jeweilige Landesebene und die Kommunen haben werden. Zudem können auch die oben angesprochenen neuen PV-Anwendungen wie die Agri-PV den Ausbau auf neuen Flächenkategorien in den Ländern und Regionen ermöglichen, erfordern aber auch eine Anpassung in diversen Regelwerken (hier: Planungs-, Energie- und Landwirtschaftsrecht), um in größerem Ausmaß realisiert werden zu können.

Entwicklungen in der Lausitz

Um den Ausbaustand der Photovoltaik im Ausgangsjahr 2018 in den beiden Lausitzer Planungsregionen Lausitz-Spreewald im Bundesland Brandenburg und Oberlausitz-Niederschlesien im Freistaat Sachsen zu ermitteln, dienten als Datengrundlage alle im Marktstammdatenregister (MaStR) registrierten PV-Anlagen, die bis 31.12.2018 in der Lausitz in Betrieb genommen worden sind.³² Diese wurden nach Dachanlagen sowie Freiflächen differenziert und anschließend nach Anlagengrößen geclustert. Die vier Referenzanlagengrößen für Dachanlagen (5 kW_p, 30 kW_p, 100 kW_p und 500 kW_p) wurden unter Berücksichtigung relevanter EEG-Regelungen (siehe Exkurs am Ende des Abschnitts 2.3.3) ausgewählt und sind wichtig für die Berechnung regionalökonomischer Effekte (Kapitel 3) Im MaStR, in dem alle an das Netz der allgemeinen Versorgung angeschlossenen Stromerzeugungseinheiten aufgeführt sind, werden Freiflächenanlagen explizit ausgewiesen, während Dachanlagen unter der Kategorie „Bauliche Anlagen (Hausdach, Gebäude und Fassade)“ zusammengefasst sind. Außerdem gibt es die Kategorien „Bauliche Anlagen (Sonstige)“ sowie „Steckerfertige Erzeugungsanlagen“ (sogenannte Plug-In- oder Balkon-PV-Anlage). Da Solarstrom im Gebäudebereich bisher fast ausschließlich mit Aufdachanlagen erzeugt wird bzw. der Anteil weiterer Formen bauwerkintegrierter PV (BIPV) in Deutschland noch marginal ist (Wirth 2021), wurde zur Berechnung angenommen, dass es sich bei bauwerkintegrierten PV-Modulen in der Region Lausitz um Dachanlagen handelt.

Tab. 2-9 zeigt, dass analog zur bundesweiten Verteilung die große Mehrheit der PV-Anlagen in der Lausitz dezentral als kleine Dachanlagen bis 10 kW_p errichtet worden ist. Bezogen auf die installierte Leistung machen jedoch Freiflächenanlagen mit insgesamt 1.265 MW_p bzw. knapp 75 Prozent den größten Anteil in beiden Planungsregionen aus. In Deutschland entfielen im Jahr 2018 mit 12.618 MW_p dagegen nur rund 28 Prozent der installierten PV-Leistung auf Freiflächenanlagen (ZSW und Bosch & Partner 2019). Damit trugen die **Lausitzer Freiflächenanlagen**, insbesondere die Region Lausitz-Spreewald, zu rund 10 Prozent der bundesweit installierten Freiflächenanlagenleistung bei, obwohl die Lausitz nur etwa 3,5 Prozent der Bundesfläche umfasst.

³² Die Daten wurden nach der verlängerten Registrierungsfrist für Bestandsanlagen (die vor dem 01.07.2017 in Betrieb genommen worden sind) erhoben, sodass von einer realistischen Datengrundlage ausgegangen werden kann.

Tab. 2-9: Ausbaustand der Photovoltaik in der Region Lausitz, 31.12.2018

Gerundete Werte; Quelle: Marktstammdatenregister mit Stand 20.11.2021

Anmerkung: Betrachtung aller Anlagen, die in Betrieb sind.

| | Nettonennleistung Lausitz-Spreewald [in MW_p] (Anzahl d. Anlagen) | Nettonennleistung Oberlausitz-Nieder- schlesien [in MW_p] (Anzahl d. Anlagen) | Nettonennleistung Lausitz Gesamt [in MW_p] (Anzahl d. Anlagen) |
|--|--|--|---|
| PV Dach bis 10 kW _p | 45 (11.807) | 25 (6.923) | 70 (18.730) |
| PV Dach >10 kW _p bis 40 kW _p | 42 (2.452) | 31 (1.718) | 73 (4.170) |
| PV Dach >40 kW _p bis 300 kW _p | 73 (797) | 48 (586) | 121 (1.383) |
| PV Dach > 300 kW _p | 134 (308) | 81 (231) | 215 (539) |
| PV Freiflächen > 1.000 kW _p | 1.000 (469) | 265 (133) | 1.265 (602) |
| Gesamt PV [in MW_p] | 1.294 | 450 | 1.744 |

Setzt man die Ausbaustände der Planungsregionen in Relation zum jeweiligen Bundesland, ergibt sich folgendes Bild: In Brandenburg betrug die installierte Leistung pro 1.000 Einwohnerinnen und Einwohner in 2018 rund 1,47 MW_p (AEE 2021a). In der Region Lausitz-Spreewald, in der 2018 knapp ein Viertel der Einwohnerinnen und Einwohner Brandenburgs leben³³, war 2018 mit rund 2,16 MW_p pro 1.000 Einwohnerinnen und Einwohner knapp eineinhalb mal so viel PV-Leistung installiert. Ähnliches ist für Sachsen festzustellen. Während im Freistaat rund 0,46 MW_p PV-Leistung pro 1.000 Einwohnende in 2018 installiert waren (AEE 2021a), war die installierte PV-Leistung in der sächsischen Planungsregion Oberlausitz-Niederschlesien, in der ca. 14 Prozent der Einwohnenden Sachsens leben³⁴, mit ca. 0,8 MW_p rund doppelt so hoch pro 1.000 Einwohnende.

Insgesamt weist der brandenburgische Teil der Lausitz im Jahr 2018 fast die dreifache PV-Anlagenleistung im Vergleich zum sächsischen Teil auf. Der Unterschied in der sächsischen Planungsregion Oberlausitz-Niederschlesien ist besonders bei Freiflächenanlagen signifikant, wo in 2018 nur rund 25 Prozent der Leistung der Planungsregion Lausitz-Spreewald installiert war.

³³ In 2018 lebten knapp 600.000 Einwohnende in Lausitz-Spreewald (vgl. mit rund 2,5 Millionen 2018 in Brandenburg).

³⁴ In 2018 lebten knapp 560.000 Einwohnende in Oberlausitz-Niederschlesien (vgl. mit rund 4 Millionen 2018 in Sachsen).

2.3.2 Potenziale

Ausbauziele, Potenziale und Szenarien für Deutschland

Nachdem das im aktuell geltenden EEG (EEG 2021) verankerte PV-Ausbauziel von 100 GW bis 2030 mittlerweile weithin als überholt gilt um den steigenden Bruttostrombedarf zu decken (Gierkink und Sprenger 2021; BDEW 2021c; Aichinger et al. 2021), will die neue Bundesregierung nun notwendige Veränderungen zur Paris-konformen Entwicklung Deutschlands auf den Weg bringen: Die neue Bundesregierung will die installierte Photovoltaikleistung auf rund 200 GW bis 2030 steigern (vgl. 100 GW im EEG 2021) und somit den Ausbaustand von 54 GW in 2020 nahezu vervierfachen (SPD et al. 2021). Dazu ist ein mittlerer PV-Zubau von rund 15 GW pro Jahr notwendig (aktuell ca. 5 GW im Mittel pro Jahr im EEG 2021), abhängig von der Entwicklung des Strombedarfs und dem Ausbau der Windkraft.

Aktuellen Szenarien zufolge ist ein jährlicher Bruttozubau der PV-Leistung zwischen etwa sieben und 24 GW notwendig, um das Ziel der Klimaneutralität Deutschlands bis 2045 zu erreichen. Die **prognostizierten PV-Ausbaustände in maßgeblichen, aktuellen Energiesystemstudien für die Bundesrepublik in 2045** reichen von 200 bis 550 GW (siehe Tab. 2-10). Dabei ist die große Spannweite auf unterschiedliche Annahmen hinsichtlich nachfrageseitiger Effizienzpotenziale, des Einsatzes von Bioenergie und Windenergie, des Grads der direkten Elektrifizierung sowie des Imports von Strom, Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen zurückzuführen. Das Bundesamt für Naturschutz ermittelte in einer kürzlich veröffentlichten Studie über mensch- und naturverträglich nutzbare Flächen verschiedener EE-Technologien ein Dach-PV-Leistungspotenzial von insgesamt 617 bis 1.156 GW (je nach Variante), mit dem 569 bis 937 TWh/a erzeugt werden können (Thiele et al. 2021).

Tab. 2-10: PV-Ausbauzahlen bis 2045 aus aktuellen Studien im Vergleich

Quellen: ¹Luderer et al. (2021); ²dena (2021); ³Prognos et al. (2021); ⁴Brandes et al. (2020); ⁵Burchardt et al. (2021);. Eigene Darstellung. Gerundete Werte. *bis 2030; **ab 2030; *** Basierend auf altem Klimaschutzziel.

| Ausgewählte Studien | Ariadne Report: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 ¹ | Dena Leitstudie: Aufbruch Klimaneutralität ² | Klimaneutrales Deutschland 2045 ³ | Fraunhofer ISE: Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem ⁴ | BDI Studie: Klimapfade 2.0 - Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft ⁵ |
|------------------------------|--|---|--|---|---|
| Installierte Leistung [GW] | 200 – 550 | 259 | 385 | 449 | 230 |
| Bruttozubau [GW/a] | 6,7 – 24,3 | 7,2* 8,5** | 10* 19** | 14,8 | k. A. |
| Nettostromerzeugung [in TWh] | 192,4 bis 534,7 | 235 | 355 | 450*** | 240 |

Potenziale in der Lausitz

Für die Lausitz wurden zuletzt im Rahmen der 2012 und 2013 veröffentlichten regionalen Energiekonzepte Ausbaupotenziale für die Photovoltaik ermittelt (siehe Tab. 2-11). Laut regionalem Energiekonzept der Planungsregion Lausitz Spreewald (Zschau et al. 2013a) aus dem Jahr 2013 beträgt das **PV-Potenzial der brandenburgischen Planungsregion** 9.865 GWh/a. Somit wurden 2018 bei einer installierten Leistung von 1.294 MW_p und einer geschätzten Nettostromerzeugung von etwa 1.200 GWh/a³⁵ circa 12 Prozent des Potenzials nach Zschau et al. (2013a) ausgeschöpft. Das von Zschau et al. (2013a) ermittelte Potenzial berücksichtigte die (damals) bestehenden Normen, Gesetzgebungen sowie die Wirtschaftlichkeit und wird daher als technisch-ökonomisches Potenzial interpretiert. Weit darunter und bereits überschritten liegt der zuletzt von der Regionalplanung Lausitz-Spreewald (2016) herausgegebene Potenzialwert von 811,8 GWh/a, der in 2016 angelehnt an die – ebenfalls überholten – energiepolitischen Ziele der Brandenburger Energiestrategie 2030 ermittelt worden ist.

In der sächsischen Planungsregion Oberlausitz-Niederschlesien wird im Regionalen Energie- und Klimaschutzkonzept aus dem Jahr 2012 zwischen PV auf Dachflächen sowie PV auf Freiflächen unterschieden (Scheuermann et al. 2012c). Für die Flächen wurde das jeweilige technische Potenzial ausgewiesen. Das technische Dachanlagenpotenzial ist mit 2.195 GWh/a deutlich höher als das Freiflächenpotenzial, welches mit 446 GWh/a bei rund einem Viertel eingeschätzt wird. Vergleicht man das von Scheuermann et al. (2012c) ermittelte **PV-Potenzial für die sächsische Planungsregion** von 2.641 GWh/a mit dem regionalen PV-Ausbaustand im Jahr 2018 von schätzungsweise 430 GWh/a³⁶ bei 450 MW_p installierter Leistung, so wurden in 2018 etwa 16 Prozent des technischen Potenzials nach Scheuermann et al. (2012c) realisiert.

Tab. 2-11: PV Ausbaupotenziale gemäß veröffentlichter Regionalstudien

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von Scheuermann et al. (2012c), Zschau et al. (2013a)

| | |
|--|--|
| Region Lausitz-Spreewald (Brandenburg) | |
| Status quo (2018) | ca. 1.200 GWh/a |
| Technisch-ökonomisches Potenzial gemäß Regionalem Energiekonzept Lausitz-Spreewald (REK) 2013 | 9.865 GWh/a |
| Region Oberlausitz-Niederschlesien (Sachsen) | |
| Status quo (2018) | ca. 430 GWh/a |
| Technisches Potenzial gemäß Regionalem Energie- und Klimaschutzkonzept (REKK) 2012 [Dachfläche + Freifläche] | 2.641 GWh/a [446 GWh/a + 2.195 GWh/a] |
| Gesamtpotenzial Lausitz | 12.506 GWh/a |

³⁵ Basierend auf dem Verhältnis installierte Leistung/Stromeinspeisung der Bundesländer Sachsen und Brandenburg in 2018 (AEE 2021a).

³⁶ Basierend auf dem Verhältnis installierte Leistung/Stromeinspeisung der Bundesländer Sachsen und Brandenburg in 2018 (AEE 2021).

Zum Vergleich dieser (veralteten) Potenzialdaten für die Region wird an dieser Stelle auf Basis der PV-Szenariowerte der zu Beginn des Abschnitts 2.3.2 vorgestellten bundesweiten Studien der Lausitzer Anteil vereinfacht anhand des Flächen- sowie des Bevölkerungsanteils (knapp 3,3 Prozent bzw. knapp 1,4 Prozent siehe Abschnitt 1.2.2) berechnet. Wie Tab. 2-12 zeigt, ergibt sich bei der regionalspezifischen Analyse der hier berücksichtigten bundesweiten Studien **nach Bevölkerungsanteil** ein entsprechend **niedriges Nettostromerzeugungspotenzial von rund 2.700 bis 13.100 GWh/a**, während das **nach Flächenanteil hergeleitete Potenzial für die Lausitz wesentlich höher bei rund 6.300 bis 30.700 GWh/a** liegt. Im Vergleich hierzu liegt das summierte Potenzial der Regionalen (Energie- und) Klimaschutzkonzepte für die Lausitzer Planungsregionen mit rund 12.500 GWh/a innerhalb der hier vereinfacht ermittelten Spannweite. Allerdings ist dieser erste Vergleich nur bedingt aussagekräftig, da den Szenarien verschiedene Potenzialbegriffe zugrunde liegen.

Tab. 2-12: PV-Ausbaupotenziale gemäß Regionalstudien und bundesweiten Studien

Quelle: Eigene Berechnungen und eigene Darstellung auf Basis von Brandes et al. (2020); Burchardt et al. (2021); dena (2021); Luderer et al. (2021); Prognos et al. (2021); Scheuermann et al. (2012c), Thiele et al. (2021), Zschau et al. (2013a)

| Ausgewählte Studien (2012 – 2021) | Regional(isiert)e Potenziale für Nettostromerzeugung in der Lausitz [in GWh/a] |
|--|---|
| Regionale Energiekonzepte Lausitz (Zschau et al. 2013 und Scheuermann et al. 2012) | 12.506 |
| Bundesamt für Naturschutz Potenzialstudie (Thiele et al. 2021) | Anteil nach Bevölkerung: 7.966 bis 13.118 Anteil nach Fläche: 18.663 bis 30.734 |
| Ariadne Report (Luderer et al. 2021) | Anteil nach Bevölkerung: 2.694 bis 7.486 Anteil nach Fläche: 6.311 bis 17.538 |
| dena Leitstudie (dena 2021) | Anteil nach Bevölkerung: 3.290 Anteil nach Fläche: 7.708 |
| Klimaneutrales Deutschland 2045 (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2021) | Anteil nach Bevölkerung: 4.970 Anteil nach Fläche: 11.644 |
| Fraunhofer ISE (Update): (Brandes et al. 2020) | Anteil nach Bevölkerung: 6.300 Anteil nach Fläche: 14.760 |
| BDI Studie: (Burchardt et al. 2021) | Anteil nach Bevölkerung: 3.360 Anteil nach Fläche: 7.872 |

Für die Szenarienberechnung im folgenden Abschnitt wird realisierbare Potenzial der Photovoltaik in der Lausitz abgeleitet, das aufgrund der modellhaften Berücksichtigung wirtschaftlicher, ökologischer und politischer Restriktionen nur eine Teilmenge des technischen Potenzials (z. B. verwendet von Scheuermann et al. (2012c) bei PV) ist.³⁷ Zudem weist die Lausitz als strukturschwacher Raum mit geringer Bevölkerungsdichte und vergleichsweise ertragsarmen Böden ggf. spezifisch höhere Potenziale auf, zumal es mittlerweile integrierte PV-Anwendungen gibt, die flächenschoonende und akzeptanzfördernde Lösungen ermöglichen (siehe nachfolgend). Auch hat die Photovoltaik seit Veröffentlichung der damaligen Regionalstudien von Scheuermann et al. (2012c) bzw. Zschau et al. (2013a) eine enorme Kostendegression erfahren. Für aktuelle Potenzialaussagen sind daher u. a. zusätzlich die folgenden Einflussfaktoren zu beachten:

- **Integrierte PV-Technologien** können die räumlichen Restriktionen reduzieren und höhere technische Potenziale ermöglichen. So werden in den nachfolgenden Szenarien neben den von Scheuermann et al. (2012c) und Zschau et al. (2013a) untersuchten Dachflächen und EEG-förderfähigen Freiflächen auch Fassaden-PV, Agri-PV und Floating PV betrachtet und eine erste, grobe Einschätzung ihrer Potenziale für die Lausitz vorgenommen.
- Während zu Beginn der 2000er Jahre vorwiegend nach Süden ausgerichtete PV-Module als geeignet eingestuft worden sind, nahm die Variation der Ausrichtungen in den letzten 10 Jahren zu (Wirth 2021). So sank der Anteil von rein südlich ausgerichteten PV-Anlagen am Anlagenzubau von 61 Prozent im Jahr 2000 auf 42 Prozent im Jahr 2019, während der Anteil von Anlagen mit West- und Ostausrichtung analog dazu stieg (Peper et al. 2021). Vorteilhaft an der Installation von **PV-Modulen mit Ost/West-Ausrichtung** auf Dächern und Freiflächen ist die Erschließung wirtschaftlicher Potenziale (Verbrauchspeaks in den Morgen- und Nachmittagsstunden) sowie die umfassendere und wirtschaftlichere Ausnutzung von Dachflächenpotenzialen und die mögliche Verstetigung der Stromproduktion eines PV-Kraftwerks im Tagesverlauf.
- Die **Wirtschaftlichkeit** von PV-Anlagen hat sich im Vergleich zu vor zehn Jahren deutlich verbessert; insbesondere mit PV-Großanlagen lässt sich heutzutage sehr günstiger Strom erzeugen. Die Wirtschaftlichkeit verbessert sich tendenziell durch die aktuell steigenden fossilen Brennstoff-, Strom- und CO₂-Preise weiter, demgegenüber sind steigende globale Rohstoffpreise hemmende Entwicklungen. Während die steigenden fossilen Brennstoff- und Strompreise Bestandteil einer gewollten, nachhaltigen (Klima-)Politik sind, können bei Beruhigung der globalen Märkte und durch geeignete Strategien der Rohstoffsicherung die Rohstoffpreise auch wieder sinken, so dass die Projektion der Wirtschaftlichkeit für PV-Anlagen tendenziell positiv ausfällt.
- Der **gesetzliche und bürokratische Rahmen** bleiben maßgebliche Einflussfaktoren für den weiteren PV-Ausbau, jedoch verschieben sich hier die Schwerpunkte deutlich. Für kleinere Anlagen bleibt das EEG noch so lange maßgeblich, bis geeignete andere Fördermodelle etabliert werden, die (netzdienlichen) Eigenverbrauch stärker befördern. Dazu zählen individuelle Eigenverbrauchslösungen, aber auch Energiegemeinschaften, für die es gegenwärtig noch keinen adäquaten Rahmen gibt (Hennig et al. 2021). Bei größeren Anlagen spielen die zu geringen Ausschreibungsmengen des EEG einen begrenzenden Faktor, allerdings entstehen aufgrund der Wirtschaftlichkeit zunehmend PPA-Anlagen ohne EEG-Förderung. Für beide Anlagentypen ist das Thema der regionalen und kommunalen Planung wichtig, die ermöglichen, aber auch hemmen kann. Die Problematik der zu langen Planungs- und Genehmigungsdauern spielt bei der PV derzeit noch eine vergleichsweise geringe Rolle, kann aber mit ansteigendem

³⁷ Zum Potenzialbegriff siehe auch die Ausführungen in Abschnitt 2.1.2.

PV-Zubau an Bedeutung zunehmen, weshalb hierfür vorbeugend Maßnahmen ergriffen werden sollten.

- In Verbindung mit der Regional- und Kommunalplanung steht das Thema der **Akzeptanz vor Ort**, das insbesondere mit der zunehmenden Größe und Verbreitung der PV-Anlagen bedeutender wird. Konflikte mit Naturschutz und Landschaftsbild können zunehmen, weshalb es hierfür Lösungen und Anforderungen braucht, wenn die Potenziale langfristig erschlossen werden sollen. Hierfür sind neben der obligatorischen (prozeduralen) Beteiligung der lokalen Bevölkerung möglichst landschaftsintegrierte und biodiversitätsfreundliche Lösungen zu entwickeln und die Standort-Kommunen und lokalen Akteure **finanziell zu beteiligen** bzw. die Anlagen durch diese direkt zu betreiben. Ein Hemmnis kann hierbei die niedrige Finanzkraft der Kommunen in der Region sowie die vergleichsweise geringe Kapitalausstattung der Menschen vor Ort sein. Dieses könnte jedoch durch entsprechende Bundes- und Landesförderungen gemindert werden. Auch die oben angesprochenen integrierten Lösungen auf dem Dach und kombinierte Lösungen wie die Agri-PV auf der Freifläche können ebenfalls zur Minderung von Akzeptanzproblemen beitragen.
- Ein großes Markthemmnis für den PV-Ausbau stellt der aktuelle **Fachkräftemangel** dar. Wenn nicht ausreichend qualifizierte Installationsbetriebe in der Region zur Verfügung stehen, können potenzielle Investitionen nicht realisiert werden. Gleichzeitig brauchen Handwerksbetriebe die Sicherheit, dass sich Investitionen in zusätzliches Fachpersonal lohnt. Deshalb sollte der gesetzliche Rahmen einen Ausbau dieser Kapazitäten stärken, etwa durch Förderprogramme und Ausbildungsoffensiven. Auch darf sich der steigende Kostendruck durch eine sinkende EEG-Förderung nicht negativ auf die Arbeitsbedingungen auswirken (Hennig et al. 2021). Steigende Löhne sind ebenfalls ein geeignetes Mittel zur Behebung des Fachkräftemangels, hierbei sind jedoch die Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der Anlagen durch die Politik zu berücksichtigen.

2.3.3 Szenarien

Die beiden Szenarien *Current Policies* und *Klimaneutral 2045* werden für die Photovoltaik wie folgt erstellt: Das *Current Policies*-Szenario basiert auf aktuellen energie- und klimapolitischen Vorgaben der Bundesländer Brandenburg und Sachsen und deren Implikationen für die Lausitz. Hier stehen kurz- und mittelfristig konventionelle Dach- und Freiflächenanlagen im Fokus. Im ambitionierten Klimaneutral 2045 Szenario werden neben Dachanlagen auch bisher kaum verbreitete Fassaden-PV-Anlagen integriert, die in der mittleren bis langen Frist signifikante EE-Potenziale eröffnen. Potenziale der bauwerkintegrierten PV im regionalen Wohn- und Nichtwohngebäudebestand werden in diesem Bericht entsprechend differenziert nach Dach- und Fassadenflächen ausgewiesen. Zudem werden im Klimaneutral 2045 Szenario neben EEG-förderfähigen Freiflächen auch Potenziale für Flächen in der Lausitz erhoben, die nicht in den Förderrahmen des EEG 2021 fallen, sowie für Agri- und Floating-PV. Nachfolgend wird die Ausgestaltung der beiden Szenarien aufgrund der jeweils spezifischen Rahmenbedingungen und Datengrundlagen getrennt für den brandenburgischen sowie den sächsischen Teil der Lausitz dargestellt.

Current Policies-Szenario Lausitz-Spreewald (Brandenburg)

Offizielle Strategien und Ziele für den Ausbau der Erneuerbaren Energien in Brandenburg werden in der Energiestrategie der Landesregierung zusammengefasst. Zum Zeitpunkt der Studierenerstellung befindet sich die Energiestrategie 2030 (MWE 2018) des Landes Brandenburg in Revision. Als maßgebliches Dokument für das *Current Policies*-Szenario in der Planungsregion Lausitz-Spreewald wird das von der Prognos AG erstellte **Gutachten zur Energiestrategie Brandenburg 2040** (Falkenberg et al. 2021) verwendet, das Ende Mai 2021 veröffentlicht wurde. Das Gutachten orientiert sich dabei am Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) in der Fassung von Dezember 2019, mit dem Ziel der Klimaneutralität bis 2050. Auf diesem Gutachten basiert auch maßgeblich der vom brandenburgischen Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie (MWAE) Ende Dezember 2021 vorgelegte **Entwurf zur Energiestrategie 2040** (MWAE 2021). In diesem Entwurf, der sich zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieses Berichts in der öffentlichen Konsultation befindet, hat die Landesregierung die neuen Ziele des KSG 2021 zur Einhaltung der Treibhausgasneutralität bis 2045 aufgenommen und einige weitere Zielwerte, zum Beispiel zum Ausbau erneuerbarer Energien, angepasst.³⁸ Da diese zum Zeitpunkt der Bearbeitung jedoch noch nicht beschlossen sind und somit noch Veränderungen unterliegen können, orientieren wir uns an dieser Stelle im Szenario *Current Policies* an den Daten bzw. den im Prognos-Gutachten vorgeschlagenen Ausbauzielen. Damit schlagen wir eine Brücke zwischen den überholten Zielen der zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch gültigen Energiestrategie 2030 (MWE 2018) und dem vorläufigen Entwurf zur Fortschreibung bis 2040 (MWAE 2021).

Für die Schätzung der regionalspezifischen Potenziale der Planungsregion Lausitz-Spreewald im *Current Policies*-Szenario wird vereinfachend angenommen, dass die Region Lausitz-Spreewald in Anbetracht des Flächen- und Bevölkerungsanteils von jeweils ca. 25 Prozent zu rund **einem Viertel des PV-Ausbaus in Brandenburg** beitragen kann (siehe auch Abschnitt 1.2.2). Wie Tab. 2-13 zeigt, waren im Jahr 2018 in Lausitz-Spreewald schon knapp 35 Prozent der brandenburgischen PV-Leistung installiert.

Die PV-Bestände bis 2040 im *Current Policies*-Szenario für Brandenburg gemäß Falkenberg et al. (2021) sowie der Anteil von Lausitz-Spreewald sind in Tab. 2-13 dargestellt. In Lausitz-Spreewald werden **zwischen 2018 und 2030 durchschnittlich 20 MW pro Jahr** hinzugebaut, um bis 2030 mindestens 50 Prozent der nötigen Zubauleistung für das 2040er Ziel von 775 MW Dach-PV-Leistung zu erreichen. In der **Dekade 2030 bis 2040** wächst der jährliche Zubau nochmal auf rund **24 MW** brutto. Insgesamt wächst das **Dachanlagensegment** in der Lausitz von 2018 bis 2040 im *Current Policies*-Szenario um rund 260 Prozent. Auf **Freiflächen** ist der Ausbaupfad relativ gesehen weniger steil: Hier nimmt die Leistung von 1 GW in 2018 auf 1,8 GW in 2040 um 180 Prozent zu. Gemäß Falkenberg et al. (2021) ist der jährliche Freiflächenzubau zwischen 2018 bis 2030 dynamischer bei knapp 42 MW neu installierter Leistung im Vergleich zum mittleren Zubau von 30 MW ab 2030 bis 2040.

³⁸ Der Entwurf des MWAE für die Energiestrategie 2040 erhöht das im Prognos-Gutachten avisierte PV-Ausbauziel von 10,3 GW in 2040 (davon 7,2 GW Freifläche) um weitere 2 GW PV-Leistung aus nicht förderbaren Freiflächenanlagen (MWAE 2021).

Tab. 2-13: Current Policies-Szenario PV in Brandenburg und Lausitz-Spreewald (L-S)

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von Falkenberg et al. (2021) sowie des Marktstammdatenregisters (alle bis 31.12.2018 in Betrieb genommene Anlagen). *Verwendung des Medians, damit bis 2030 mindestens 50% des Zubaus erreicht ist. **Schätzwerte nach Falkenberg et al. (2021)

| | | 2018 | 2030 | 2040 |
|--|-------------------|--------------|---------------|--------------|
| Brandenburg Nettostromerzeugung [in TWh] | Dach | 0,8 | 1,6 | 2,5 |
| | Freifläche | 2,8 | 5,9 | 8,2 |
| Brandenburg Installierte Leistung [in MW _p] | Dach | 1.000 | 2.000 | 3.100 |
| | Freifläche | 2.700 | 6.000 | 7.200 |
| L-S Nettostromerzeugung [in TWh] | Dach | 0,24** | 0,43** | 0,625 |
| | Freifläche | 1,04** | 1,47** | 2,05 |
| L-S Installierte Leistung [in MW_p] | Dach | 294 | 534,5* | 775 |
| | Freifläche | 1.000 | 1.500 | 1.800 |

Current Policies-Szenario Oberlausitz-Niederschlesien (Sachsen)

Für das *Current Policies*-Szenario in Sachsen wird als maßgebliches Dokument das **Energie- und Klimaprogramm (EKP) Sachsen 2021** verwendet (SMEKUL 2021). Das im Juni 2021 veröffentlichte Strategiepapier ist die Grundlage für Klimaschutz, Energiewende und Klimaanpassung in Sachsen für den Zeitraum bis 2030. Offizielle Dokumente zur Fortschreibung der Strategie bis 2040 liegen zum Zeitpunkt der Studiererstellung nicht vor. Im EKP Sachsen 2021 wird für das Jahr 2030 das allgemeine Ziel formuliert, „[...] im Vergleich zum Jahr 2019 insgesamt 10 TWh Jahreserzeugung zusätzlich aus erneuerbaren Energien [...]“ zu gewinnen (SMEKUL 2021, 4). Für das *Current Policies*-Szenario wird vereinfachend angenommen, dass davon 50 Prozent, also **5 TWh mit PV-Anlagen** erzeugt werden (siehe auch *Current Policies*-Szenario Wind in Abschnitt 2.2.3). Im sächsischen EKP 2021 fehlen differenzierte Ziele für Freiflächen- und Dachanlagen. Deshalb wurden die Relationen von Falkenberg et al. (2021) für Brandenburg übernommen, d. h. 60 Prozent Freiflächen-PV und 40 Prozent Dach-PV (installierte Leistung in 2030). Da die Zielvorgaben im sächsischen EKP nicht über das Jahr 2030 hinausreichen, werden für die Dekade bis 2040 die Wachstumsraten im Dach- und Freiflächensegment von Lausitz-Spreewald im betrachteten Zeitraum herangezogen. Anders als in der brandenburgischen Energiestrategie, welche Ausbauziele in GW und TWh ausweist, werden im sächsischen EKP lediglich Zielwerte für die zugebaute Stromerzeugung in TWh beschrieben. Zur Umrechnung wird auf die von Falkenberg et al. (2021) verwendeten Konversionsraten für Dach- und Freiflächenanlagen in 2040 zurückgegriffen.³⁹ Analog zur

³⁹ Dach-PV: 3.100 MW => 2,5 TWh bzw. 1.240 MW => 1 TWh; Freiflächen-PV: 7200 MW => 8,2 TWh bzw. 878 MW => 1 TWh.

Erhebung in Lausitz-Spreewald wird für die Planungsregion Oberlausitz-Niederschlesien angenommen, dass die Region zu rund **einem Viertel des PV-Zubaus in Sachsen** beitragen kann.⁴⁰

Den Entwicklungspfad in Sachsen bis 2040 gemäß *Current Policies*-Szenario zeigt Tab. 2-14. Der Zubau der installierten Leistung auf Dach- und Freiflächen erlebt vor allem bis 2030 ein starkes Wachstum. Das **Dachanlagensegment wächst zwischen 2018 und 2030 um mehr als das Vierfache** (435 Prozent), das **Freiflächensegment um knapp das 3,5-fache** (348,5 Prozent). Für den Zeitraum von 2030 bis 2040, in dem aufgrund mangelnder Daten die Wachstumsraten der Region Lausitz-Spreewald gemäß Falkenberg et al. (2021) zugrunde gelegt wurden, wächst das Dachanlagensegment weiterhin stark an. Demnach werden in der Planungsregion Oberlausitz-Niederschlesien zwischen 2030 und 2040 im Mittel rund 38 MW installierte Dach-PV-Leistung jährlich zugebaut. Auf der Freifläche ist der Zubau im gleichen Zeitraum mit rund 19 MW nur halb so groß, sodass die installierte Leistung von Dachanlagen die der Freiflächenanlagen sogar übersteigt. Aufgrund des höheren spezifischen Ertrags bei Freiflächen-PV (Falkenberg et al. 2021) ist das Stromerzeugungspotenzial (in TWh) jedoch höher im Vergleich zu Dachanlagen.

Tab. 2-14: *Current Policies*-Szenario PV in Sachsen und der Planungsregion Oberlausitz-Niederschlesien (O-N)

Quelle: Eigene Berechnungen auf Grundlage von SMEKUL (2021), Falkenberg et al. (2021) sowie des Marktstammdatenregisters (alle bis 31.12.2018 in Betrieb genommenen Anlagen in zugehörigen Postleitzahlgebieten). **Schätzwerte nach Falkenberg et al. (2021)

| | | 2018 | 2030 | 2040 |
|--|-------------------|------------|--------------|----------------|
| Zugebaute PV Nettostromerzeugung [in TWh] | Sachsen | k. A. | 5 | k. A. |
| | O-N | k. A. | 1,25 | k. A. |
| Zugebaute PV Nettostromerzeugung O-N [in TWh] | Dach | k. A. | 0,5 | k. A. |
| | Freifläche | k. A. | 0,75 | k. A. |
| Zugebaute Leistung O-N [in MW _p] ⁴¹ | Dach | k. A. | 620 | 995,7 |
| | Freifläche | k. A. | 658,5 | 843,2 |
| Nettostromerzeugung O-N [in TWh] ⁴² | Dach | 0,15** | 0,64** | 0,95 |
| | Freifläche | 0,27** | 0,91** | 1,26 |
| Installierte Leistung O-N [in MW_p] | Dach | 185 | 805 | 1.180,7 |
| | Freifläche | 265 | 923,5 | 1.108,2 |

⁴⁰ Zwar umfassen die Einwohnenden in Oberlausitz-Niederschlesien nur 14 % der sächsischen Bevölkerung, allerdings entspricht die Fläche der Planungsregion rund 25 % der Landesfläche Sachsens. Auch der regionale Anteil der installierten PV-Leistung an der sächsischen installierten PV-Leistung im Jahr 2018 betrug knapp 25 %.

⁴¹ Zur Umrechnung TWh in MW werden die von Falkenberg et al. (2021) verwendeten Konversionsraten für Aufdach- und Freiflächenanlagen in 2040 verwendet. Dach-PV: 3100 MW => 2,5 TWh bzw. 1240 MW => 1 TWh; Freiflächen-PV: 7200 MW => 8,2 TWh bzw. 878 MW => 1 TWh.

⁴² Siehe vorige Fußnote.

Verteilung der Anlagenklassen im *Current Policies*-Szenario

Für die Berechnung regionalökonomischer Effekte in der Lausitz wird das Dachanlagensegment unter Berücksichtigung relevanter EEG Regelungen auf vier Referenzanlagengrößen (5 kW_p, 30 kW_p, 100 kW_p und 500 kW_p) aufgeteilt. Tab. 2-15 zeigt den Ausbau der verschiedenen Dachanlagengrößen, sowie von Freiflächenanlagen aller Größen in der Lausitz bis zum Jahresbeginn 2040 im *Current Policies*-Szenario. Ausgehend von rund 1,7 GW in 2018 hat sich die PV-Leistung in der Lausitz bis 2040 auf 4,9 GW nahezu verdreifacht. Davon fallen knapp 60 % auf Freiflächenanlagen, die mit knapp 49 MW pro Jahr auch den größten mittleren Zuwachs pro Jahr verzeichnen. Im Dachanlagensegment wird der größte durchschnittliche Zuwachs an installierter Leistung mit knapp 32 MW pro Jahr bei größeren Anlagen zwischen 40 und 300 kW_p erwartet. Während in der Region Lausitz-Spreewald im Ausgangsjahr 2018 noch knapp 75 % der PV-Leistung in der Lausitz erzeugt worden ist, gleichen sich die Verhältnisse im *Current Policies*-Szenario bis 2040 an. So kann die Region Oberlausitz-Niederschlesien im Jahr 2040 zu 47 % der regionalen PV-Leistung beitragen.

Tab. 2-15: Entwicklung der Photovoltaik im *Current Policies*-Szenario bis 2040

Quelle: Eigene Berechnungen auf Grundlage von SMEKUL (2021), Falkenberg et al. (2021) sowie des Marktstammdatenregisters (alle bis 31.12.2018 in Betrieb genommenen Anlagen)

| | Jahr | Referenz-anlage Dach 5 kW _p (bis 10 kW _p) [in MW _p] | Referenz-anlage Dach 30 kW _p (>10 bis 40 kW _p) [in MW _p] | Referenz-anlage Dach 100 kW _p (>40 bis 300 kW _p) [in MW _p] | Referenz-anlage Dach 500 kW _p (> 300 kW _p) [in MW _p] | Freiflä- che (alle Größen) [in MW _p] | Summe [in MW _p] |
|---|-------------|--|--|--|---|---|--------------------------------|
| Lausitz- Spreewald | 2018 | 45,00 | 42,00 | 73,00 | 134,00 | 1.000,00 | 1.294,00 |
| | 2030 | 69,00 | 90,750 | 191,50 | 183,25 | 1.500,00 | 2.034,50 |
| | 2040 | 93,00 | 139,50 | 310,00 | 232,50 | 1.800,00 | 2.575,00 |
| Oberlau- sitz- Nieder- schlesien | 2018 | 25,00 | 31,00 | 48,00 | 81,00 | 265,00 | 450,00 |
| | 2030 | 96,60 | 144,90 | 322,00 | 241,50 | 923,50 | 1.728,50 |
| | 2040 | 130,22 | 222,71 | 521,32 | 306,46 | 1.108,20 | 2.288,91 |
| Lausitz gesamt | 2018 | 70,00 | 73,00 | 121,00 | 215,00 | 1.265,00 | 1.744,00 |
| | 2030 | 165,60 | 235,65 | 513,50 | 424,75 | 2.423,50 | 3.763,00 |
| | 2040 | 223,22 | 362,21 | 831,32 | 538,96 | 2.908,20 | 4.863,91 |

Tab. 2-16: Mittlerer Zubau der Photovoltaik im *Current Policies*-Szenario bis 2040

Quelle: Eigene Berechnungen auf Grundlage von SMEKUL (2021), Falkenberg et al. (2021) sowie des Marktstammdatenregisters (alle bis 31.12.2018 in Betrieb genommene Anlagen)

| | Referenz- anlage Dach 5 kW_p (bis 10 kW_p) [in MW_p] | Referenz- anlage Dach 30 kW_p (>10 bis 40 kW_p) [in MW_p] | Referenz- anlage Dach 100 kW_p (>40 bis 300 kW_p) [in MW_p] | Referenz- anlage Dach 500 kW_p (> 300 kW_p) [in MW_p] | Freifläche (alle Größen) [in MW_p] | Summe [in MW_p] |
|---|---|---|---|---|---|--------------------------------------|
| Lausitz- Spree- wald | 2,40 | 4,88 | 11,85 | 4,93 | 30,00 | 54,05 |
| Oberlau- sitz- Nieder- schlesien | 3,36 | 7,78 | 19,93 | 6,50 | 18,47 | 56,04 |
| Lausitz gesamt | 5,76 | 12,66 | 31,78 | 11,42 | 48,47 | 110,09 |

Textbox 2: Das EEG 2021 und mögliche Effekte auf bauwerkintegrierte PV-Anlagen (BIPV):

Relevant für die Wirtschaftlichkeit von BIPV-Anlagen sind u. a. die im EEG festgeschriebene Einspeisevergütung sowie die EEG-Umlage für den Eigenverbrauch. Die Einspeisevergütung nach § 48 ist ein zentrales Förderinstrument für den Betrieb von Solaranlagen. Die Vergütung wird ab Inbetriebnahme bezahlt, sodann wird der für den Monat der Inbetriebnahme festgelegte Einspeisevergütungssatz 20 Jahre lang gezahlt. Hierbei erhalten kleine Anlagen bis 10 kW_p Nennleistung die höchste Einspeisevergütung, danach verringert sich der Vergütungssatz sukzessive für die Anlagenklassen > 10 bis 40 kW_p sowie > 40 kW_p. Für Neuanlagen wird die garantierte Einspeisevergütung nur noch bis 100 kW_p Nennleistung gewährt. Beim Betrieb einer Neuanlage > 100 kW_p wird die sogenannte „Marktprämie“ gezahlt, wenn ein Direktvermarkter mit der Vermarktung des Stroms beauftragt wird.

Die EEG-Umlage entfällt für den Eigenverbrauch vor Ort vollständig, wenn die Leistung der eigenen PV-Anlage < 30 kW_p ist bzw. nicht mehr als 30.000 kWh erzeugt. Bei Anlagen > 30 kW_p muss ein prozentualer Anteil der EEG Umlage gezahlt werden. Im EEG 2017 lag diese Freigrenze noch bei < 10 kW_p und 10.000 kWh. Entsprechend hat sich die Wirtschaftlichkeit von Anlagen > 10 kW_p verbessert.

Bei PV-Anlagen > 300 kW_p bis 750 kW_p sind Betreiberinnen und Betreiber nicht verpflichtet sich an Ausschreibungen zu beteiligen (dies gilt erst ab 750 kW_p), allerdings wurde im EEG 2021 festgelegt, dass sie nur 50 Prozent der festgelegten Vergütung für den erzeugten Solarstrom erhalten. Für eine volle Förderung der mittelgroßen Dachanlagen braucht es den Zuschlag in Ausschreibungen. Die erste Ausschreibungsrunde für BIPV-Module ab 300 kW_p im Juni 2021 war auf 150 MW begrenzt und deutlich überzeichnet. Der Betrieb von gewerblichen und landwirtschaftlichen PV-Dachanlagen, zum Beispiel auf Ställen mit großen Dachflächen in der Landwirtschaft mit vergleichsweise geringen Eigenverbrauchsquoten, wird dadurch ggf. benachteiligt bzw. ist stärker von der Strompreisentwicklung am Markt abhängig.

In der gegenwärtigen Situation seit Ende 2021, in der die Strompreise (aufgrund des noch drastischeren Gaspreisanstiegs) an der Strombörse sowie auch für Endkunden sehr stark gestiegen sind, verbessert sich die Wirtschaftlichkeit aktuell sowohl für die Direktvermarktung als auch für den Eigenverbrauch. Obwohl davon auszugehen ist, dass der Effekt in dieser Höhe temporär ist, ist – auch angesichts der Ankündigung der Regierungskoalition auf Bundesebene, das Strommarktdesign zu verändern – davon auszugehen, dass die derzeitigen Rahmenbedingungen zur Förderung der erneuerbaren Energien und so auch für die Photovoltaik angepasst werden. Die günstigen und tendenziell weiter fallenden Stromgestehungskosten der Photovoltaik werden jedoch auch bei geänderten Rahmenbedingungen angesichts der steigenden fossilen Brennstoffkosten zu immer mehr wirtschaftlichen Anwendungsfällen führen.

Klimaneutral 2045-Szenario

Für das *Klimaneutral 2045*-Szenario werden neben konventionellen Dach- und Freiflächenanlagen auch die Flächenpotenziale von drei weiteren innovativen PV-Technologien analysiert, die gegenwärtig bereits in Nischen in der Anwendung sind: erstens Fassaden-PV als Beispiel für bauwerkintegrierte Photovoltaik (BIPV), zweitens Agri-PV auf landwirtschaftlich genutzten Flächen sowie drittens Floating-PV auf Seeflächen. Die Potenzialermittlung basiert auf Methoden technologiespezifischer PV-Studien aus den letzten Jahren und wird mit Flächendaten für die Region Lausitz ergänzt, die im Rahmen dieser Studie erhoben wurden (siehe Kapitel 2.5 für Gebäudedaten).

Technisch-ökonomisches BIPV-Potenzial in der Lausitz

Die regionalen BIPV-Potenziale in der Lausitz werden auf Basis der Erhebungen von Eggers et al. (2020) abgeleitet. Die von Eggers et al. (2020) entwickelte Methode zur gebäudescharfen BIPV-Potenzialanalyse bezieht im Unterschied zu anderen regionalen Solarpotenzialanalysen (z. B. aktuelle Energieatlanten bzw. Solarkataster verschiedener Bundesländer⁴³) neben Dachflächen auch Fassadenflächen mit ein. Zur Ermittlung des technisch-ökonomischen BIPV-Potenzials werden der Einfluss von Verschattung, die klimatischen Bedingungen vor Ort, sowie die technischen Charakteristika von BIPV-Systemen berücksichtigt (ebda.). Die Anwendung der Methode von Eggers et al. (2020) in der Lausitz erscheint insofern geeignet, da dort ähnliche klimatische Bedingungen wie in der angrenzenden Stadt Dresden herrschen, die Eggers et al. (2020) als Anwendungsbeispiel wählen. Aufgrund der Unsicherheiten werden die ermittelten Potenzialwerte großzügig abgerundet.

In einem ersten Schritt wurde die Größe der **Dach- und Fassadenflächen von Wohn- und Nichtwohngebäude in der Lausitz** ermittelt. Für Wohngebäude liegen detaillierte Gebäudegeometriedaten vor (siehe Kapitel 2.5), mithilfe derer die Bruttoflächen von Schrägdächern, Flachdächern und Fassaden von Ein- und Zweifamilienhäusern, sowie von Mehrfamilienhäusern erfasst wurde. In der Auswertung wird zwischen **vier Wohng Gebäudetypen** unterschieden (siehe Abschnitt 2.5):

- Single Family House (SFH): freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser,
- Terraced House (TH): Ein- und Zweifamilienhäuser als Doppelhaushälften oder als Reihenhäuser,
- Multi-Family-House (MFH): Mehrfamilienhaus mit 3 bis 12 Wohnungseinheiten,
- Apartment Blocks (AB): Mehrfamilienhaus mit 13 und mehr Wohnungseinheiten.

Für Nichtwohngebäude werden aufgrund mangelnder Daten die durchschnittliche Bruttodach- bzw. Fassadenfläche für Gebäudetypen der folgenden **vier Nutzungsklassen** ermittelt:

- Bildung (Schulgebäude)
- Büro und Verwaltung
- Gewerbe und Industrie,
- Handel und Dienstleistungen.

Flächenpotenziale von Nichtwohngebäuden anderer Nutzungsklassen, darunter Sporthallen, Krankenhäuser, Hotels und Kultureinrichtungen werden nicht berücksichtigt. Da die vier ausgewählten

⁴³ Siehe beispielsweise energieatlas.berlin.de; energieatlas-bw.de; energieatlas.nrw.de (letzter Zugriff jeweils am 28.01.2022).

Nutzungsklassen rund 86 Prozent des deutschlandweit beheizten Nichtwohngebäudebestands umfassen (Deilmann et al. 2013), stellen sie einen guten Näherungswert dar. Darüber hinaus halten unbeheizte Nichtwohngebäude wie Ställe und Scheunen, Kläranlagen oder Parkhäuser erhebliche BIPV-Potenziale bereit, die es zu berücksichtigen gilt. Laut BMVBS-Daten für vier ausgewählte Bundesländer, darunter auch das Land Brandenburg, ist die Fläche unbeheizter Nichtwohngebäude rund 45 Prozent größer als die Fläche beheizter Nichtwohngebäude (Deilmann et al. 2013). Da nicht davon auszugehen ist, dass alle unbeheizten Gebäude für die Nutzung von PV geeignet ist, wird hier ein Abschlag von rund einem Drittel vorgenommen, so dass von einem gleichhohen Potenzial an beheizten wie nicht beheizten Gebäuden ausgegangen wird. Für den gesamten Nichtwohngebäudebestand wird also vereinfachend angenommen, dass er zu gleichen Teilen aus beheizten und unbeheizten Nichtwohngebäuden besteht, d. h. mit Faktor zwei (1x beheizt und 1x unbeheizt) kalkuliert wird.

Wie Tab. 2-17 zeigt, ergibt sich für die Planungsregion Lausitz-Spreewald damit eine Bruttodachfläche von rund 46.500.000 m². Die Bruttofassadenfläche beträgt etwa 41.000.000 m². In der Planungsregion Oberlausitz-Niederschlesien weichen die Flächengrößen nur geringfügig ab, hier ergibt sich eine Bruttodachfläche von rund 45.000.000 m², sowie eine Bruttofassadenfläche von rund 40.000.000 m². Damit umfasst das **theoretische BIPV-Potenzial in der Lausitz** eine Fläche von **knapp 173 km²**. Im Wohngebäudebereich verfügen freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser (SFH) mit Abstand über die größten Dach- und Fassadenflächen (brutto), gefolgt von Mehrfamilienhäusern mit 3 bis 12 Wohneinheiten. Im Nichtwohngebäudebereich sind die größten Bruttoflächen an Dächern und Fassaden in Industrie und Gewerbe zu finden, die die Potenziale der anderen Nutzungsklassen um etwa das fünffache übersteigen. Detaillierte Ergebnisse zu Bruttoflächen von Dächern und Fassaden verschiedener Nichtwohngebäudenutzungsformen bzw. Wohngebäudetypen sind in Tab. 2-17 aufgeschlüsselt.

Tab. 2-17: Bruttoflächen (in m²) von Dächern und Fassaden in Lausitz-Spreewald (L-S) und Oberlausitz-Niederschlesien (O-N)

Anmerkung zu Nichtwohngebäuden: Eine Auswertung auf Landkreisebene ergab, dass die vier Nutzungsklassen in L-S und O-N etwa gleich häufig vorhanden sind.

Quellen: Eigene Berechnungen nach IWU (2020) und Statistisches Bundesamt (2013a).

| Gebäudenutzung/ Gebäudetyp | Bruttofläche Schrägdach [in m ²] | | Bruttofläche Flachdach [in m ²] | | Bruttofläche Fassaden [in m ²] | |
|------------------------------------|--|-------------------|---|-------------------|--|-------------------|
| | L-S | O-N | L-S | O-N | L-S | O-N |
| TH | 648.000 | 511.000 | 963.000 | 938.000 | 1.725.000 | 1.551.000 |
| SFH | 11.162.000 | 9.570.000 | 0 | 0 | 14.861.000 | 13.179.000 |
| MFH | 882.000 | 1.375.000 | 2.265.000 | 2.088.000 | 5.874.000 | 6.565.000 |
| AB | 15.000 | 59.000 | 199.000 | 154.000 | 856.000 | 721.000 |
| Wohngebäude gesamt | 12.707.000 | 11.515.000 | 3.427.000 | 3.180.000 | 23.316.000 | 22.016.000 |
| Bildung | 2.075.637 | 2.075.637 | 1.815.536 | 1.815.536 | 1.688.619 | 1.688.619 |
| Büro und Verwaltung | 1.612.926 | 1.612.926 | 1.384.268 | 1.384.268 | 2.520.814 | 2.520.814 |
| Gewerbe und Industrie | 10.082.144 | 10.082.144 | 8.995.793 | 8.995.793 | 11.390.649 | 11.390.649 |
| Handel- und Dienstleistungen | 2.364.735 | 2.364.735 | 2.080.691 | 2.080.691 | 2.282.765 | 2.282.765 |
| Nichtwohngebäude gesamt | 16.135.442 | 16.135.442 | 14.276.288 | 14.276.288 | 17.882.847 | 17.882.847 |
| Gesamt | 28.842.442 | 27.650.442 | 17.703.288 | 17.456.288 | 41.198.847 | 39.898.847 |

Im Anschluss werden die regionalen Bruttodach- und -Fassadenflächen verschiedener Wohn- und Nichtwohngebäudetypen auf ihre Eignung für die Installation von PV-Anlagen, d. h. auf ihr technisch-ökonomisches Potenzial untersucht. Unter der Annahme, dass sehr kleine Flächen für BIPV-Module technisch und/oder ökonomisch ungeeignet sind, wird bei Bruttodach- bzw. -Fassadenflächen eine **Flächenuntergrenze von 7 m²** zur Erzeugung von 1 kW_p angenommen (Eggers et al. 2020). Folgende Mindestflächen (nach Referenzanlagenklasse) werden angenommen:

- PV-Anlage bis 10 kW_p: Bruttofläche < 70 m²
- PV-Anlage > 10 bis 40 kW_p: Bruttofläche > 70 m² und < 280 m²
- PV-Anlage > 40 bis 300 kW_p: Bruttofläche > 280 m² und < 2.100 m²
- PV-Anlage > 300 kW_p: Bruttofläche > 2.100 m²

Die potenzielle Verteilung der Anlagenklassen auf verschiedenen Gebäudetypen zeigt Tab. 2-18.

Tab. 2-18: Installierbare BIPV-Anlagengröße auf Wohn- und Nichtwohngebäuden

Quelle: Eigene Berechnungen nach IWU (2020) und Statistisches Bundesamt (2013a)

Anmerkung: Pro kW_p werden mind. 7 m² Fläche benötigt (Eggers et al. 2020)

| Gebäudenutzung/ Gebäudetyp | Dach-PV Potenzial der Gebäude (im Ø nach Anlagengröße) | Fassaden-PV Potenzial der Gebäude (im Ø nach Anlagengröße) |
|---|---|---|
| Wohngebäude | | |
| TH | 70 % bis 10 kW _p 30 % > 10-40 kW _p | 100 % bis 10 kW _p |
| SFH | 50 % bis 10 kW _p 50 % > 10-40 kW _p | 50 % bis 10 kW _p 50 % > 10-40 kW _p |
| MFH | 50 % > 10-40 kW _p 50 % > 40-300 kW _p | 10 % > 10-40 kW _p 90 % > 40-300 kW _p |
| AB | 100 % > 40-300 kW _p | 80 % > 40-300 kW _p 20 % > 300 kW _p |
| Nichtwohngebäude | | |
| Bildung | 20 % > 10-40 kW _p 80 % > 40-300 kW _p | 50 % > 10-40 kW _p 50 % > 40-300 kW _p |
| Büro und Verwaltung | 20 % > 10-40 kW _p 80 % > 40-300 kW _p | 50 % > 10-40 kW _p 50 % > 40-300 kW _p |
| Gewerbe und Industrie | 20 % > 10-40 kW _p 60 % > 40-300 kW _p 20 % > 300 kW _p | 20 % > 10-40 kW _p 60 % > 40-300 kW _p 20 % > 300 kW _p |
| Handel- und Dienstleistungen | 20 % > 10-40 kW _p 60 % > 40-300 kW _p 20 % > 300 kW _p | 20 % > 10-40 kW _p 60 % > 40-300 kW _p 20 % > 300 kW _p |

Um im Anschluss die **verbleibende BIPV-Modulfläche** zu berechnen, werden pauschale Abschlagsfaktoren von Eggers et al. (2020) übernommen. Diese Faktoren umfassen Fenster- und Türabschnitte, generelle Ränder, Aufbauten bei Dachflächen sowie die Verschattung von Fassaden bei ein- und mehrgeschossigen Gebäuden (Eggers et al. 2020).⁴⁴ Wie Tab. 2-19 zeigt, reduziert sich die Bruttodachfläche um etwas mehr als 50 Prozent, während von der Bruttofassadenfläche nur knapp 20 Prozent als BIPV-Modulfläche verbleiben.

Tab. 2-19: Verteilung der BIPV-Modulfläche auf ausgewählte Anlagenklassen in Lausitz-Spreewald (L-S) und Oberlausitz-Niederschlesien (O-N)

Gerundete Werte; Quelle: Berechnungen gemäß Eggers et al. (2020)

| | Referenz-anlage 5 kW _p (bis 10 kW _p) | Referenz-anlage 30 kW _p (> 10 bis 40 kW _p) | Referenz-anlage 100 kW _p (> 40 bis 300 kW _p) | Referenz-anlage 500 kW _p (> 300 kW _p) | Summe |
|--|---|---|---|--|------------|
| L-S Dach Bruttofläche [in m ²] | 6.709.000 | 13.720.000 | 21.412.000 | 4.705.000 | 46.546.000 |
| L-S Dach Modulfläche [in m ²] | 3.200.000 | 6.545.000 | 10.214.000 | 2.244.000 | 22.203.000 |
| L-S Fassade Bruttofläche [in m ²] | 9.156.000 | 12.857.000 | 16.280.000 | 2.906.000 | 41.199.000 |
| L-S Fassade Modulfläche [in m ²] | 1.730.000 | 2.430.000 | 3.077.000 | 549.000 | 7.786.000 |
| O-N Dach Bruttofläche [in m ²] | 5.799.000 | 13.721.000 | 21.569.000 | 4.705.000 | 45.794.000 |
| O-N Dach Modulfläche [in m ²] | 2.766.000 | 6.545.000 | 10.289.000 | 2.244.000 | 21.844.000 |
| O-N Fassade Bruttofläche [in m ²] | 8.141.000 | 12.085.000 | 16.794.000 | 2.879.000 | 39.899.000 |
| O-N Fassade Modulfläche [in m ²] | 1.539.000 | 2.284.000 | 3.174.000 | 544.000 | 7.541.000 |

⁴⁴ Für eine detaillierte Darstellung der Abschläge siehe Eggers et al. (2020) S. 844 ff.

In einem letzten Schritt wird zur Ermittlung des technisch-ökonomischen BIPV-Potenzials in der Lausitz ein weiterer Abschlag von 20 Prozent auf die Ergebnisse gemäß Eggers et al. (2020) vorgenommen. Dieser Abschlag beruht auf der Prämisse, dass der Ausbau der BIPV in der strukturschwachen Region Lausitz stärker von ökonomischen Restriktionen gehemmt wird im Vergleich zur wirtschaftsstärkeren Stadt Dresden, die bei Eggers et al. (2020) Anwendungsbeispiel ist.

Insgesamt reduziert sich das theoretische BIPV-Potenzial von knapp 173 km² Bruttofläche auf ein technisch-ökonomisches Potenzial von rund **59 km² BIPV-Modulfläche in der Lausitz**. Dies entspricht einer **installierbaren elektrischen BIPV-Leistung von insgesamt 20.113 MW_p**, die sich auf rund 44 km² bzw. 14.722 MW_p auf Dächern und rund 15 km² bzw. 5.391 MW_p an Fassaden aufteilt (siehe Tab. 2-20). Die technisch-ökonomischen BIPV-Potenziale in den beiden Planungsregionen sind in etwa gleich hoch.

Tab. 2-20: BIPV-Flächenpotenzial und installierbare Leistung in der Lausitz

Quelle: Berechnungen in Anlehnung an Eggers et al. (2020)

Anmerkung: Auf die installierbare Leistung wurde ein weiterer Abschlag in Höhe von 20 % erhoben

| | PV-Modulfläche Dach | PV-Modulfläche Fassade | BIPV-Modulfläche Gesamt |
|--------------------------------------|--|---|--|
| Lausitz- Spreewald | 5.937 MW_p (22.202.314 m ²) | 2.191 MW_p (7.786.582 m ²) | 8.128 MW_p (29.988.896 m ²) |
| Oberlausitz- Nieder- schlesien | 5.841 MW_p (21.843.848 m ²) | 2.121 MW_p (7.540.882 m ²) | 7.963 MW_p (29.384.730 m ²) |
| Lausitz Gesamt | 11.778 MW_p (44.046.162 m ²) | 4.312 MW_p (15.327.464 m ²) | 16.091 MW_p (59.373.626 m ²) |

Technisch-ökonomisches Freiflächen-PV-Potenzial in der Lausitz

Für die Ermittlung von Freiflächenpotenzialen (EEG-förderbar und nicht förderbar, Agri und Floating) in der Lausitz wird auf bestehende regionale PV-Potenzialstudien zurückgegriffen (Günnewig et al. 2009; Zschau et al. 2013a; Scheuermann et al. 2012c), die mit aktuellen Flächendaten (LMBV 2021; Regionale Planungsgemeinschaft Lausitz-Spreewald 2022) ergänzt werden. Wesentliche Quellen sind zudem die PV-Freiflächenanalysen von Kelm et al. (2019) und der Stiftung Klimaneutralität (2021c) (inklusive Agri-PV) sowie die von Fraunhofer ISE (2020) analysierten Floating-PV-Potenziale auf Braunkohle-Tagebauseen.

Im *Klimaneutral 2045*-Szenario wird die Flächenkulisse für EEG-Umlagen von den aktuell vergütungsfähigen Flächen (Autobahn- und Schienen-Randstreifen und Konversionsflächen) auf Ackerflächen und Grünland in benachteiligten Gebieten ausgeweitet. Während die Nutzung von benachteiligten Gebieten für PV-Anlagen in Sachsen bereits heute in eingeschränktem Umfang möglich ist (siehe Abschnitt 2.3.1), macht Brandenburg zum Zeitpunkt der Studiererstellung noch nicht von der entsprechenden Länderöffnungsklausel Gebrauch. Im *Klimaneutral 2045*-Szenario wird angenommen, dass alle benachteiligten Gebiete für PV-Anlagen geöffnet werden. Mangels Daten wurden die Potenziale auf versiegelten Flächen in dieser Studie vernachlässigt. Ebenso bleiben zusätzliche Potenziale auf ehemaligen Tagebauflächen des Lausitzer Reviers unberücksichtigt. Einen knappen Einblick in Chancen und Herausforderungen der Tagebauflächennutzung mit PV-Anlagen verschafft die nachfolgende Textbox 3.

Textbox 3: PV-Potenziale auf Tagebauflächen in der Lausitz

In der Studie *Erneuerbare Energievorhaben in Tagebauregionen* (Richwien et al. 2018) wurde für das Lausitzer Revier ein technisch-ökonomisches PV-Potenzial von 8.820 MW_p ermittelt, wobei insbesondere die Tagebauflächen als ehemalige „Energieflächen“ überproportional in Anspruch genommen wurden. Dabei wurden z. B. Kriterien wie eine Flächen-Mindestgröße von > 10 ha, die Bodenpunktzahl sowie bergrechtliche Sperrbereiche berücksichtigt (Richwien et al. 2018, 85 f.). Analog zur Windenergie sei darauf hingewiesen, dass zur Erschließung dieser Potenziale einige Voraussetzungen erfüllt sein müssen. Die letztliche (ggf. anteilige) Umsetzung eines solchen Potenzials wird maßgeblich davon abhängen, ob sich eine Allianz zur Erschließung der Flächen bildet, welche sich von der kommunalen über die Landes- bis zur Bundesebene erstreckt. In der Region müssen mögliche Vorhabenträger, Kommunalverwaltungen und -politik sowie Bergbaubehörde, LMBV (Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft) und LEAG mit weiteren Interessensvertretungen sowie der lokalen Bevölkerung einbezogen werden bzw. dies aktiv vorantreiben. Zur Erschließung der Potenziale erscheint es zudem notwendig, akzeptanzsteigernde Rahmenbedingungen so zu schaffen, dass ein hoher regionaler Nutzen durch die prozedurale und finanzielle Beteiligung der Standortkommunen, lokaler Unternehmen und der Bürgerinnen und Bürger entstehen kann (Salecki und Hirschl 2021). Zudem sind von der Planung über das Bergrecht bis zur Finanzierung Lösungen für die gezielte Nutzung der Tagebauflächen zu finden. Prozesse hierfür müssten zeitnah starten, da die Veränderungen der bestehenden Regelwerke viel Zeit in Anspruch nehmen. Nähere Ausführungen hierzu sind dem Bericht von Richwien et al. (2018) zu entnehmen.

Mit den Tagebauflächen und dem erhobenen technischen Potenzial von 8,8 GW_p könnte die Lausitz als Energieregion einen gewichtigen Beitrag zur Erfüllung der nationalen energie- und klimapolitischen Ziele leisten. Hier wird es u. a. davon abhängen, inwieweit der Bund und die Länder Sachsen und Brandenburg bei der weiteren Privatisierung von sanierten Bergbaufolgeflächen durch die LMBV die Nachnutzung der Flächen mit erneuerbaren Energien ermöglicht oder sogar (anteilig) vorschreibt. Die aktuellen Tagebauunternehmen LEAG und MIBRAG sind bereits zusammen mit Partner- oder Tochterunternehmen mit Erneuerbare Energien-Vorhaben auf ihren Tagebauflächen aktiv (BDEW 2020), so dass aufbauend darauf die strategische Planung und Nutzung dieser Flächen mit weiteren lokalen Akteuren erfolgen kann.

In den beiden Szenarien *Current Policies* und *Klimaneutral 2045* werden die hier aufgezeigten Potenziale nicht explizit einbezogen. Allerdings könnte durch die gezielte und konzentrierte Nutzung der Tagebauflächen für EE-Vorhaben eine deutliche Entlastung der bisher angenommenen, eher gleichverteilten Errichtung von PV-Anlagen in der Lausitz insgesamt ermöglicht werden. Es wird angeregt, dass diese Option durch geeignete Beteiligungsformate von der Lausitzer Gesellschaft, Wirtschaft und Politik diskutiert und abgewogen wird.

Hinsichtlich des technologiespezifischen Flächenbedarfs wird bei allen EEG-förderbaren Freiflächen von einem Flächenbedarf von 1,25 ha/MW ausgegangen (Stiftung Klimaneutralität 2021c). Bei Agri-PV wird in der dualen Nutzung landwirtschaftlicher Flächen jeweils ein 80-prozentiger Flächenertrag, d. h. 1,25 ha für 0,8 MW bzw. 1,56 ha/MW angenommen. Floating PV erzielt mit circa 1,33 MW pro Hektar die höchste Flächennutzungseffizienz (Fraunhofer ISE 2020). Studienannahmen zum Grad der Nutzbarkeit der Bruttoflächen und den verschiedenen Potenzialbegriffen werden in Tab. 2-21 erläutert.

Wie Tab. 2-21 zeigt, umfasst das technisch-ökonomische Freiflächen-PV-Potenzial der Lausitz im *Klimaneutral 2045*-Szenario **langfristig rund 130 km² Freifläche**, auf denen **etwa eine PV-Leis-**

tung von 10 GW installiert werden kann. Davon entfallen rund 69 Prozent auf die größere Planungsregion Lausitz-Spreewald. Das größte Freiflächenpotenzial von etwa 3.200 MW liegt entlang der Autobahn- und Schienenrandkorridore, vor allem in Lausitz-Spreewald (rund 2.700 MW). Ebenfalls knapp 3.200 MW können durch die parallele Nutzung landwirtschaftlicher Flächen mit Agri-PV-Anlagen erzeugt werden. Besonders attraktiv an dieser innovativen, bisher kaum erschlossenen Flächennutzungsform ist, dass beide Planungsregionen über erhebliche Potenziale verfügen.

Tab. 2-21: PV-Flächenpotenziale und installierbare Leistung auf Lausitzer Freiflächen

Quellen: verwendete Studien jeweils aufgelistet in Spalte „Potenzialbegriff in Fachliteratur“. Regionale Flächendaten gemäß Günnewig et al. (2009), Scheuermann et al. (2012c), Zschau et al. (2013a), LMBV (2021), Regionale Planungsgemeinschaft Lausitz-Spreewald (2022).

| Anlagen-kategorie | Region | Flächen-potenzial [in ha] | Installierbare Leistung [in MW] | Potenzialbegriff in Fachliteratur |
|---|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|---|
| Autobahn- und Schienenrandstreifen | Lausitz-Spreewald | 3.412 | 2.730 | Realisierbares Potenzial ⁴⁵ nach Kelm et al. (2019) |
| | Oberlausitz-Niederschlesien | 643 | 514 | Technisches Potenzial nach Scheuermann et al. (2012c) |
| Konversionsfläche | Lausitz-Spreewald | 870 | 696 | Technisch-ökologisches Potenzial ⁴⁶ nach Günnewig et al. (2009) |
| | Oberlausitz-Niederschlesien | 290 | 232 | Technisches Potenzial nach Scheuermann et al. (2012c) |
| Ackerflächen und Grünland in benachteiligten Gebieten | Lausitz-Spreewald | 1.230 | 984 | Technisch-ökonomisches Potenzial ⁴⁷ nach Stiftung Klimaneutralität (2021c) |
| | Oberlausitz-Niederschlesien | 869 | 695 | |
| Agri-PV | Lausitz-Spreewald | 2.907 | 1.864 | |

⁴⁵ Im Wortlaut ermitteln Kelm et al. (2019, 27) ein „raumverträgliches Potenzial mit hoher Realisierungswahrscheinlichkeit“, das hier als realisierbares Potenzial interpretiert wird.

⁴⁶ Günnewig et al. (2009) berücksichtigen, dass von den ca. 9.500 Hektar geeigneten Konversionsflächen rund 90% Wald und Forstgebiete sind, sodass 870 Hektar ohne Rodungsarbeiten verbleiben. Diese Fläche wird hier als technisch-ökologisches Potenzial interpretiert.

⁴⁷ Stiftung Klimaneutralität (2021c) geht davon aus, dass 1,5 % der Flächen in benachteiligten Gebieten für PV nutzbar sind. Dieser Wert basiert auf dem von Kelm et al. (2019) ermittelten Potenzial von 0,5-1 %, bei dem nur jene Flächen als realisierbar gelten, die nach BMVI (Hrsg.) et al. (2015) komplett restriktionsfrei sind und die sich nicht mit dem Flächenpotenzial in den 220m Korridoren an Bundesautobahn- und Schienen und den arrondierbaren Flächen bis maximal 500 m Abstand überschneiden. Der leicht höhere Potenzialwert von 1,5 % kann daher als konservativ betrachtet werden.

| Anlagen-kategorie | Region | Flächen-potenzial [in ha] | Installierbare Leistung [in MW] | Potenzialbegriff in Fachliteratur |
|-------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|---|
| | Oberlausitz-Niederschlesien | 2.068 | 1.326 | Technisch-ökonomisches Potenzial ⁴⁸ nach Stiftung Klimaneutralität (2021c) |
| Floating-PV | Lausitz-Spreewald | 382 | 508 | Technisch-ökonomisches Potenzial ⁴⁹ nach Fraunhofer ISE (2021) |
| | Oberlausitz-Niederschlesien | 346 | 460 | |
| Gesamt | Lausitz-Spreewald | 8.801 | 6.782 | Zusammengefasst als technisch-ökonomisches Potenzial |
| | Oberlausitz-Niederschlesien | 4.216 | 3.227 | |
| | Lausitz | 13.017 | 10.009 | |

Realisierbares gesamtes PV-Potenzial in der Lausitz

In den vorigen Abschnitten wurde das Vorgehen zur Ermittlung des technisch-ökonomischen Potenzials von bauwerkintegrierter PV sowie von Freiflächenanlagen beschrieben. Die Ausschöpfung dieses technisch-ökonomischen PV-Potenzials wird jedoch von weiteren Faktoren gehemmt, darunter **räumliche, rechtliche und bürokratische Restriktionen**. Bei PV-Freiflächenanlagen wurde ein Abschlag von 30 Prozent auf das technisch-ökonomische Flächenpotenzial eingerechnet, um räumliche Restriktionen zu berücksichtigen. Die Inanspruchnahme von Landschaft und Freiräumen zur Energieerzeugung muss mit konkurrierenden Nutzungsformen abgewogen werden, z. B. mit Natur- und Artenschutzbelangen, der Siedlungsentwicklung, Landwirtschaft oder Naherholung (Kelm et al. 2019). Ein möglicher Lösungsansatz besteht in der parallelen Nutzung landwirtschaftlicher Flächen mit Agri-PV. Agri-PV kann nicht nur eine effiziente Integration der Photovoltaik ermöglichen, sondern auch Pflanzen und Böden etwa vor Hitzestress bzw. Erosion schützen und zum Erhalt bzw. der Förderung der Biodiversität beitragen (Trommsdorff et al. 2020; Peschel et al. 2020). Das Dach- und Fassadenpotenzial hat im Vergleich zum Freiflächenpotenzial zwar die Vorteile eines geringeren Flächenbedarfs sowie einer höheren gesellschaftlichen Akzeptanz (Eggers et al. 2020), allerdings stehen potentiellen Investitionen von Unternehmen und Privatpersonen zum Teil bürokratische Hürden sowie rechtliche Unsicherheiten wie absinkende Vergütungssätze im Wege. Außerdem bedarf es für die flächendeckende Installation dezentraler PV-Kleinanlagen

⁴⁸ Konservative Schätzung nach Stiftung Klimaneutralität (2021c), dass 1 % der landwirtschaftlichen Flächen für Agri-PV nutzbar sind.

⁴⁹ Fraunhofer ISE (2020) schätzt das wirtschaftlich erschließbare Potenzial für Floating PV-Kraftwerke auf 4,9 % der theoretischen Seefläche auf deutschen Braunkohle-Tagebaueisen. Da die Studie weitere künstliche Gewässertypen sowie natürliche Standgewässer nicht miteinschließt, ist von einem größeren Potenzial auszugehen.

enorme Kapazitäten im ausführenden Handwerk.⁵⁰ Deshalb wurde das technisch-ökonomische BIPV-Potenzial in der strukturschwachen Region Lausitz um einen pauschalen Abschlag von 50 Prozent reduziert, um das realisierbare Potenzial abzubilden.

Tab. 2-22 fasst die Ergebnisse für die realisierbaren Potenziale der Photovoltaik im *Klimaneutral 2045*-Szenario bis 2040 zusammen. Demnach kann gemäß den getroffenen Annahmen **bis zum Jahr 2040 etwa 15 GW** PV-Leistung in der Lausitz installiert werden, von denen etwas mehr als 50 Prozent auf bauwerkintegrierte PV-Technologien fallen. Das PV-Potenzial im *Klimaneutral 2045*-Szenario ist damit **rund 3x höher als im *Current Policies*-Szenario**. Unter Verwendung der Konversionsraten von Falkenberg et al. (2021) entspricht dies einer **Nettostromerzeugung von insgesamt rund 14,5 TWh**, die sich auf rund 6,5 TWh mit BIPV-Anlagen und auf rund 8 TWh mit Freiflächenanlagen aufteilen. Im Vergleich zu anderen bundesweiten Energiesystemstudien (siehe Tab. 2-12 in Abschnitt 2.3.2), in denen sich je nach Bevölkerungs- bzw. Flächenanteil für die Lausitz im Jahr 2045 ein PV-Nettostromerzeugungspotenzial von rund 2,7 bis 7,5 bzw. 6,3 bis 17,5 TWh ableiten lässt, ist das realisierbare PV-Potenzial von rund 14,5 TWh in 2040 im *Klimaneutral 2045*-Szenario eines der ambitioniertesten Szenarien, zumal viele Studien das weiter gefasste, technisch-ökonomische Potenzial darstellen. Hierbei ist wichtig zu bemerken, dass die Lausitz nicht als reine Verbrauchsregion zu betrachten ist, sondern mit signifikanten Solarpotenzialen bis 2040 zur Energieregion der Zukunft avancieren kann: Unter der Annahme, dass von den 15 GW PV-Leistung bis 2040 etwa die Hälfte bis zum Jahr 2030 installiert werden, würde die Lausitz mit 7,5 GW zu 3,75 Prozent der bundesweiten PV-Leistung von 200 GW beitragen, die die Bundesregierung laut Koalitionsvertrag avisiert (SPD et al. 2021). Dieser Prozentsatz ist höher als der flächenmäßige Anteil der Lausitz an Deutschland (3,28 Prozent) und liegt weit über dem bevölkerungsmäßigen Anteil (1,4 Prozent).

Tab. 2-22: Bestand und Zubau der Photovoltaik im *Klimaneutral 2045*-Szenario im Betrachtungsjahr 2040

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Anmerkung: Die Werte in eckigen Klammern beziehen sich auf den jährlichen Zubau im Jahr 2040

| | BIPV-Anlagen Dach + Fassaden [in MW] | Freiflächen- PV-Anlagen (EEG) [in MW] | Agri-PV- Anlagen [in MW] | Floating-PV- Anlagen [in MW] | Gesamt [in MW] |
|--------------------------------------|---|--|---|---|---------------------------|
| Lausitz- Spreewald | 2.968 + 1.096 (122) | 3.087 (95) | 1.305 (65) | 356 (18) | 8.812 (300) |
| Oberlausitz- Niederschle- sien | 2.921 + 1.061 (124) | 1.009 (34) | 928 (46) | 322 (16) | 6.241 (220) |
| Gesamt | 5.889 + 2.157 (246) | 4.096 (129) | 2.233 (111) | 678 (34) | 15.053 (520) |

⁵⁰ Knappe Kapazitäten können, wie heute in der Praxis bereits zu beobachten ist, zu langen (zum Teil unkalkulierbaren) Wartezeiten sowie zu steigenden Installationspreisen führen, was die Akzeptanz und damit die Realisierungsquoten senkt, wenn der Fachkräftemangel nicht behoben wird.

2.3.4 Fazit und Empfehlungen

Der ländlich geprägte Raum der Region Lausitz verfügt über enorme PV-Flächenpotenziale, die in den nächsten Jahren verstärkt erschlossen werden sollten, damit die angestrebte Energiewende in der traditionellen Energieregion gelingt und Klimaneutralitätsziele in Reichweite bleiben. Wie Abb. 2-2 zeigt, kann sich der regionale Anlagenbestand bis 2040, je nach Ausschöpfungsgrad der realisierbaren Potenziale und der Verwendung innovativer Technologien wie Floating-PV-Anlagen oder flächensparenden Konzepten wie Agri- und Fassaden-PV, in etwa verdreifachen (siehe *Current Policies*-Szenario) bis nahezu verneunfachen (siehe *Klimaneutral 2045*-Szenario). Die folgenden Empfehlungen skizzieren, wie landes- und bundespolitische Rahmenbedingungen kurz- und mittelfristig verändert werden müssen, um aktuell bestehende Markthemmnisse zu beseitigen und um möglichst hohe PV-Strompotenziale gemäß des *Klimaneutral 2045*-Szenarios realisieren zu können.

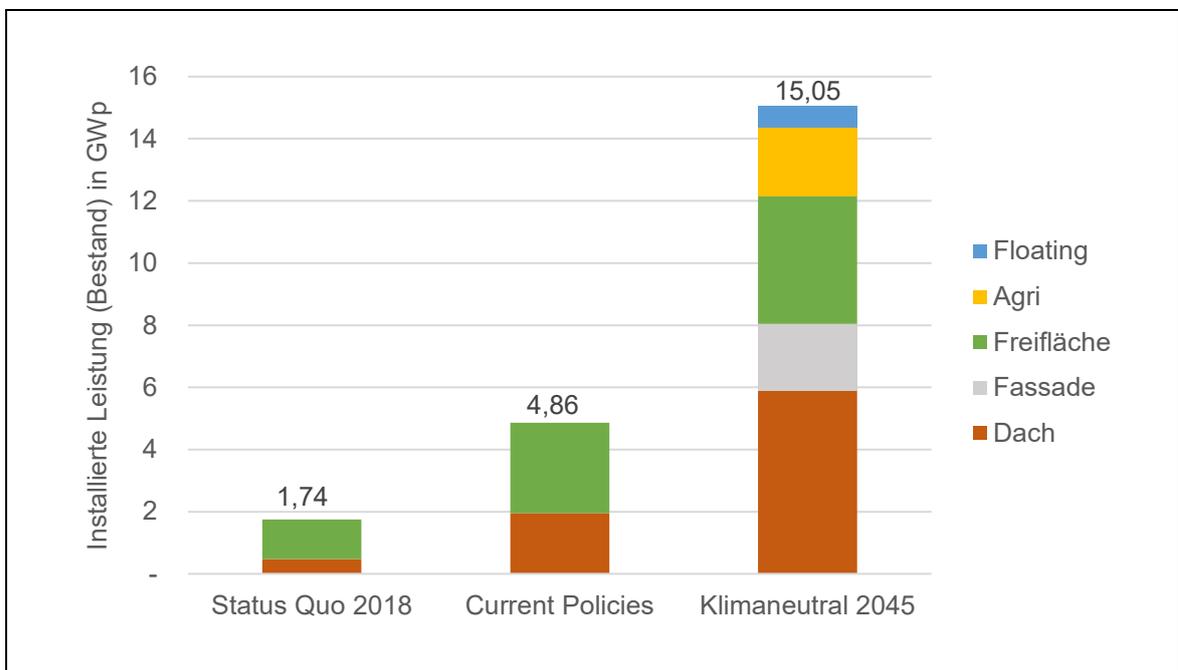


Abb. 2-2: Installierte Leistung PV in der Lausitz nach Technologien 2018 und im Jahr 2040 in den beiden Zielszenarien

Quelle: Eigene Darstellung

Das **Dachsegment** spielt für den Ausbau der Photovoltaik eine zentrale Rolle und trägt in beiden Szenarien zu rund 40 Prozent der installierten PV-Leistung bei (siehe Abb. 2-2). Für die vollständige Erschließung geeigneter Dachflächen müssen bürokratische Hürden abgebaut und Genehmigungsverfahren vereinfacht werden (Bett et al. 2021; Hennig et al. 2021). Zudem sollte im Rahmen einer im Gebäudeenergiegesetz (GEG) verankerten bundesweiten **Solarpflicht** für Neubauten und größere Dachsanierungen für Wohn- und Nichtwohngebäude jedes neue Dach mit einer PV-Anlage ausgestattet werden (Aichinger et al. 2021). Alternativ kann dies auch – so wie aktuelle geltende Praxis – durch die Bundesländer erfolgen. Baden-Württemberg hat als erstes Flächenland eine umfassende Solarpflicht beschlossen, die seit Beginn 2022 neben Nichtwohngebäuden auch neue Wohngebäude umfasst und ab 2023 auf grundlegende Dachsanierungen im Bestand ausgeweitet wird. Auch in Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein bestehen Verpflichtungen zur Installation von PV-Anlagen, in fünf weiteren Bundesländern - darunter Berlin – wurden Gesetze für

eine Solarpflicht ab 2023 beschlossen (Wörrle 2022). Sollte die Bundesregierung nicht zeitnah eine entsprechende umfassende bundesgesetzliche Regelung auf den Weg bringen, dann müssten die Landesregierungen in Brandenburg und Sachsen dies kompensieren oder ggf. ergänzende Regelungen erlassen, wobei von den Erfahrungen anderer Bundesländer profitiert werden kann.

Beim Ausbau der BIPV sollten **Städte und Kommunen als Vorbild** vorangehen und ihre Liegenschaften sowie Wohnungsbaugesellschaften mit PV- und Batteriespeicheranlagen sukzessive auf eine regenerative Eigenstromversorgung umstellen. Die Umstellung kann auf Landes- und Regionalplanungsebene in Form einer festgeschriebenen jährlichen Steigerungsrate der Eigenversorgung mit EE-Strom konkretisiert werden (Hirschl et al. 2021).

Wie die Analyse in Abschnitt 2.3.2 zeigt, halten Mehrfamilienhäuser enorme BIPV-Potenziale bereit. Um eine netzdienliche, verbrauchsnahe Erzeugung zu ermöglichen, müssen bürokratische Hürden für die gemeinschaftliche Eigenversorgung abgebaut werden. Dazu ist die Überführung von EU-Richtlinien in deutsches Recht überfällig. Im Anschluss muss der Bund – im Gegensatz zu heute - vorteilhaftere Marktbedingungen von **nicht gewinnorientierten Energiegemeinschaften** wie Bürgerenergiegenossenschaften, sowie für **Mieterstrommodelle** schaffen (Aichinger et al. 2021). Energiegemeinschaften sind beispielsweise in Österreich ein wichtiger Hebel für die dezentrale Energiewende, mit denen die prozedurale und finanzielle Teilhabe der lokalen Bevölkerung und letztendlich auch die Akzeptanz vor Ort wachsen kann (Hirschl et al. 2021).

Steigende Rohstoff-, Transport- und Installationskosten sorgen seit Beginn des Jahres für einen stärkeren Kostendruck auf dem Solarmarkt (Hennig et al. 2021). Um Investitionen zu beschleunigen und die jährlichen Zubauraten so schnell wie möglich zu steigern, müssen alle beteiligten Akteure **Planungs- und Investitionssicherheit** erhalten (Aichinger et al. 2021). Eine kurzfristige Anpassung der EEG-Vergütungssätze nach dem geplanten Auslaufen der EEG-Umlage in 2023 (oder ggf. bereits vorgezogen auf 2022) kann der Verschlechterung der Wirtschaftlichkeit entgegenwirken, während eine Erhöhung des allgemeinen jährlichen Zielzubaues sowie des Ausschreibungsvolumens für Dach- und Freiflächenanlagen die Volatilität am Solarmarkt reduzieren kann (Aichinger et al. 2021; Hennig et al. 2021).

Insbesondere **Eigenstromversorgungskonzepte** (Prosuming) müssen mit Blick auf das von der neuen Regierung avisierte Ende der EEG-Umlage weiterentwickelt werden. Bisher hat die anteilige Befreiung von der EEG-Umlage bei Eigenverbrauchslösungen Anreize für Prosumer geschaffen, die nun wegfallen könnten. Als Alternative zur reduzierten EEG-Umlage bei Prosumern könnten Netznutzungsgebühren bei Belieferung von Dritten in räumlicher Nähe abgebaut werden (BDEW 2021a) bzw. Beiträge zur Netzstabilität angemessen vergütet werden (Bett et al. 2021). Dies könnte zum Umdenken beitragen, dass die Installation einer PV-Anlage nicht nur das eigene Haus versorgen, sondern – so groß wie möglich dimensioniert – zur Dekarbonisierung und Stabilisierung des regionalen Stromsystems beitragen kann (Ritter et al. 2021). Zudem sollten **bundesweite Ausschreibungen** verstärkt an innovative Elemente geknüpft werden, um **Kombinationen** von PV-Anlagen mit Speicherlösungen, Sektorkopplungstechnologien oder Onshore-Windenergieanlagen auf Tagebauflächen zu fördern (bne 2021).

Eine Beschleunigung des Ausbaus kann nur gelingen, wenn die knappen Installationskapazitäten im Handwerk massiv ausgebaut werden. Dem **Fachkräftemangel** kann kurz- und mittelfristig mit Ausbildungsoffensiven und Förderprogrammen auf Länder- und Bundesebene entgegengewirkt werden (Hennig et al. 2021). Ebenso ist die Aussicht auf eine stabile Marktentwicklung und auskömmliche Preise für Montagebetriebe essentiell. Dagegen erhöhen sinkende EEG-Vergütungen bei steigenden Modulpreisen den Kostendruck in Anlagenplanung und -betrieb und wirken sich negativ auf die Arbeitsbedingungen von Installateurinnen und Installateuren aus (Hennig et al. 2021).

Bis sich innovative Konzepte wie Fassaden-PV, Agri-PV, Floating-PV, Lärmschutz-PV und Parkplatz-PV etabliert haben, könnten **neue Fördermöglichkeiten**, etwa in Form garantierter Einspeisetarife (Hennig et al. 2021) oder erweiterter Innovationsausschreibungen eingeführt werden (Bett 2021). Die Zulässigkeit einer Mehrfachnutzung von Flächen durch PV-Anlagen muss auch bei den regionalen und kommunalen Planungsträgern Eingang finden (Aichinger et al. 2021; Bett et al. 2021). PV-Formate auf neuen Flächenkategorien wie Ackerflächen, sogenannten „benachteiligten Gebieten“ oder landwirtschaftlich genutzten Moorböden machen deutlich, dass EE-Anlagen zunehmend Teil des Stadt- und Landschaftsbildes werden (Bett et al. 2021). Dabei sollte stets auf die **Naturverträglichkeit** des PV-Ausbaus auf Freiflächen geachtet werden und die PV-Stromerzeugung an naturschutzfachliche Anforderungen gekoppelt sein (BMWK, BMUV und BMEL 2022). Die Errichtung von biodiversitätsfördernden PV-Anlagen oder Agri-PV-Anlagen führt dann nicht zu Mehrkosten, wenn die entsprechenden Ökosystemdienstleistungen, die solche hybriden Anlagensysteme erbringen können, auch honoriert werden.

Im Sinne einer **integrativen Planungs- und Genehmigungskultur** sollten in der Raumplanung die Potenziale einfach genutzter Flächen und bisher unbeteiligter Akteure aus der lokalen Bevölkerung aktiviert werden (Bett et al. 2021). Dafür braucht es ein koordiniertes Vorgehen zwischen Regionalplanung und kommunaler Gemeindeentwicklung. **Pilotprojekte** können dabei die Auswirkungen neuer Raumbilder auf Menschen und Umwelt erforschen und idealerweise die Akzeptanz lokaler Akteure erhöhen. Dabei sind die Interessen von Tourismus und Naturschutz mit energiewirtschaftlichen Interessen in Verbindung zu setzen. Bei gegenwärtigen Pilotvorhaben in der Region, wie beispielsweise dem Cottbuser Ostsee, soll einerseits die derzeit größte Anlage entstehen, andererseits werden nur 1 Prozent der Fläche genutzt und es bleibt somit der Anspruch des Interessenausgleichs gewahrt (Gerstner 2021).

Mit der deutlichen Ausweitung von PV-Anlagen auf den Dächern und insbesondere in der Fläche werden sich auch die Akzeptanzprobleme vor Ort und damit die Aufgabe einer sensiblen Standortabwägung erhöhen. Gleichzeitig wird wie bei der Windenergie die (gesicherte und möglichst hohe) finanzielle Beteiligung der betroffenen Kommune vor Ort ein zentraler Erfolgsfaktor werden. Insgesamt müssen daher die Möglichkeiten zur **finanziellen Teilhabe und prozeduralen Beteiligung** von Kommunen und der lokalen Bevölkerung deutlich verbessert werden. Grundsätzlich sind bei Freiflächen- und großen BIPV-Anlagen die gleichen Handlungsansätze wie bei der Windenergie (siehe Abschnitt 2.2.4) sinnvoll. Das sind zum einen Abgaben an die Kommunen in angemessener Höhe, die langfristig und planbar gezahlt werden und in gemeinwohlorientierte Projekte fließen.⁵¹ Zum anderen können Bürgerinnen und Bürger, aber auch lokale Unternehmen oder die Kommunen selbst über Direktinvestitionen langfristig an den Gewinnen und in deutlich größerer Höhe beteiligt werden (Salecki und Hirschl 2021). Da diese Formen der direkten Beteiligung jedoch Finanzkapital bedürfen und mit gewissen Ausfallrisiken einhergehen, sollten einerseits risikoarme Beteiligungsmöglichkeiten mit niedrigen Anlagen möglich sein, um Personen mit niedrigem Einkommen und Vermögen nicht auszuschließen (SRU 2022). Andererseits müssen die Investitionsbedingungen für Kommunen derart geändert werden, dass ihnen die Beteiligung oder das Initiieren und Betreiben von EE-Anlagen ermöglicht wird, um durch den signifikanten ökonomischen Nutzen auch einen genügend großen Anreiz für den aktiven Einsatz für EE-Anlagen vor Ort zu haben (Salecki

⁵¹ Der aktuelle § 6 des EEG 2021 umfasst bereits PV-Freiflächenanlagen, und die amtierende Regierungskoalition hat sich vorgenommen, das bislang freiwillige Instrument der Gewinnabgabe in ein verpflichtendes umzuändern (SPD et al. 2021).

und Hirschl 2021).⁵² Darüber hinaus ist es wichtig, den Bürgerinnen und Bürger sowie weiteren lokalen Stakeholdern ein frühzeitiges Mitspracherecht einzuräumen und verschiedene niedrighschwellige Beteiligungsformate zu organisieren, ggf. mit professioneller Hilfe von neutralen Institutionen (SRU 2022). Die jeweiligen Bundesländer oder regionale Organisationen sollten daher diesbezügliche Unterstützungsstrukturen für Beratung, Finanzierung und Umsetzung von Kommunal- und Bürgerprojekten einrichten bzw. vorhandene Einrichtungen mit diesen Aufgaben betrauen.

⁵² Siehe hierzu auch die Ausführungen in Abschnitt 2.2.4.

2.4 Bioenergie

2.4.1 Zur Ermittlung und Abgrenzung der energetischen Biomassenutzung

Unter Bioenergie wird eine multifunktionale Energieform verstanden, die aus unterschiedlichen Biomassen durch verschiedene Konversionsverfahren in elektrische Energie, Wärme und Kraftstoffe umgewandelt werden kann. Sie entsteht aus biogenen Brennstoffen (Biobrennstoffen) biologisch-organischer Herkunft, die in fester, flüssiger oder gasförmiger Struktur vorliegen können (Klepper und Thrän 2019). Die Art und der Umfang der Bioenergienutzung ist stark abhängig von den politischen Rahmenbedingungen und war bisher vielen Veränderungen unterworfen. Traditionell wurde und wird global sowie auch nach wie vor in Deutschland überwiegend Holz als Energieträger zur Wärmeengewinnung eingesetzt. Mit der Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) seit dem Jahr 2000 wurden zudem moderne Biogasanlagen verstärkt gefördert, zunächst auf der Basis von Gülle, später auch auf der Basis nachwachsender Rohstoffe (NaWaRo bzw. Energiepflanzen), die mit entsprechenden Vergütungen angereizt wurden (ebda.). Nach den Debatten um den zu großen Flächenbedarf für die Bioenergie und die monokulturelle Anreizwirkung des EEG (sog. „Vermaisung“), im internationalen Kontext zudem um die sogenannte „Tank-oder-Teller-Debatte“ (Hirschl et al. 2014), verlagerte sich in Deutschland und Europa der Fokus der Förderinstrumente für Bioenergie mittlerweile nahezu ausschließlich auf Rest- und Abfallstoffe. Zudem wird der Rohstoff Biomasse - für den grundsätzlich das Primat der Nahrungsmittelproduktion gilt - in Zukunft verstärkt als Ersatz für fossile Rohstoffe und Produkte auch in unterschiedlichsten Wirtschaftsbe-
reichen eingesetzt werden. Unter dem Stichwort der „Bioökonomie“ wird dieser Wandel von einer fossilen zu einer auf nachwachsenden Rohstoffen basierenden Wirtschaft zusammengefasst (zum Begriff und Konzept der Bioökonomie siehe Textbox 4).

Textbox 4: Das Konzept der Bioökonomie

Der Begriff der Bioökonomie umfasst gemäß der Nationalen Politikstrategie Bioökonomie sowie einer Definition des Deutschen Bioökonomierats „die wissenschaftsbasierte Erzeugung und Nutzung biologischer Ressourcen, um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bereitzustellen“ (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2016). Damit umfasst das Konzept der Bioökonomie die Nutzung nachwachsender Rohstoffe als Basis für Nahrungs- und Futtermittel, sowie für Energie- und Industrieerzeugnisse. Insbesondere im Bereich der energetischen und stofflichen Nutzung geht es dabei darum, fossile Ressourcen durch natürliche, biogene Rohstoffe zu ersetzen und somit einen Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz zu leisten. Auch die Europäische Union verfolgt seit mehreren Jahren eine Bioökonomie-Strategie, die den Weg bereiten soll für eine innovativere, ressourceneffizientere und wettbewerbsfähigere Gesellschaft, die in der Lage ist, Ernährungssicherheit und nachhaltige Nutzung erneuerbarer Ressourcen für industrielle Zwecke miteinander zu vereinbaren und gleichzeitig dem Umweltschutz Genüge zu tun (Europäische Kommission 2012). Im Jahr 2018 aktualisierte die Europäische Kommission ihre Bioökonomie-Strategie und legte den „Aktionsplan für eine nachhaltige und kreislauforientierte Bioökonomie vor – zum Nutzen der europäischen Gesellschaft, Umwelt und Wirtschaft“ vor (Europäische Kommission 2018). Dabei werden kreislauforientierte, biobasierte Innovationen sowie nationale und regionale Bioökonomie-Fahrpläne gefördert sowie Monitoringsysteme mit einem Fokus auf ökologische Grenzen der Bioökonomie eingeführt. Und auch die neue EU-Kommission will das Konzept der Bioökonomie zur Umsetzung des Green Deals verstärkt nutzen (European Union 2020).

Da Biomasse für energetische Zwecke aus vielfältigen, unterschiedlichen Quellen der Land- und Forstwirtschaft (sowie weiterer Wirtschaftsbereiche wie Aquakulturen, Grünpflege etc.) stammt, hängt die Verfügbarkeit regionaler Bioenergiepotenziale zum einen von den spezifischen naturräumlichen und klimatischen Gegebenheiten für die verschiedenen Biomassen und zum anderen von der Nutzungsintensität der konkurrierenden Biomasseanwendungen ab. Diese Konkurrenzen, wie auch die sich stetig verändernden Rahmenbedingungen erschweren die Planungssicherheit für die Entwicklung, die Vermarktung und den Betrieb von Bioenergietechnologien erheblich und müssen daher bei der Bewertung verschiedener Technologieoptionen hinsichtlich ihrer zukünftigen Potenziale mitberücksichtigt werden (Klepper und Thrän 2019). Von besonderer Bedeutung sind hier voraussichtlich weiterhin Anwendungen im Strom-, und Wärmebereich, die zukünftig jedoch verstärkt flexibel, d. h. ausgleichend zur schwankenden Wind- und Solarstromerzeugung ausgerichtet sein werden (ebda.). Zudem wird Bioenergie weiterhin als Kraftstoff eingesetzt und als Biomethan in eine Mischgasinfrastruktur eingespeist. Darüber hinaus kann Bioenergie zukünftig eine zentrale Kohlenstoffquelle für künstliche CO₂-Senkentechnologien darstellen, um die aller Voraussicht nach in größerem Ausmaß erforderlichen netto-negativen CO₂-Effekte zur Klimaneutralität erzielen zu können.

Die Nutzung von Bioenergie kann zu regionalökonomischen Vorteilen führen, wenn Biomassenutzungspfade mit dem Potenzial für eine im Vergleich zu anderen Biomassenutzungen höhere Wertschöpfung berücksichtigt werden. Hierfür kommen verschiedene Rohstoffquellen aus der Landwirtschaft, der Holzindustrie und aus land- und forstwirtschaftlichen Rest- und Abfallstoffen in Betracht. Hauptkonkurrent kann hier in Zukunft die stoffliche Nutzung sein, deren Verwertungspotenzial und Biomassebedarf derzeit noch nicht genauer abschätz- bzw. quantifizierbar ist. Ländliche Gebiete können zudem durch die gekoppelte oder mehrfache kaskadische Nutzung von lokal verfügbarer Biomasse und daraus resultierender Wertschöpfung und Beschäftigung profitieren (Johnson und Altmann 2014; Waldenström et al. 2016; Rupp et al. 2020). Aus Effizienzgesichtspunkten gilt es daher, die Biomassenutzung möglichst durch kaskadische Nutzungen zunächst (möglichst mehrfach) stofflich und erst am Ende energetisch bzw. thermisch zu verwerten. Durch eine verstärkte Nutzung insbesondere von biogenen Rest- und Abfallstoffen wird zudem negativen sozialen und ökologischen Auswirkungen vorgebeugt und der Flächenbedarf begrenzt (Fehrenbach et al. 2017).

Nachfolgend wird vor diesem Hintergrund zunächst die Biomassesituation in der Lausitz betrachtet, da diese für die Frage möglicher Potenziale der Bioenergie von entscheidender Relevanz ist. Zudem sind die für die regionale Bioenergienutzung (vermutlich) eingesetzten Biomassen auch relevant für Abschätzungen des Status quo, da in vielen Bioenergiebereichen keine regionalen Primärdaten vorliegen.

Methodisches Vorgehen und übergreifende Quellen

Es gibt eine große Vielfalt an Biomasseeinsatzstoffen sowie verschiedene Nutzungsformen und Verwertungslinien, die eine präzise Ermittlung von Biomassepotenzialen erschwert (Kaltschmitt et al. 2009; Pietsch 2017; Rai und Ingle 2019). Zur Quantifizierung von Biomassepotenzialen liegt eine Vielzahl von Studien mit unterschiedlichen Methoden und Ergebnissen vor (Ericsson und Nilsson 2006; Lundmark et al. 2015; FNR 2018; Welfle 2017; Brosowski et al. 2016; Hamelin et al. 2019). Für Deutschland wird ein erhebliches Potenzial von Holzbiomasse, Tierdung und Abfallbiomasse aufgezeigt (Zeller et al. 2012; Brosowski et al. 2015; Klepper und Thrän 2019). Nur wenige Studien befassen sich bisher mit der räumlichen Verteilung und regionalen Biomassepotenzialen (Burg et al. 2018; Bentsen et al. 2018)

Für die Lausitz liegen derzeit keine aktuellen und umfassenden Daten bzw. Studien für Biomasse- und Bioenergienutzung sowie -Potenziale vor. Verfügbare Quellen wie z. B. die regionalen Ener-

giekonzepte für die Regionen Lausitz-Spreewald (Zschau et al. 2013a) und Oberlausitz-Niederschlesien (Scheuermann et al. 2012c) bilden nicht den aktuellen Stand ab und wurden unter anderen politischen Rahmenbedingungen erstellt. Zudem fehlen für verschiedene Biomassen und Biomassenutzungen Daten und Informationen auf Landkreisebene. Hierfür wurden methodische Ansätze zur Abschätzung für die Region Lausitz entwickelt, um den Status quo der energetischen und stofflichen Biomassenutzung sowie mögliche Potenziale plausibel abbilden zu können.

Die Analyse der Biomassepotenziale erfolgt nach den am meisten angebauten Biomassen in der Lausitz und deren energetischen und stofflichen Nutzungen. Durch den Fokus auf eine nachhaltige Bioökonomie stehen insbesondere die Potenziale von land- und forstwirtschaftlichen Reststoffen im Vordergrund, durch die Bestandsanlagen und stoffliche Anwendungen jedoch auch einige nachwachsende Rohstoffe. Tab. 2-23 zeigt eine Zusammenstellung der untersuchten Biomassen sowie deren Einordnung in die energetischen Nutzungspfade, die Potenziale für stoffliche Nutzung und die Flächenrelevanz.

Tab. 2-23: Untersuchte Biomassen und Bewertung nach Nutzung und Fläche

Eigene Darstellung

| Biomasse | Festbrennstoff | Flüssigbrennstoff | Biogas-erzeugung | Stoffliche Nutzung | Flächenrelevanz |
|--|-----------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|
| Landwirtschaft | | | | | |
| Silomais | | X | X | | X |
| Getreide (Weizen, Roggen, Körnermais, Hafer) | | X | | X | X |
| Feldfrüchte (Kartoffel, Rüben) | | X | X | X | X |
| Ölfrüchte (Raps, Sonnenblume) | | X | | | X |
| Forstwirtschaft | | | | | |
| Holz | X | | | X | X |
| Reststoffe | | | | | |
| Getreidestroh | X | | X | X | |
| Gülle | | | X | | |
| Industrierestholz | X | | | X | |
| Landschaftspflegeholz | X | | | X | |
| Altholz | X | | | X | |

In Ermangelung spezifischer statistischer Biomassedaten für die Untersuchungsregion Lausitz werden hier überwiegend eigene Berechnungen und Abschätzungen z. B. auf der Basis von landwirtschaftlichen Flächen- und Produktionsindikatoren durchgeführt. Das Flächen- und Biomassepotenzial wird entscheidend von der Frage bestimmt, welcher Flächenumfang für die Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln benötigt wird. Unter der Prämisse, dass die Nahrungs- und Futtermittelproduktion grundsätzlich Vorrang vor der Produktion energetisch genutzter Biomasse hat (Europäische Kommission 2018), ist es für die Potenzialermittlung erforderlich, diesen Flächenanteil zu bestimmen. Es wurde eine landkreisbezogene Recherche in Brandenburg und Sachsen auf Basis von Statistiken, offiziellen Dokumenten, Internetquellen und Berichten sowie Anfragen bei staatlichen Stellen und Verbänden (Email und telefonisch) durchgeführt. Teilweise wurden Daten mit Bundes- oder Landeswerten angenähert. Zur Bestimmung der Flächennutzungen für die Biomasseerzeugung in der Lausitz wurden primär die statistischen Jahrbücher des Jahres 2018 von Brandenburg (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2018) und Sachsen (Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen 2018) herangezogen. Weitere Quellen waren die regionalen Energiekonzepte für die Region Lausitz-Spreewald in Brandenburg und die Region Oberlausitz-Niederschlesien in Sachsen. Für die Bestimmung der Anzahl und Leistung der in der Lausitz installierten Bioenergieanlagen wurden Daten aus dem Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur, dem Energie- und Klimaschutzatlas Brandenburg (EKS) sowie dem Energieportal Sachsen (SAENA) bezogen. Zusätzlich wurden Informationen und Daten von Ministerien, Landesämtern, Landkreisen, Oberförstereien und Verbänden in Brandenburg und Sachsen eingeholt.

2.4.2 Status quo

Die Nutzungsintensität der Bioenergie hängt stark von der regionalen Verfügbarkeit der Biomassen in Land- und Forstwirtschaft sowie in anderen Bereichen ab. Regionale Standortfaktoren wie das Klima, die Bodenqualität oder die Wirtschaftsstruktur bestimmen neben den allgemeinen Rahmenbedingungen die Art und Intensität der genutzten Bioenergieformen. Zukünftig kommen mit Blick auf die Potenzialabschätzung neben den gegenwärtig vorherrschenden Konkurrenzen mit der Lebens- und Futtermittelproduktion zudem noch die stofflichen Nutzungspfade hinzu, da fossile Rohstoffe vermehrt durch natürliche, biogene Rohstoffe ersetzt werden um einen Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz zu leisten.

2.4.2.1 Biomasse

Die Lausitz besitzt (bezogen auf die räumliche Definition gemäß Abschnitt 1.2.1) eine Gesamtfläche von etwa 1.172,7 Mio. ha. Diese untergliedert sich in die landwirtschaftlich genutzte Fläche im Umfang von ca. 38 Prozent, Waldflächen mit ca. 38 Prozent und sonstige Flächen wie bspw. urbane Räume, Gewässer usw. mit 24 Prozent (siehe Abb. 2-3). Neben der Landwirtschaft ist die Forstwirtschaft die flächenmäßig wichtigste Landnutzungsform in der Lausitz. Dabei hat der Wald nicht nur eine reine Nutzfunktion, d. h. die Bereitstellung von Holz zur stofflichen und energetischen Nutzung, sondern dient auch dem Klimaschutz, dem Wasser- und Bodenschutz, der Erholung und ist nicht zuletzt auch ein wichtiger Lebensraum vieler Pflanzen und Tiere (AEE 2014).

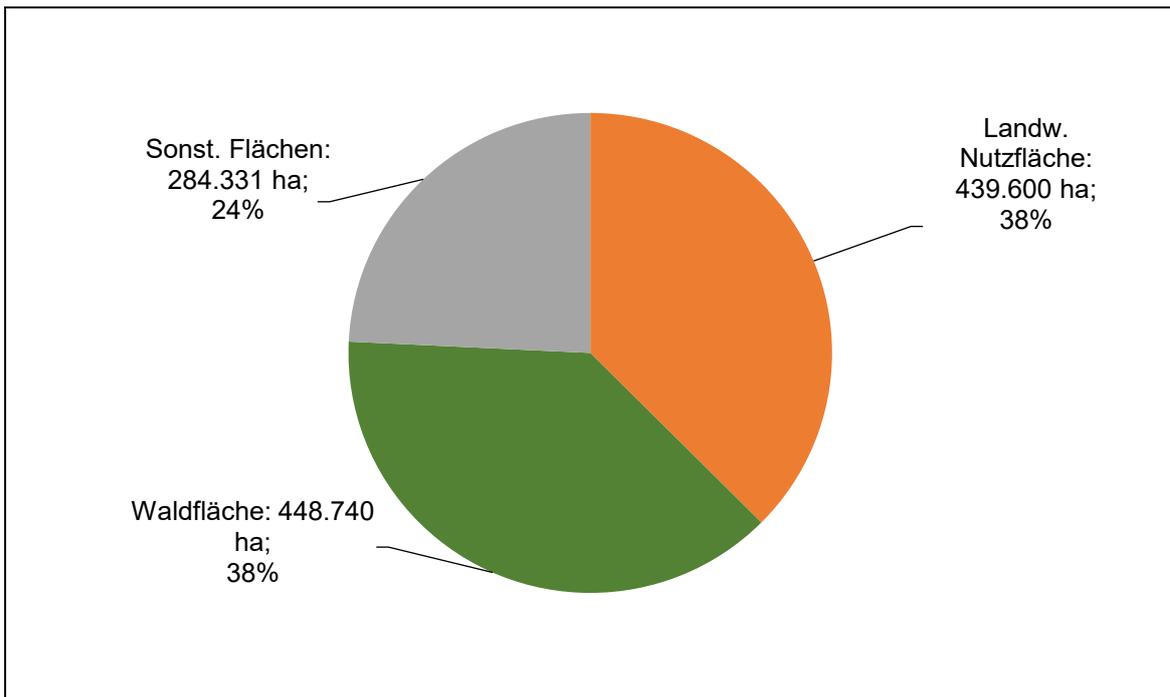


Abb. 2-3: Flächennutzung in der Lausitz 2018

Quelle: Eigene Darstellung nach Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2018) und Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2018)

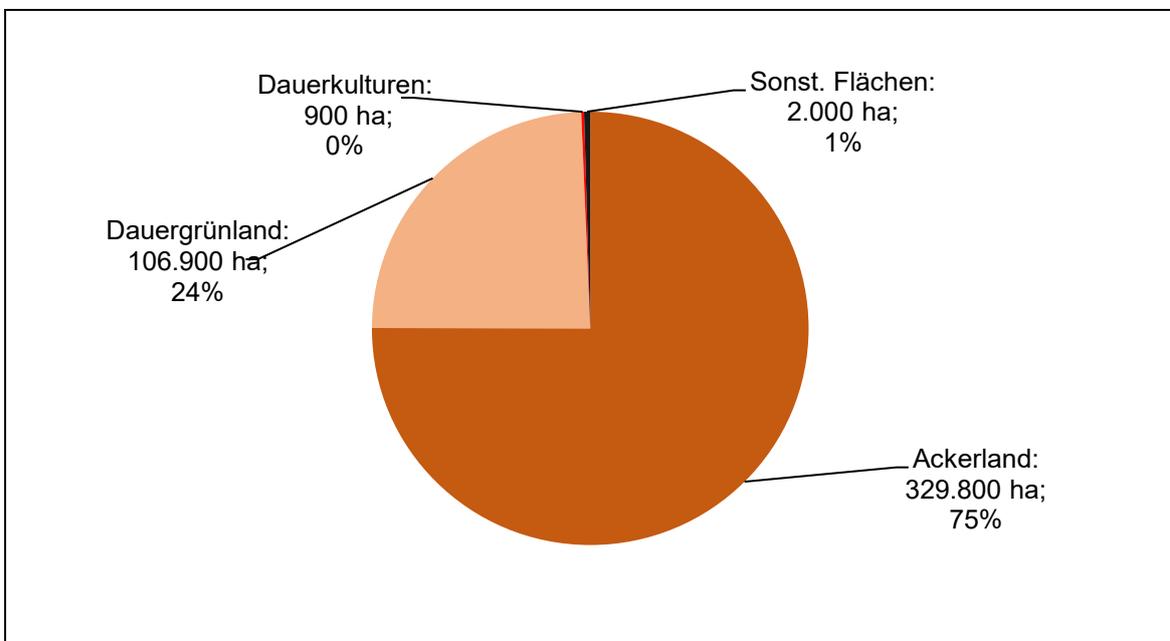


Abb. 2-4: Landwirtschaftlich genutzte Flächen in der Lausitz 2018

Quelle: Eigene Darstellung nach Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2018) und Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2018)

Ackerland stellt mit etwa 75 Prozent den größten Anteil an landwirtschaftlicher Nutzfläche (siehe Abb. 2-4. Mit ca. 24 Prozent sind Dauergrünlandflächen folgend. Dauerkulturen stellen in der Lausitz keinen nennenswerten Anteil dar (ca. 0,2 Prozent). Hinter den sonstigen Flächen verbergen sich u. a. Kleinstbetriebe, welche statistisch nicht erfasst wurden. Ackerland bezeichnet eine Fläche zum Anbau von Feldfrüchten jedweder Art. Das Dauergrünland ist eine Grünlandfläche (vorwiegend Wiese oder Weide) die durchgehend über mehrere Jahre primär zur Futter- bzw. Streuegewinnung oder aber für Weideflächen genutzt wird. Während Brandenburg über relativ homogene physiogeografische Bedingungen für die Landwirtschaft verfügt, weist Sachsen eine stärkere Relief-, Höhenlagen-, Klima- und Bodenvariabilität auf (Klüter 2014). Die durchschnittliche Betriebsgröße beträgt in Brandenburg etwa 245 ha und in Sachsen ca. 139 ha. Damit liegt die durchschnittliche Flächenausstattung je Betrieb weit über dem Bundesdurchschnitt von rund 60 ha (Statistisches Bundesamt 2020b).

Nachwachsende Rohstoffe wuchsen in Deutschland im Jahr 2018 auf rund 2,4 Millionen ha landwirtschaftlicher Nutzfläche (Abb. 2-5). Die Anbaufläche für Energiepflanzen ist dabei mit 2,2 Millionen ha in Deutschland deutlich größer als die für Industriepflanzen mit rund 0,3 Millionen ha (FNR 2019a). Die Bedeutung der Landwirtschaft für die Bioenergieerzeugung ist höher als die der Forstwirtschaft. Energiepflanzen für Biogasanlagen beanspruchten die größte Fläche beim Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. Der Anbau von Energiepflanzen zur Produktion von Biokraftstoffen nimmt, nach der Anbaufläche für die Bereitstellung von Rohstoffen für die Biogasproduktion, den zweitgrößten Flächenumfang im Gesamtanbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland ein. Zu den meisten Bioenergie-Kulturen gehörten Silomais für die Biogaserzeugung, Raps für die Biodieselherstellung und Zuckerrüben, sowie Mais und Getreide für die Bioethanolherstellung. Die regenerative Wärmeproduktion in Deutschland basiert überwiegend auf holzartiger Biomasse (Wald- und Waldrestholz, Altholz, Sägenebenprodukte, etc.). Festbrennstoffe aus der Landwirtschaft spielen in diesem Bereich nur eine untergeordnete Rolle. Auf landwirtschaftlicher Nutzfläche wird Energieholz in so genannten Kurzumtriebsplantagen (KUP), z. B. Pappeln und Weiden, angebaut. Eine ebenfalls mehrjährige Feldkultur, die zur Wärmeerzeugung genutzt wird, ist Miscanthus oder Chinaschilf (FNR 2019b).

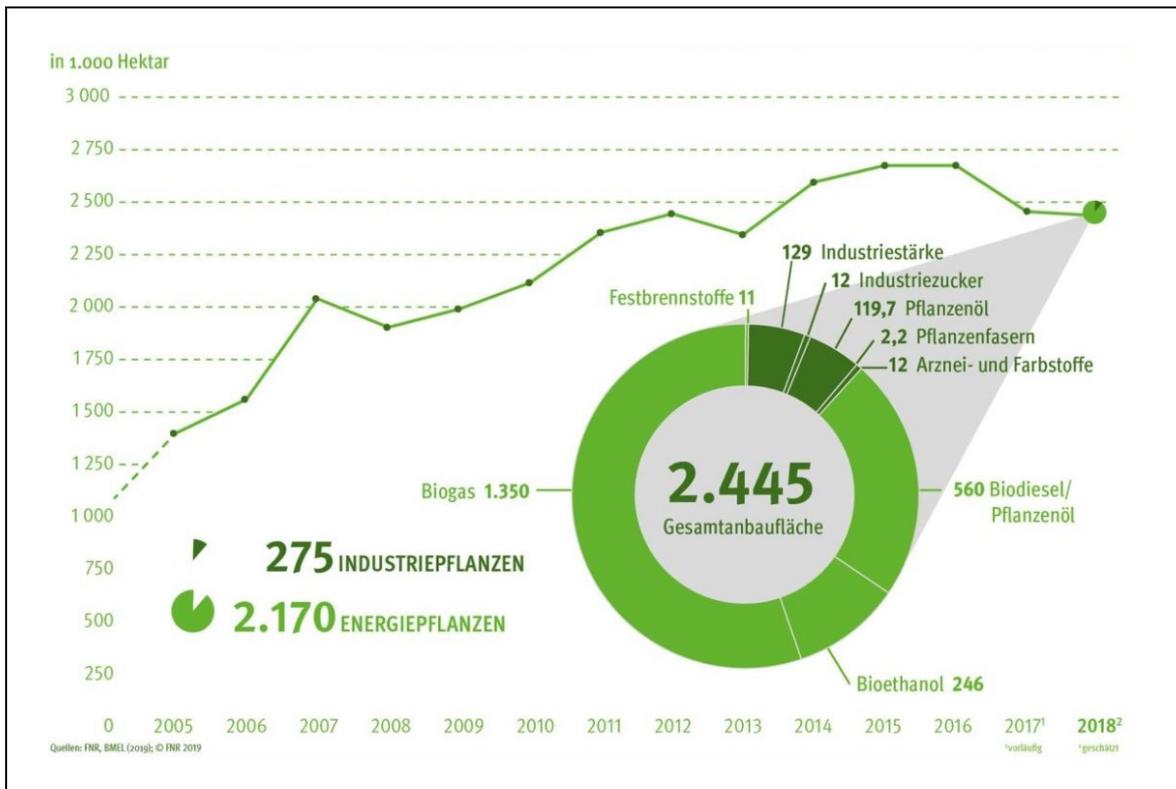


Abb. 2-5: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland (2005-2018)

Quelle: FNR (2019a)

Landwirtschaft

Rund 60 Prozent der landwirtschaftlichen Anbauflächen in Deutschland werden für die Produktion von Futtermitteln und 22 Prozent für die Produktion von Nahrungsmitteln verwendet (Abb. 2-6). Mit Blick auf die Verwendung der pflanzlichen Biomasse steht die Tierproduktion daher in besonderer Konkurrenz zur menschlichen Ernährung und der globalen Ernährungssicherung. Die Intensivtierhaltung hat eine starke Abhängigkeit von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen wie Mais, Soja, Weizen und anderen Getreidearten, die auch für die direkte menschliche Ernährung eingesetzt werden (AEE 2013a).

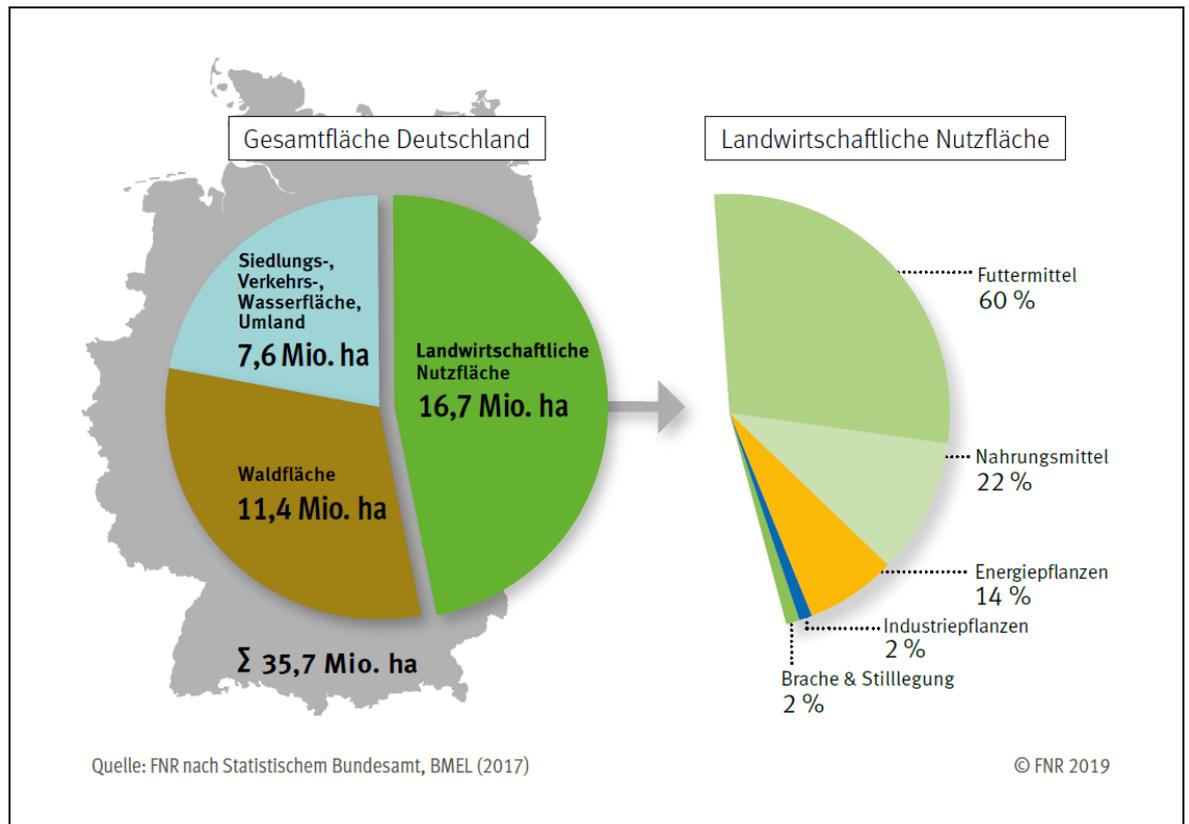


Abb. 2-6: Flächennutzung in Deutschland 2017

Quelle: FNR (2019a)

In der Landwirtschaft erzeugte nachwachsende Rohstoffe wuchsen 2017 in Deutschland auf rund 16 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche (Abb. 2-6), hauptsächlich auf dem Acker. Davon entfiel der Großteil (14 Prozent) auf den Anbau von Energiepflanzen und nur 2 Prozent auf den Anbau von Industriepflanzen, die einer stofflichen Verwertung zugeführt wurden. Aber auch ein Teil des Dauergrünlandes wird für die Produktion von nachwachsenden Rohstoffen genutzt, etwa die Flächen, von denen Mähgut in Biogasanlagen verwertet wird.

Da für die Lausitz keine spezifischen Daten zum Anbau nachwachsender Rohstoffe vorliegen, wurden diese gemäß den bundesweiten prozentualen Flächenanteilen berechnet (FNR 2019a). In 2018 wurden in der Lausitz insgesamt ca. 440.000 ha landwirtschaftlich genutzt (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2018; Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen 2019b). Überträgt man die bundesweiten Anteile auf diese Fläche, so entfallen ca. 264.000 ha auf Futtermittel, ca. 97.000 ha auf den Anbau von Nahrungsmitteln, ca. 62.000 ha auf Energiepflanzen und ca. 9.000 ha auf Industriepflanzen sowie etwa im gleichen Umfang auf Brachen und Stilllegungsflächen. Auf über der Hälfte der gesamten Ackerflächen wurde Getreide angebaut (Abb. 2-7). Die Gesamtgetreideproduktion der Lausitz liegt bei ca. 700.000 t. Getreide findet primär Verwendung in der Futtermittel- und Nahrungsmittelindustrie. Die am häufigsten angebauten Getreidesorten in der Lausitz sind Weizen, Roggen und Gerste (Abb. 2-8).

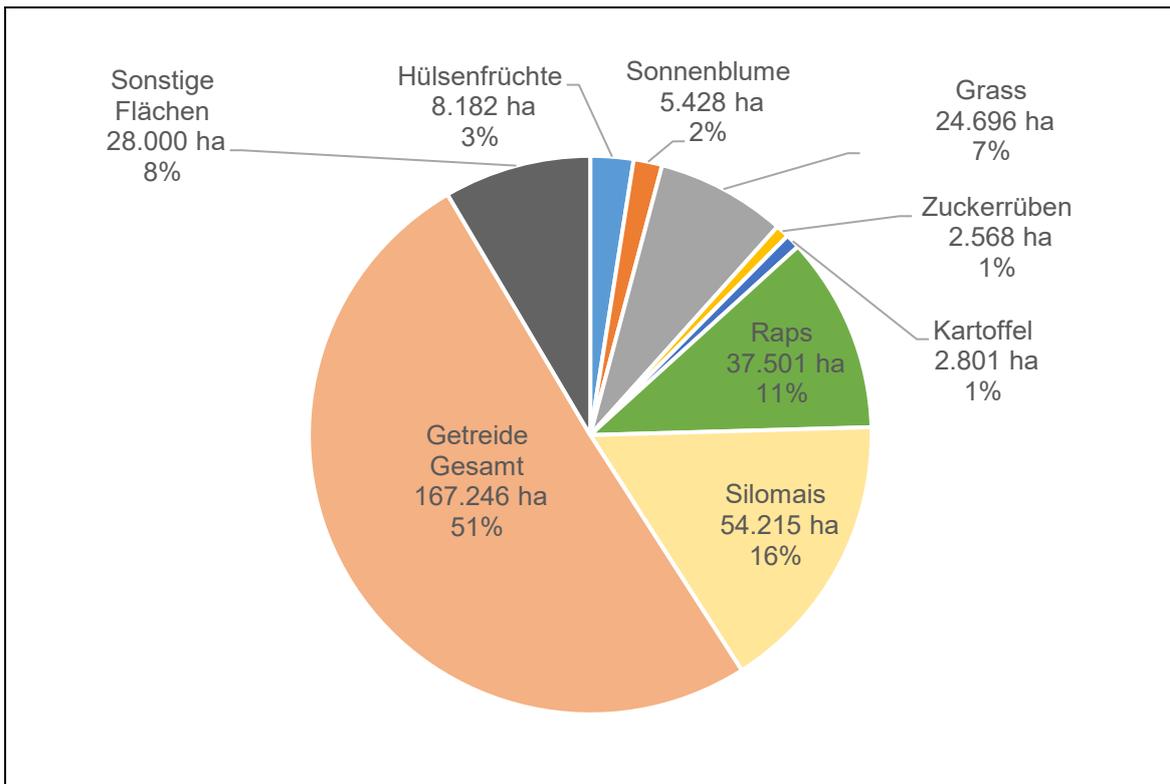


Abb. 2-7: Anbaufläche Feldfrüchte in der Lausitz 2018

Eigene Darstellung nach Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2019b) und Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2019b)

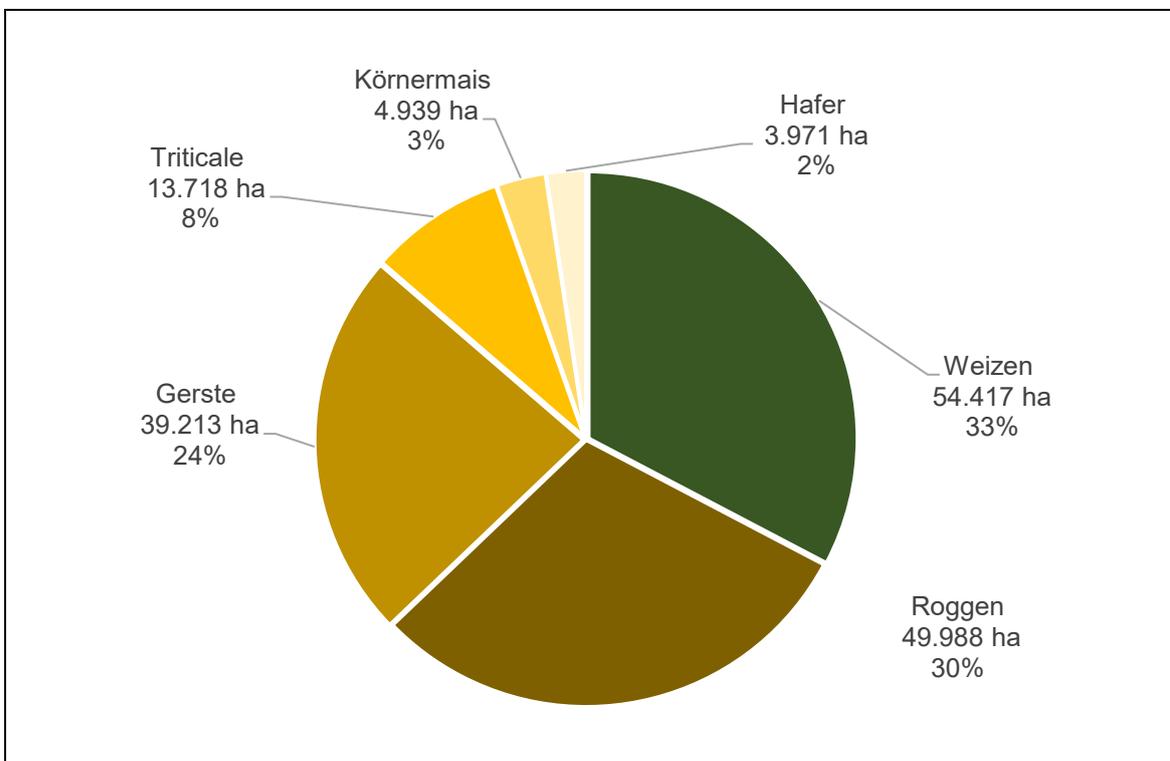


Abb. 2-8: Getreidesorten in der Lausitz 2018

Eigene Darstellung nach Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2019b) und Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2019b; 2019b)

In 2018 wurde Silomais auf 16 Prozent des Ackerlands der Lausitz mit einer Produktion von ca. 1,2 Mio. t angebaut (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2019b; Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen 2018). Silomais wird aktuell in Deutschland als Futtermittel (ca. 63 Prozent) sowie als Substrat für Biogasanlagen (ca. 37 Prozent) verwendet (FNR 2019a). Silomais wird als ganze Pflanze grün abgeschnitten und gehäckselt in Silos konserviert. Im Unterschied dazu werden beim Körnermais nur die gereiften Maiskörner geerntet, weshalb dieser als Getreide zählt (Abb. 2-8) und hauptsächlich als Futtermittel für Schweine und Geflügel eingesetzt wird. Die Umwandlung von Getreide wie Weizen, Roggen und Körnermais in Bioethanol spielt aktuell nur eine untergeordnete Rolle. Auf Raps entfiel 2018 in der Lausitz ein Anteil von 11 Prozent der Anbaufläche (37.500 ha). Er findet Verwendung in der Nahrungs- (Rapsöl) und Futtermittelindustrie. Weiterhin wird Raps zur Herstellung von Biodiesel genutzt, aber auch für industrielle Zwecke wie bspw. die Herstellung technischer Öle. Die restlichen Ackerflächen in der Lausitz wurden mit Gras (Wiesen), Hülsenfrüchten, Sonnenblumen, Kartoffeln und Zuckerrüben bepflanzt. Sonstige landwirtschaftliche Nutzflächen (ca. 28.000 ha) beinhalten bspw. Dauerkulturen, aber auch stillgelegte oder Brachflächen (Abb. 2-7).

In den letzten Jahren sind die Hektarerträge in der Lausitz stagnierend und tendenziell abnehmend (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2019c; Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen 2019b). Da die Lausitz, verglichen mit der Bundesrepublik, generell als sehr trockene Region gilt, werden insbesondere verstärkte Dürreperioden die Landwirtschaft zukünftig vor große Herausforderungen stellen (Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft Brandenburg 2016). Die Bodenqualität in der Lausitz schwankt von leichten, sandigen Böden in Südbrandenburg und Nordsachsen, bis zu schluffigen Lössböden in der sächsischen Oberlausitz, die zum Teil ausgeprägter Fröhsommertrockenheit ausgesetzt sind (Adam et al. 2012). Der Humusgehalt ist hierbei von zentraler Bedeutung, denn Humus verbessert die Bodenfruchtbarkeit sowohl durch seine Nährstoff- als auch durch seine Bodenwirkung. Silomais hat einen hohen Humusbedarf. Biogasanlagen mit Gärrestrückführung bieten Spielräume für einen Ausgleich der humuszehrenden Wirkung von Fruchtarten wie Silomais.

Forstwirtschaft

Mit einer Waldfläche von ca. 450.000 ha ist die Lausitz ein wichtiger Wirtschaftsstandort für die Säge- und Holzindustrie (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2018; Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen 2018). Da keine Daten zum Holzeinschlag für die Lausitz erhoben werden, werden hier Abschätzungen auf Basis von Daten der Bundesländer vorgenommen (Abb. 2-9). Brandenburg hat in 2018 ca. 4,8 Mio. m³/a Holz eingeschlagen in eine Waldfläche von ca. 1 Mio. ha (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2018). Sachsen hat ca. die Hälfte dieser Holzmenge (ca. 2,3 m³) auf ca. 0,5 Mio. ha eingeschlagen (Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen 2018). Die Lausitz hat eine Waldfläche von ca. 449.000 ha, woraus sich ein **Holzeinschlag von ca. 2,1 Mio. m³ Holz** abschätzen lässt.

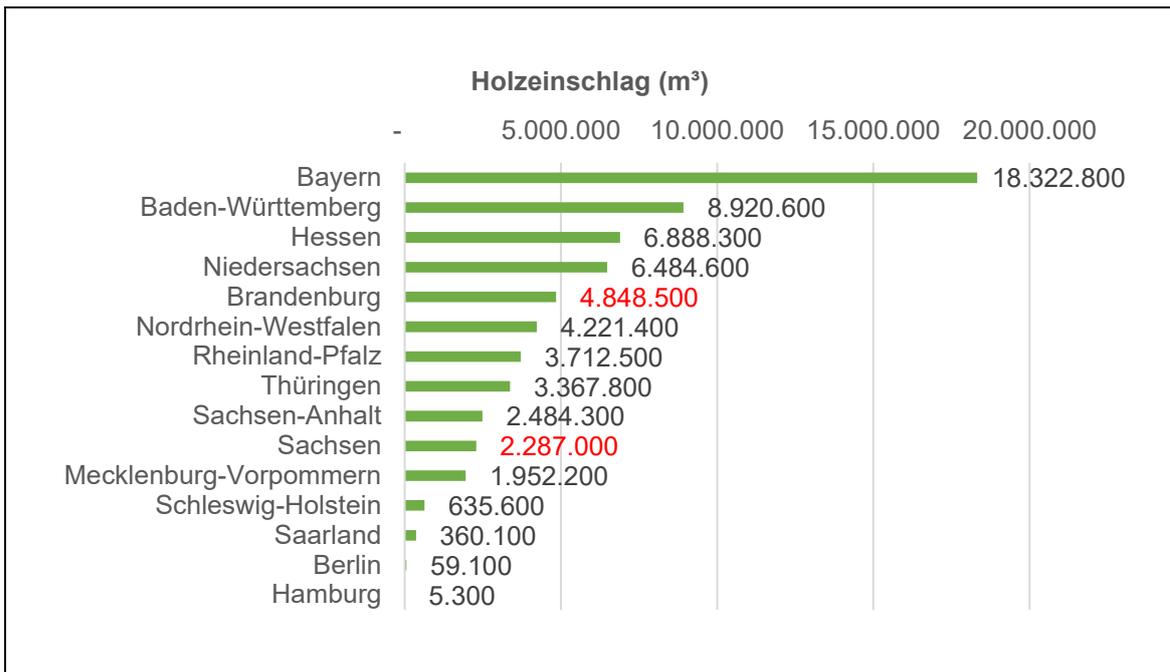


Abb. 2-9: Holzeinschlag in Deutschland nach Bundesländern in 2018
Eigene Darstellung nach Statista (2018)

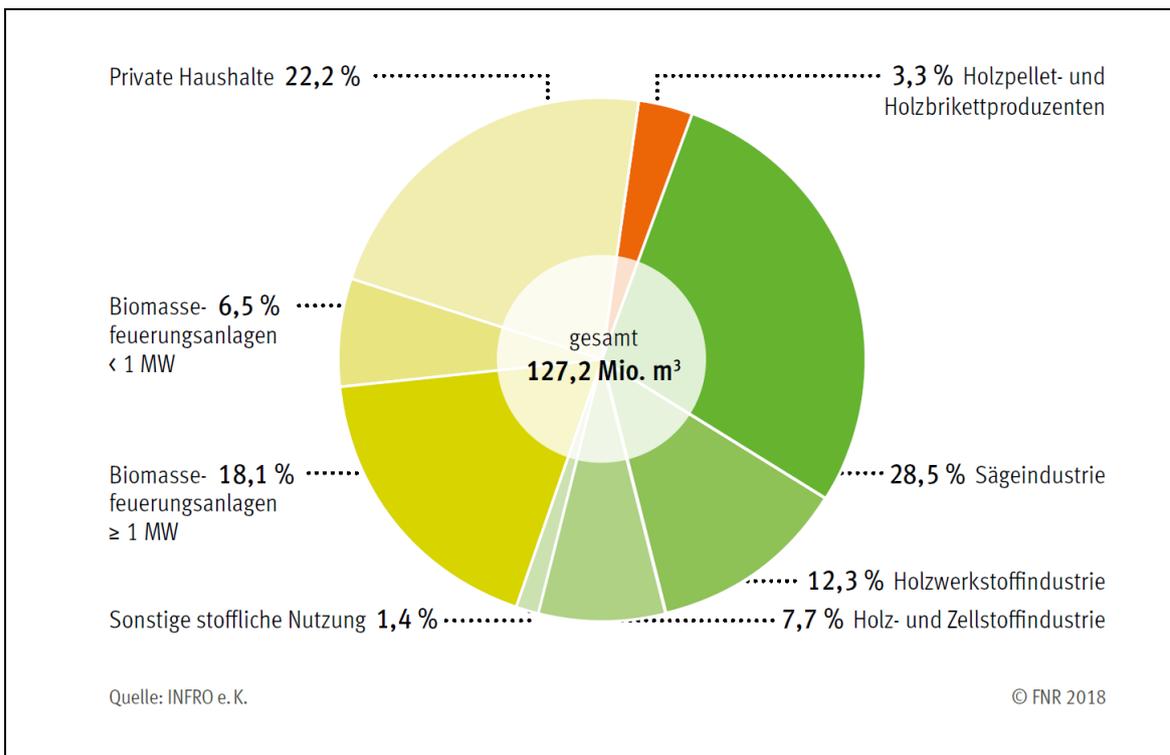


Abb. 2-10: Verwendung der Holzrohstoffe nach Nutzergruppen in Deutschland
Quelle: FNR (2018)

Rund die Hälfte des jährlichen Rohholzaufkommens in Deutschland fließt heute in die Erzeugung von Bioenergie (Abb. 2-10). Das geerntete oder als Reststoff anfallende Holz wird oft nicht unmittelbar in einer Verbrennungsanlage eingesetzt, sondern zunächst zu diesem Zweck zu einem

Energieträger verarbeitet. So werden z. B. Sägespäne erst in Holzpellets oder Holzbriketts gepresst (AEE 2014, S. 10). Diese Energieträger können anschließend in Holzenergieanlagen, z. B. in Pelletheizungen zu Strom und Wärme umgewandelt werden.

Privathaushalte sind die größten energetischen Verbraucher von Holz in Deutschland (Abb. 2-10). Genutzt werden dort ca. 11 Millionen Einzelraumfeuerstätten wie Kamine und Kachelöfen (Mühlenhoff et al. 2017). Zunehmend aber greifen Privathaushalte und kleinere Gewerbebetriebe auch auf Zentralheizungen auf Basis von Holz zurück.

Rest- und Abfallstoffe

Die Nutzung von Rest- und Abfallstoffen zur Bioenergiebereitstellung wird in Wissenschaft und Politik häufig als prioritäre Option vor der Nutzung von Anbaubiomasse angesehen, denn sie gilt als die umweltverträglichste Variante. Bei der Nutzung von Reststoffen treten keine negativen Umweltwirkungen durch Landnutzungsänderungen auf, da keine zusätzliche Flächennutzung für ihre Produktion notwendig ist. Ein weiterer Vorteil der Nutzung von Reststoffen ist die Vermeidung von Konkurrenzsituationen zwischen Nahrungs- und Futtermitteln (Zeller et al. 2012).

Gemeinsam ist allen Reststoffen, dass sie als Nebenprodukt in einem Nutzungspfad anfallen, der ursprünglich nicht auf die Bereitstellung von Energie abzielt (AEE 2013a). In diesem Bericht werden unter dem Begriff land- und forstwirtschaftliche Reststoffe im Wesentlichen Nebenernteprodukte wie Getreidestroh, Reststoffe aus der Tierhaltung (Gülle) sowie Reststoffe aus der Holzindustrie und aus der Landschaftspflege verstanden.

Das Aufkommen von **landwirtschaftlichen Reststoffen** ist in Deutschland als zweitgrößtem Agrarproduzent in der Europäischen Union sehr hoch. Ca. 215 Mio. Tonnen (Frischmasse) landwirtschaftliche Reststoffe fallen jährlich in Deutschland an (Zeller et al. 2012). Davon sind durchschnittlich 30 Millionen Tonnen **Getreidestroh**. Stroh ist definiert als trockener Halm, Stängel und Blatt der ausgedroschenen Getreidearten, Hülsenfrüchte, Öl- und Faserpflanzen. Daten zu Getreidestroh mengen liegen weder für die Lausitz, noch für Brandenburg oder Sachsen vor. Daher wurde die **Strohmenge für die Lausitz** auf der Basis der Gesamtgetreideproduktion der Lausitz in 2018 und dem bundesdeutschen Korn-Stroh-Verhältnis von 1 (Korn) zu 0,9-1,4 (Stroh) berechnet (FNR 2022a). Die Stroherträge können je nach Getreideart, Sorte und Kornertrag erhebliche Unterschiede aufweisen. Da Weizen und Roggen die am meisten angebaute Getreidesorten in der Lausitz sind, wurde hier als durchschnittliches Korn-Stroh-Verhältnis der für diese beiden Sorten anzusetzende Wert von 0,9 benutzt. Das entspricht bei einer Getreideernte von ca. 700.000 t in 2018 (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2019b; Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen 2018) einem Schätzwert von rund **630.000 t Stroh**. Welcher Anteil hiervon tatsächlich erschließbar sein wird, hängt u. a. von den jeweiligen Standortbedingungen (Boden und Witterungseinflüssen) sowie den Bewirtschaftungsformen (Einstreu in der Tierhaltung) ab. So waren die Jahre 2018 und 2019 starke Trockenjahre, in denen starke Ertragsverluste zu verzeichnen waren. Demzufolge variierte hier der Strohaufwuchs regional unterschiedlich stark. Nach einer DBFZ Studie können ca. 27 bis 43 Prozent der Strohmenge aus dem Boden entnommen werden, ohne das Verhältnis zwischen Eintrag und Verlust (Umsatz, Abfuhr) der organischen Substanz im Boden (Humusbilanz) zu beeinflussen (Zeller et al. 2012).

Der Reststoff **Gülle** bezieht sich auf flüssige und feste Exkremate aus der Tierhaltung (Nutztierausscheidungen und Urine). Aus der Gülle kann über einen Gärprozess in Biogasanlagen Strom und Wärme gewonnen werden, das Gärsubstrat kann nach dem Prozess als Wirtschaftsdünger

genutzt werden. Dabei ist auf Kreislaufwirtschaft zu achten und eine Überdüngung zu vermeiden.⁵³ Die Güllemenge in der Lausitz wird anhand der Tiereinheiten und der Bundesdurchschnittswerte für die Gülleproduktion⁵⁴ abgeschätzt (FNR 2022b). In 2018 standen rund 330.000 Rinder und Kühe und ca. 385.000 Schweine auf den Lausitzer Höfen. Somit kann eine anfallende **Gesamtgüllemenge von ca. 6,2 Mio. m³/a** abgeschätzt werden. Die berechnete Güllemenge kann aufgrund von Faktoren wie z. B. der Tier- und Haltungsart abweichen.

Holz- und forstwirtschaftliche Reststoffe sind Waldrestholz (Nadel/Laub), Rinde, Sägenebenprodukte (Sägespäne, Hackschnitzel, Schwarten, Spreißel), Hobelspäne, Schwarzlauge, sonstiges Industrierestholz, Landschaftspflegeholz und Altholz⁵⁵ (Brosowski et al. 2015; KIWUH 2019a). Die Nutzung von **Altholz** in Deutschland begrenzt sich vorrangig auf **Großfeuerungsanlagen**. Mit einer Verbrauchsmenge von 6,5 Mio. t entfällt mit Abstand der größte Anteil (48 Prozent) an verwendetem Holz auf die Energieerzeugung (KIWUH 2019b). Daten zu Altholzmengen liegen weder für die Lausitz, noch für Brandenburg oder Sachsen vor. Die Holzverwendung in Kleinfeuerungsanlagen in Deutschland beträgt insgesamt 6,5 m³. Es werden hauptsächlich Holzreststoffe verwendet, wie z. B. Waldrestholz (ca. 30 Prozent), Landschaftspflegeholz (ca. 16 Prozent), Sägenebenprodukte (ca. 18 Prozent) und Industrierestholz (7 Prozent) (KIWUH 2019b). Das Haupthemmnis für die Mobilisierung von Waldrestholz ist der höhere Preis im Vergleich zu anderen Holzquellen für Festbrennstoffe (Thrän et al. 2019). Kostensenkungspotenziale könnten hier eine effiziente forstseitige Organisation und kurze Transportwege aufweisen. Die **anfallende Menge an Waldrestholz in der Lausitz** wurde im regionalen Energiekonzept Lausitz-Spreewald auf ca. **100.000 t/a** für die Landkreise Spree-Neiße, Oberspreewald-Lausitz, Elbe-Elster und Dahme-Spreewald geschätzt (Zschau et al. 2013a). Für die Region Oberlausitz-Niederschlesien (Landkreisen Bautzen und Görlitz) wurde ein Aufkommen von rund **13.000 t/a** ermittelt (Scheuermann et al. 2012c).

Die **Sägewerke** in Deutschland verarbeiten rund 37 Mio. m³ Rundholz jährlich, überwiegend von Nadelbäumen; der Laubholzanteil liegt bei rund 5 Prozent. Ein Kubikmeter Nadelrundholz ergibt 60 Prozent Schnittholz und **40 Prozent Sägenebenprodukte** wie Hackschnitzel und Sägespäne (KIWUH 2019a). Die Nutzung der Reststoffe der Sägeindustrie z. B. aus der Möbelherstellung werden entweder intern energetisch genutzt oder für eine weitere stoffliche oder energetische Nutzung vermarktet. Daten zu Mengen der Sägenebenprodukte liegen weder für die Lausitz, noch für Brandenburg oder Sachsen vor. Daher wurde diese Menge auf der Basis der bundesdeutschen Daten für Sägewerke (ca. 28 Prozent der gesamten eingeschlagenen Holzmenge mit 40 Prozent Sägenebenprodukte) berechnet (FNR 2019a). Damit würde bei einem Holzeinschlag von ca. 2,1 Mio. m³/a rund 600.000 m³/a in die Lausitzer Sägewerke fließen und ca. **240.000 m³ Sägenebenprodukte** ergeben.

2.4.2.2 Bioenergie

Biomasse kann in seinen unterschiedlichen Formen flexibel in allen Energiebereichen eingesetzt werden: zur Strom-, Wärme- und Kraftstofferzeugung. Während die Wärmeerzeugung aus Biomasse zum überwiegenden Teil auf dem Einsatz von fester Biomasse basiert (ca. 85 Prozent), wird die Stromerzeugung aus Biomasse von Biogas dominiert (ca. 75 Prozent) (FNR 2019a).

⁵³ Seit einer Reform der Düngemittelverordnung 2017 werden die zusätzlichen Düngemengen aus Biogasanlagen (BGA) auf die Gülle angerechnet.

⁵⁴ Rinder und Kühe (17 m³ Gülle /Tierplatz und Jahr); Schweine (1,6 m³ Gülle/Tierplatz und Jahr)

⁵⁵ AI: Naturbelassenes oder mechanisch bearbeitetes Altholz, das bei seiner Verwendung nicht mehr verunreinigt wurde, AII: Verleimtes, gestrichenes, lackiertes oder behandeltes Altholz ohne chemische Verbindungen in der Beschichtung (z. B. PVC), AIII: Altholz mit chemischen Verbindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel, AIV: Mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz, wie Bahnschwellen, Leitungsmasten, etc.

Haupttreiber für die Stromerzeugung aus Biomasse sind die Förderbedingungen des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) und teilweise auch des Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetzes (KWKG).

Der nachfolgend beschriebene Status quo von Bioenergieanlagen in der Lausitz beruht im Wesentlichen auf statistischen Daten und ergänzenden Auskünften der brandenburgischen und sächsischen Landesministerien, Landesämter für Landwirtschaft, Oberförstereien und Genehmigungsbehörden sowie des Energie- und Klimaschutzatlas von Brandenburg (EKS), der Datenbank des Landesinformationssystems Anlagen (Brandenburg), der Sächsischen Energieagentur (SAENA), des Marktstammdatenregisters sowie des Bioenergieatlas des Deutschen Biomasseforschungszentrums (DBFZ). Darüber hinaus wurde ein Vergleich und eine Verifizierung der verschiedenen Quellen durchgeführt.

Die Untersuchung umfasst die folgenden Anlagentypen: Biogasanlagen, Biomethananlagen, Holzheizkraftwerke, Holzheizwerke, Kleinholzanlagen zur Wärmeerzeugung und Pflanzenöl-Blockheizkraftwerke. Folgende Kenngrößen und Aspekte wurden dabei recherchiert:

- Anlagenzahl und installierte thermische und elektrische Leistung
- Größenklassenverteilung hinsichtlich Anlagenzahl und installierter Leistung
- Erfassung von Neuanlagen und Anlagenerweiterung.

Holzfeuerungsanlagen

Biomasse-Heizkraftwerke (Biomasse-HKW) erzeugen mittels thermochemischer Konversion (Verbrennung oder Vergasung) aus fester Biomasse Strom und Wärme. Als Brennstoff kommt in größeren Biomasse-HKW vor allem Altholz zum Einsatz. In geringeren Anteilen wird in diesen Anlagen auch Waldrest- und Landschaftspflegeholz eingesetzt.⁵⁶ Die Wärme von Holzheizkraftwerken wird hauptsächlich zur Wärmeversorgung von Wohngebäuden und zur Holz Trocknung in der Holzwerkstoffindustrie genutzt (Scheftelowitz et al. 2015).

Derzeit sind ca. **700 Holzheizkraftwerke in Deutschland** mit einer installierten elektrischen Leistung von ca. 1.500 MW_{el} in Betrieb. Im Bundesland Bayern stehen die meisten Holzheizkraftwerke. Brandenburgs Holzheizkraftwerke wiesen im Jahr 2014 insgesamt eine installierte Leistung von 168 MW_{el} und im Freistaat Sachsen sind 92 MW_{el} installiert (Scheftelowitz et al. 2015). **In der Lausitz** befinden sich insgesamt **23 Holzheizkraftwerke** mit einer installierten Leistung von ca. 50 MW_{el}.⁵⁷ Diese Kraftwerke stehen meist in der Nähe von Holzverarbeitenden Betrieben. Dort nutzen sie neben Altholz auch Produktionsabfälle und liefern Strom und Wärme für den Betrieb.⁵⁸

Als **Holzheizwerke** werden in diesem Bericht Anlagen ab 100 kW installierter thermischer Leistung definiert, die große Gebäudekomplexe, Nahwärmenetze oder Industriebetriebe ausschließlich mit

⁵⁶ Zudem ist ein Biomasse-HKW in Deutschland bekannt, in dem im kommerziellen großtechnischen Maßstab als Brennstoff Stroh eingesetzt wird.

⁵⁷ Diese Daten wurden aus den Onlineplattformen „Energie- und Klimaschutzatlas Brandenburg“ (Land Brandenburg 2021) und „Energieportal Sachsen“ (SAENA 2021) ermittelt.

⁵⁸ Ein Beispiel ist das Holzheizkraftwerk in Elsterwerda, betrieben auf Basis von Altholz der Klasse A1-A4 aus der Region. Der jährliche Altholzbedarf liegt bei etwa 90.000 Tonnen, durch die ca. 80.000 Tonnen Kohlendioxid eingespart werden. Das Heizkraftwerk verfügt über eine Feuerungswärmeleistung von 44 MW und eine installierte elektrische Leistung von 12,6 MW. Es erzeugt jährlich etwa 22 GWh Wärme und rund 80 GWh Strom. Die produzierte Wärme wird in das Fernwärmenetz des örtlichen Stadtwerks eingespeist.

Wärme versorgen. Verbrannt wird neben Holzhackschnitzeln in der Regel Restholz aus der Holzverarbeitenden Industrie und Altholz. Diese Anlagen werden sowohl von Kommunen betrieben, als auch von Gewerbebetrieben. In **Brandenburg** waren 2010 **12 Holzheizwerke** mit mehr als 1 MW Feuerungswärmeleistung (insgesamt 28 MW_{th}) in Betrieb (Kenkmann et al. 2010, S. 21), davon lag keine Anlage in der Lausitz. Für Sachsen sind keine Daten zu Holzheizwerken vorhanden. Aktuellere Daten aus den entsprechenden Onlineplattformen liegen nicht vor.

Der Bereich der **Kleinanlagen zur Wärmeerzeugung** umfasst überwiegend Holzheizungen auf der Basis von Holzhackschnitzeln, Pellets oder Scheitholz. Die installierte Anlagenleistung in der **Lausitz** wird auf rund **6.800 Kleinf Feuerungsanlagen** abgeschätzt, die ca. 164 MW_{th} erzeugen.⁵⁹

Biogasanlagen

In einer Biogasanlage (BGA) werden organische Substrate unter Ausschluss von Sauerstoff durch Bakterien abgebaut. Dabei wird ein methanhaltiges Biogas erzeugt, das für energetische Zwecke genutzt, gespeichert oder als Biomethan für die Erdgasinfrastruktur aufbereitet werden kann. Als Substrate zur Biogaserzeugung werden heutzutage am häufigsten nachwachsende Rohstoffe mit einem Anteil von etwa 50 Prozent eingesetzt, gefolgt von tierischen Nebenprodukten wie Gülle und Festmist. Bei den nachwachsenden Rohstoffen hat bundesweit die Maissilage mit ca. 70 Prozent den größten Anteil an der Biogasproduktion. Die Vergärung von Bioabfällen, Grünabfällen und gewerblichen organischen Abfällen spielt gegenüber den landwirtschaftlichen Biogasanlagen eine untergeordnete Rolle.

Die Stromerzeugung aus fester Biomasse ist insbesondere zwischen 2002 und 2006 deutlich angestiegen. Nach der Novellierung des EEG im Juli 2004, die einen auskömmlichen „NaWaRo-Bonus“ mit sich brachte, setzte zudem ein Boom bei den Biogasanlagen ein. Die Stromerzeugung aus Pflanzenölen spielt heute nur noch eine untergeordnete Rolle. Für den Zeitraum ab 2017 gelten für die Stromerzeugung aus Biomasse im EEG zudem Flexibilitätsanforderungen in Kombination mit einer Beschränkung des Ausbaukorridors in Höhe von jährlich 150 MW (2017 bis 2019) bzw. 200 MW (2020 bis 2022) brutto. Für diesen Zeitraum ist deshalb mit einer stagnierenden, jedoch auch flexibleren Stromerzeugung aus Biomasse zu rechnen (Kenkmann et al. 2010).

Gegenwärtig gibt es in **Deutschland ca. 9.500 BGA** mit Vor-Ort-Verstromung und einer installierten elektrischen Leistung von **ca. 7.500 MW_{el}** (FNR 2019a). In Brandenburg gibt es ca. 470 BGA mit einer installierten Leistung von insgesamt ca. 285 MW_{el}. In Sachsen sind rund 370 BGA mit ca. 170 MW_{el} in Betrieb. **Bundesweit sind ca. 1.480 Biomethananlagen** in Betrieb. Brandenburg hat derzeit gemäß dem Bundesländerportal Erneuerbare Energien 44 Biomethananlagen in Betrieb, das Nachbarland Sachsen 63 Anlagen (AEE 2021b). Gemäß Energie und Klimaschutzatlas Brandenburg und Energieportal Sachsen entfallen **auf die Lausitz rund 170 BGA mit insgesamt ca. 86 MW**. Davon entfallen ca. 10 MW auf 14 Biomethananlagen (Land Brandenburg 2021; SAENA 2021).

⁵⁹ Diese Zahlen wurden den Onlineplattformen „Energie und Klimaschutzatlas Brandenburg“ und dem „Energieportal Sachsen“ für die Lausitz ermittelt (s. o.).

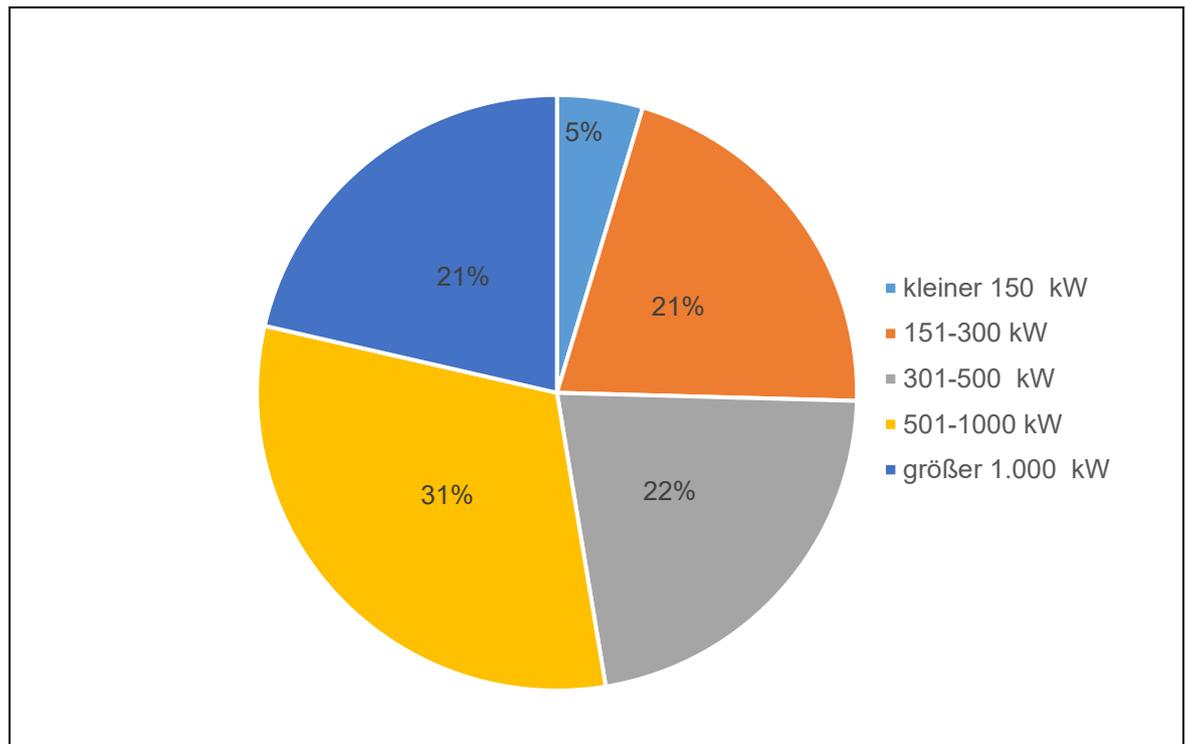


Abb. 2-11: Anteil installierter Leistung der Biogasanlagen in der Lausitz

Eigene Darstellung nach Land Brandenburg (2021) und SAENA (2021)

Hinsichtlich des steigenden Anteils fluktuierender, erneuerbarer Energien am Energiesystem und des damit in Verbindung stehenden zunehmenden Bedarfs an flexibel bereitgestellter Energie, ergeben sich für Biogasanlagen neue Anforderungen und Herausforderungen. Zentrale Fragen für Bestandsanlagen sind, welche Optionen für einen Weiterbetrieb von Biogasanlagen existieren und für welche Sektoren (Verkehr, Strom, Wärme) der Einsatz von Biogas und damit der Weiterbetrieb der Biogasanlagen wirtschaftlich sind. Grundsätzlich werden für den Weiterbetrieb von BGA verschiedene Modelle diskutiert (Daniel-Gromke et al. 2017).

- Eigenstrom- und Eigenwärmenutzung (Selbstnutzung)
- Direktvermarktung von (flexiblen/bedarfsgerecht erzeugtem) Strom, Wärme und Gärprodukt (Dünger/Nährstoffsubstitut)
- Teilnahme an Ausschreibungen und Sicherung einer (reduzierten) Vergütung von Strom für weitere 10 Jahre (setzt Flexibilisierung der Anlagen voraus)
- Umstellung von Anlagen zur Vor-Ort-Verstromung auf Anlagen zur Bereitstellung von Biomethan durch Einsatz von Aufbereitungstechnologien
- Einspeisung von Biomethan ins Erdgasnetz oder/ und
- Bereitstellung von Biomethan als Kraftstoff (CNG, LNG)
- Biogas mit Kopplung von biogener CO₂-Nutzung (z. B. Herstellung von erneuerbarem Methan in Abhängigkeit der Qualitäten und Absatzpotenziale)
- Bereitstellung von Grundchemikalien (z. B. durch Bereitstellung organischer Säuren für die chemische Industrie).

Aufgrund der neuen Anforderungen und Transformationsprozesse im Energiesystem ist der Pfad der Flexibilisierung von Biogasanlagen von besonderer Bedeutung. Dieser wird zudem bereits seit

2012 durch das EEG angereizt. Zudem ist der Anteil erneuerbarer Kraftstoffe nach wie vor vergleichsweise gering (siehe auch nächsten Abschnitt), so dass Biomethan auch in diesem Bereich sinnvoll eingesetzt werden könnte, da dieser nur schwer dekarbonisiert werden kann. Biomethan ist im Vergleich zu Anlagen mit Vor-Ort Verstromungskonzepten flexibel hinsichtlich Ort, Zeit und Art der Verwertung des Gases. Es kann zur Wärme, Strom und Kraftstoffbereitstellung eingesetzt werden. Diese Flexibilität wird mit zusätzlichen Kosten für Aufbereitung und Einspeisung, sowie größeren Einschränkungen hinsichtlich der Standortwahl bezahlt. Der anstehende Transformationsprozess des Anlagenbestandes wird vermutlich neben der Erhaltung von effizienten Vor-Ort-Verstromungsanlagen mit hohem THG-Minderungspotenzial auch die Umrüstung von geeigneten Anlagen zu Biomethananlagen beinhalten (Daniel-Gromke et al. 2017).

Biokraftstoffe

Als Biokraftstoffe bezeichnet man flüssige oder gasförmige Energieträger, die aus pflanzlicher oder – in seltenen Fällen – tierischer Biomasse gewonnen werden. Zu diesen Biokraftstoffen zählen z. B. Pflanzenöl, Biodiesel sowie über die Vergärung von Biomasse erzeugtes Ethanol und Biomethan sowie hydrierte Pflanzenöle. Zu den zukünftigen Biokraftstoffoptionen zählen synthetische Kraftstoffe aus Biomasse (BtL-Kraftstoffe) sowie Ethanol aus Cellulose und Algen. Für sie werden in der Regel Pflanzen aus der Landwirtschaft verwendet, zum Beispiel Raps, Getreide, Zuckerrüben, Mais, Soja oder Ölpalmen, aus denen durch Weiterverarbeitung der eigentliche Rohstoff gewonnen wird: Das Öl, der Zucker oder die Stärke, die dann wiederum zum Biokraftstoff verarbeitet werden. Hierbei entstehen in der Regel Nebenprodukte, die vor allem als Futtermittel gefragt sind (FNR 2014).

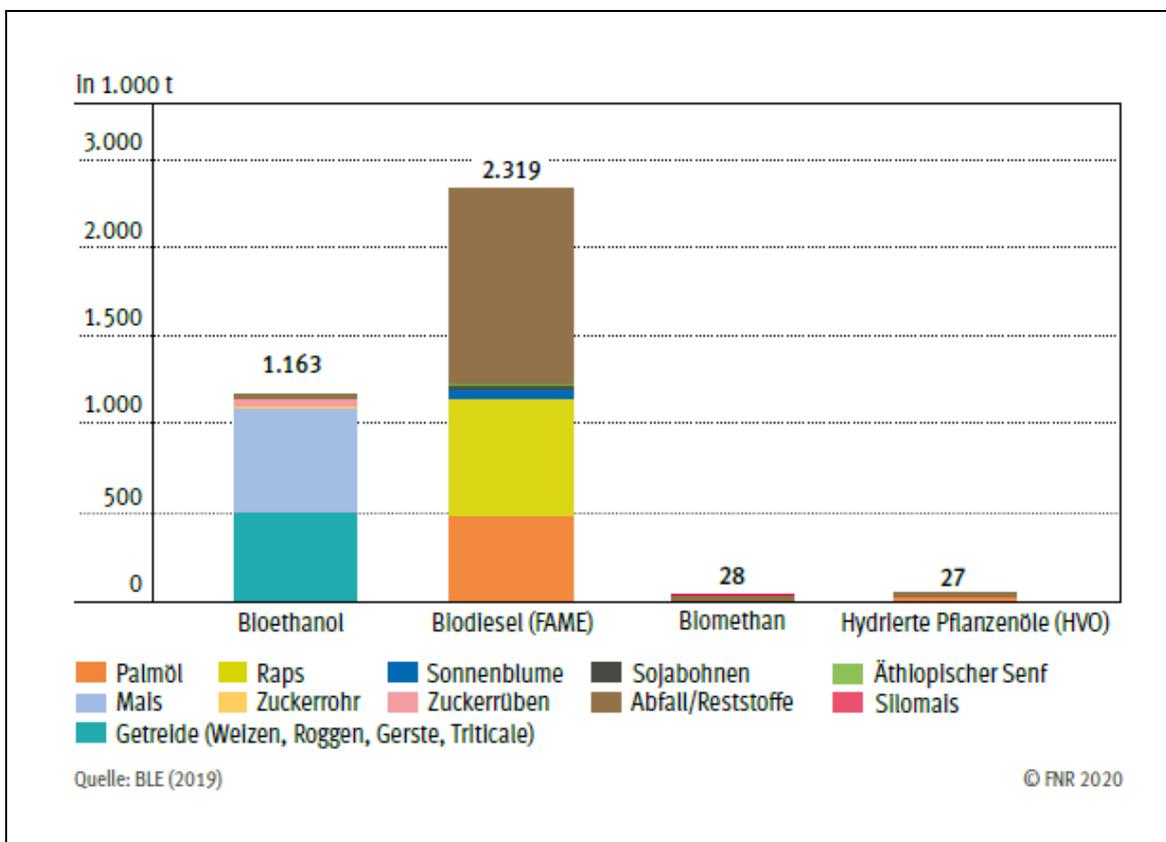


Abb. 2-12: Ausgangsstoffe für Biokraftstoffe 2019 in Deutschland.

Quelle: FNR (2019b)

Bioethanol wird durch Vergärung von in Pflanzen enthaltenen Zuckern gewonnen. Grundsätzlich eignen sich hierfür zucker-, stärke- und cellulosehaltige Pflanzen. Dabei kommen in Deutschland vor allem Weizen, Roggen und Zuckerrüben zum Einsatz. Mit der Entwicklung geeigneter enzymatischer Verfahren können auch Reststoffe wie Stroh vergoren werden. Die einzige **Bioethanolanlage der Lausitz** liegt in Leppersdorf im Landkreis Bautzen (Sachsen). Sie produziert ca. 8.000 t/a technischen Alkohol und Bioethanol aus Molke-Restprodukten, was einem Anteil von etwa 1 Prozent der gesamten in Deutschland produzierten Menge von 679.000 t/a entspricht (BDBe 2021). In Brandenburg gibt es darüber hinaus eine Bioethanolanlage in Schwedt (VERBIO Biofuel and Technology 2021).

Biodiesel wird zum überwiegenden Teil aus Raps hergestellt. Seine Herstellung erfolgt durch Umesterung von Pflanzenöl mit Methanol. In 2018 wurde in Deutschland ca. 500.000 ha mit Raps für die Herstellung von Biodiesel und ca. 130.000 ha für die stoffliche Verwendung angebaut (FNR 2019a). In der Lausitz gibt es eine **Biodieselanlage im Landkreis Bautzen** (Sachsen). Die Produktionskapazität beträgt 100.000 t/a und es werden Raps und Altspeisefett verarbeitet (Biowerk Sohland 2020). Dies entspricht etwa 3 Prozent des produzierten Biodiesels in Deutschland (ca. 3,1 Mio. t/a) (VDB 2018).

Gesamtschau energetische Biomassenutzung in der Lausitz 2018

Biomasse wird für die Erzeugung von Wärme und Strom in der Lausitz hauptsächlich in Biogasanlagen, Holz-Heizkraftwerken und Kleinfeuerungsanlagen verwendet (Tab. 2-24). Die **Gesamtleistung aller Bioenergieanlagen in der Lausitz betrug im Jahr 2018 348 MW**. Unter der Annahme, dass Bioenergieanlagen in der Lausitz im Jahr 2018 durchschnittlich eine Volllaststundenzahl von 6.570 Stunden erzielen⁶⁰ ergibt sich eine Stromerzeugung von etwa 2.300 GWh im Jahr 2018 durch die Nutzung von Bioenergieanlagen. Die Verwendungsanteile aller Biomasse basieren maßgeblich auf bundesweiten Daten der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR 2019a) zur Holzverwendung in Groß- und Kleinfeuerungsanlagen sowie dem massebezogenen Substrateinsatz in Biogasanlagen. Das Landschaftspflegeholz entspricht 10 Prozent des gesamten Landschaftspflegematerials, 90 Prozent ist Halmgut (Peters et al. 2014; Stegner et al. 2010).

⁶⁰ Je nach Einschätzung von Expertinnen und Experten variiert der Anlagennutzungsgrad zwischen 6.000 und 8.000 Stunden im Jahr. Die gewählte Volllaststundenanzahl von 6.570 Stunden/Jahr entspricht einer eher konservativen Einschätzung.

Tab. 2-24: Status quo der Bioenergieanlagen in der Lausitz 2018

Gerundete Werte; Quelle: eigene Berechnungen

| Anlagen-Kategorie | Gesamtleistung (MW) | Biomasse | Anteil [%] | MW | TJ |
|-----------------------|---------------------|-----------------------|------------|------------|--------------|
| Holz-HKW | 49 | Altholz | 48,6 | 23,8 | 563 |
| | | Waldrestholz | 12,3 | 6 | 143 |
| | | Landschaftspflegeholz | 13,2 | 6,5 | 153 |
| | | Rinde | 8,5 | 4,2 | 99 |
| | | Sägenebenprodukte | 5,9 | 2,9 | 68 |
| | | Industrierestholz | 4,9 | 2,4 | 57 |
| | | Waldderbholz | 2,3 | 1,1 | 27 |
| | | Sonstiges | 4,4 | 2,2 | 51 |
| Kleinfeuerungsanlagen | 208 | Waldrestholz | 31,4 | 65,3 | 1.545 |
| | | Landschaftspflegeholz | 15,9 | 33,1 | 782 |
| | | Sägenebenprodukte | 18,4 | 38,3 | 905 |
| | | Waldderbholz | 13,7 | 28,5 | 674 |
| | | Pellets/Briquettes | 7,3 | 15,2 | 359 |
| | | Industrierestholz | 6,8 | 14,1 | 335 |
| | | Sonstiges | 6,6 | 13,7 | 325 |
| Biogasanlagen | 91 | E-Pflanze | 47 | 42,7 | 1.012 |
| | | Gülle | 48 | 43,7 | 1.033 |
| | | Bioabfall | 2 | 1,8 | 43 |
| | | Sonstiges | 3 | 2,7 | 65 |
| Gesamt | | | | 348 | 8.237 |

2.4.3 Potenziale

Zur Potenzialermittlung der energetischen Biomassenutzung gibt es eine große Bandbreite an Methoden. Das methodische Vorgehen variiert hierbei zwischen einfachen Abschätzungen, Hochrechnungen und komplexeren Simulationen. Dabei werden die Potenziale für die Bioenergie grundsätzlich durch konkurrierende Verwendungen der Biomasse, durch die verfügbaren Anbauflächen, durch verfügbare Alternativen zur Bioenergie sowie durch die Rahmenbedingungen für die unterschiedlichen Bioenergie-Arten beeinflusst (Kaltschmitt et al. 2013; Klepper und Thrän 2019).

In der Entwicklung der Bioenergienutzung sind absehbare Restriktionen vor allem die Nutzungskonkurrenz zur Lebensmittel- und Futtermittelproduktion sowie zukünftig zur stofflichen Nutzung. Dabei gilt einerseits das Primat der Ernährungssicherung, andererseits das Primat der Nachhaltigkeit, nach dem eine (kaskadische) Kombination aus stofflicher und energetischer Nutzung anzustreben ist und die rein energetische Nutzung eine Ausnahme bleiben sollte (Bioökonomierat 2015). Aus diesem Grund wird Biomasse im Energiebereich bereits heute in der Förderung weitgehend auf Rest- und Abfallstoffe fokussiert. Inwieweit zukünftig Biomasse-KWK oder biogene Kraftstoffe in einem klimaneutralen Energieversorgungssystem genutzt werden, ist derzeit eher offen. Aussagen zum künftigen Umfang von Bioenergie-Potenzialen sind daher abhängig von einer Vielzahl von Variablen (Klepper und Thrän 2019), wie beispielsweise:

- Bevölkerungsentwicklung
- Nachfrage konkurrierender Nutzungspfade wie Futter- und Nahrungsmittelproduktion oder stoffliche Nutzung
- Ertragssteigerungen (z. B. durch technischen Fortschritt) und Anbaumethoden in der Landwirtschaft
- Einfluss des Klimawandels auf Land- und Forstwirtschaft
- Fleischkonsum und Flächenbedarf der Futtermittelproduktion
- Flächenbedarf von Naturschutzflächen.

Auch mit Blick auf die spezifische regionale Situation gibt es zahlreiche Variablen, die – neben den übergeordneten Rahmenbedingungen auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene – Einfluss auf die Menge der nutzbaren Biomasse insgesamt sowie den Anteil für die energetische Nutzung haben. Dabei spielt vor allem der Umfang der Anbaufläche für Energiepflanzen eine entscheidende Rolle. Darüber hinaus können sich große Unterschiede in Abhängigkeit von den angebauten Energiepflanzenarten ergeben, da es je nach Region (beispielsweise in Bezug auf Bodenqualität und klimatischer Beschaffenheit) und Anbaukonzept große Unterschiede bei den Erträgen gibt. Aber auch strukturelle Faktoren spielen eine Rolle, da für viele Bioenergie- und Bioökonomieanwendungen Kooperationen und Netzwerke, aber auch Technologien und Pilotprojekte erforderlich sind. Ebenso komplex ist die Abschätzung der Potenziale von Energieholz: In welchem Kostenbereich ist die Nutzung welcher Mengen Industrierestholz wirtschaftlich? Wie entwickelt sich der Zuwachs von Waldholz unter verschiedenen klimatischen Bedingungen? In welchem Umfang schränken Naturschutzgebiete die Holznutzung ein? Wird der Wald nachhaltig genutzt? Für die Ermittlung des Potenzials von Reststoffen spielt zudem eine wichtige Rolle, wo und wie sich die Viehbestände in der Landwirtschaft entwickeln und wie viel Gülle dementsprechend anfällt (AEE 2013b).

Für die Lausitz selbst konnten keine aktuellen und differenzierten Primärdaten zur energetisch nutzbaren Biomasse vorgefunden werden, die die oben beschriebenen Zusammenhänge, Konkurrenzen und Entwicklungen berücksichtigen. Die Potenzialanalyse für die Lausitz wurde daher unter

Berücksichtigung mehrerer regionaler sowie überregionaler Studien zu energetischen Biomassepotenzialen in Deutschland durchgeführt. Dabei ist davon auszugehen, dass insbesondere ältere Studien klimawandelbedingte, aber auch fördertechnische Veränderungen noch nicht hinreichend abbilden. Auch wenn hierin eine Unschärfe besteht, da beispielsweise klimawandelbedingte Dürren die Biomasseproduktion in der Lausitz durchaus stark beeinflussen können, dienen die Zahlengerüste aus den Studien für eine erste grobe Abschätzung der Potenziale. Die Ausgangsdaten sind in manchen Studien in Energieeinheiten (TJ, PJ und GWh), in anderen in Masseinheiten (Tonne) angegeben. Tab. 2-25 zeigt eine Zusammenstellung aller für dieses Forschungsvorhaben ausgewerteten Studien im Kontext Bioenergie.

Tab. 2-25: Verwendete Studien zur Ermittlung der Biomasse-/Bioenergie-Potenziale in der Lausitz

Quelle: eigene Zusammenstellung

| Autorinnen und Autoren | Institution | Jahr | Studie |
|------------------------|--|------|---|
| Kenkmann et al. | Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg - MUGV | 2010 | Biomassestrategie des Landes Brandenburg |
| Stegner et al. | Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft - SMUL | 2010 | Rahmenkonzept zur energetischen Verwertung von Biomasse aus der Landschaftspflege im Freistaat Sachsen |
| Zschau et al. | Regionale Planungsgemeinschaft Lausitz-Spreewald | 2012 | Regionales Energiekonzept für die Region Lausitz-Spreewald. |
| Scheuermann et al. | Regionale Planungsverband Oberlausitz-Niederschlesien | 2012 | Regionales Energie- und Klimaschutzkonzept für die Planungsregion Oberlausitz-Niederschlesien |
| AEE | Agentur für Erneuerbare Energien | 2013 | Potenzialatlas Bioenergie in den Bundesländern |
| Peters et al. | Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg - MUGV | 2014 | Landschaftspflegematerial im Land Brandenburg. Potenzialermittlung und Möglichkeiten der energetischen Verwertung |
| Brosowski et al. | Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. - FNR | 2015 | Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen – Status quo in Deutschland |
| Fritzsche et al. | Sächsisches Energie Agentur - SAENA | 2016 | Gutachten EE-Ausbaupotenziale in Sachsen |
| Fehrenbach et al. | Umweltbundesamt | 2018 | BioRest: Verfügbarkeit und Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe im Energiesystem |
| Majer et al. | Deutsches Biomasseforschungszentrum | 2019 | Stand und Perspektiven der Biogas-erzeugung aus Gülle |

Grundlage für die Abschätzung der Potenziale für die Lausitz sind zudem Daten für Sachsen und Brandenburg von der Agentur für Erneuerbare Energien (AEE 2013a; AEE 2013b), sowie bundesweite Daten vom Umweltbundesamt (Fehrenbach et al. 2018), der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Brosowski et al. 2015) und dem Deutschen Biomasseforschungszentrum (Majer et al. 2019). Die regionalspezifischen Potenziale von Energiepflanzen und Reststoffen wurden, falls keine spezifischeren Daten zur Verfügung standen, vereinfachend auf Basis des Flächenanteils der Lausitz an der Bundesrepublik abgeschätzt. Nachfolgend werden für die technischen Potenziale im Regelfall Spannweiten angegeben, die sich aus den heutigen Status quo-Daten als Mindestwerte und den in der Literatur angegeben technischen Potenzialwerten zusammensetzen.

Energiepflanzen

Laut Potenzialatlas der AEE liegt das technische Energiepflanzenpotenzial für Deutschland bei ca. 550.000 TJ, für Brandenburg liegt es bei ca. 39.000 TJ (AEE 2013b) und für Sachsen bei ca. 36.000 TJ (AEE 2013a). Gemäß einer groben Auswertung der Potenzialkarten dieser Studie dürfte weniger als 1/4 des ausgewiesenen Energiepflanzenpotenzials in Brandenburg und Sachsen auf das Gebiet der Lausitz entfallen. Im Vergleich zu Nordbrandenburg und Westsachsen ist der Energiepflanzenanbau in der Lausitz daher weniger stark ausgeprägt. Demzufolge wird für die Lausitz ein Energiepflanzenpotenzial von etwa 15.000 TJ geschätzt (Abb. 2-13), wobei es sich hierbei vor allem um Maisanbau handelt. Die Konkurrenz zur stofflichen Nutzung ist an dieser Stelle nicht berücksichtigt, es ist jedoch zu erwarten, dass diese – neben klimatischen Entwicklungen und anderen Nutzungskonkurrenzen – das erschließbare Potenzial für die Bioenergie deutlich mindern wird.

Als eine weitere Annäherung an das zukünftige Energiepflanzenpotenzial wird – unter Berücksichtigung des Primats der Flächennutzung für Nahrungsmittel – der heutige Ausbaugrad der Biogasanlagen (installierte Leistung) herangezogen. Hieraus ergibt sich ein Wert von rund 1.000 TJ, der auf der Basis bundesweiter Daten zu aktuell verwendeten Energiepflanzen in Biogasanlagen ermittelt wurde (FNR 2019a). Hierbei wurden technische Einflussfaktoren wie der Energiegehalt und der Wirkungsgrad von Konversionsanlagen berücksichtigt.⁶¹ Aufgrund der o. g. Debatte gehen wir davon aus, dass die heutige Energiepflanzenutzung dem technischen Potenzial entspricht.

Die Entwicklung der Anbaufläche von **Kurzumtriebsplantagen** (kurz KUP) ist derzeit kaum vorhersehbar. In einer groben Schätzung der Biomassestrategie des Landes Brandenburg wurde davon ausgegangen, dass sich die (damalige) KUP-Anbaufläche mindestens um das Zehnfache auf ca. 10.000 ha vergrößern und damit ein Mengenpotenzial von 100.000 t bzw. ein Energiepotenzial von ca. 1,4 PJ in Brandenburg liefern kann (Kenkmann et al. 2010). Der Energieholzanzbau kann als nachhaltige und regionale Biomasseressource zunehmend an Bedeutung gewinnen. So wird in der Studie von Prognos et al. (2021) (siehe Abschnitt 2.4.4) für Deutschland im Jahr 2030 ein Anteil von über 20 Prozent Energieholz am gesamten energetischen Biomasseaufkommen erwartet, mit steigender Tendenz. Allerdings gilt auch für die tatsächlichen Potenziale von KUP einerseits bezüglich der Flächenkonkurrenz das Primat der Ernährungssicherung und andererseits die zukünftig

⁶¹ Der Anlagennutzungsgrad ist zwischen 6.000–8.000 h/a festgelegt. Als Mittelwert wurden 6.750 h/a für die Berechnungen verwendet. Damit ergibt sich die geleistete Arbeit in MWh.

wachsende Konkurrenz zur stofflichen Nutzung, weshalb wir hier konservativ von keinem direkten Potenzial für die Bioenergie ausgehen.

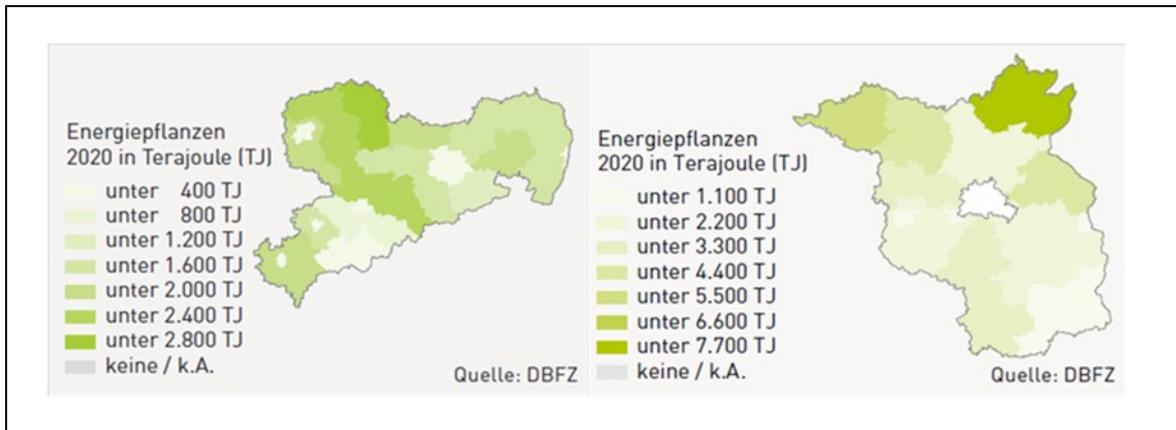


Abb. 2-13: Energiepflanzenpotenzial in Sachsen (links) und Brandenburg (rechts) 2020
Quelle: AEE (2013b; 2013a)

Rest- und Abfallstoffe

In einer umfangreichen Studie zum Potenzial von Rest- und Abfallstoffen wurden 77 Einzelbiomassen untersucht und daraus für Deutschland ein **theoretisches Reststoffpotenzial** von circa 151 Mio. t Trockenmasse (bzw. Trockensubstanz) ermittelt (Brosowski et al. 2015). Als technisches Reststoffpotenzial wird für Deutschland insgesamt ca. 100 Mio. t TS ermittelt. Dieses Potenzial wird von Waldrestholz (ca. 39 Prozent), tierischen Exkrementen (ca. 30 Prozent), Getreidestroh (ca. 27 Prozent) und Landschaftspflegeholz (ca. 4 Prozent) bestimmt (ebda.). Davon befinden sich ca. 70 Mio. t TS in einer stofflichen oder energetischen Nutzung. Rund 30 Mio. t TS werden nicht genutzt bzw. die Nutzung ist nicht bekannt.

Gemäß einer Studie des Umweltbundesamtes könnten in Deutschland insgesamt ca. 900.000 TJ an biogenen Abfall-/Reststoffen als technisch-ökologisches Potenzial in Form von Brenn- oder Kraftstoffen für das Energiesystem zur Verfügung stehen (Fehrenbach et al. 2018). Diese Gesamtsumme beinhaltet auch alle bereits in der energetischen Nutzung befindlichen Abfall- und Reststoffmengen. Der höchste Anteil entfällt dabei auf Holz (360.000 TJ), insbesondere auf Waldholz mit ca. 200.000 TJ. Die Potenziale von Gülle werden mit ca. 110.000 TJ geringer eingeschätzt (ebda.). Auch Stroh stellt mit 187.000 TJ einen großen Anteil.

Das technische **Güllepotenzial** in Brandenburg liegt gemäß einer früheren Abschätzung der AEE bei 4.400 TJ (AEE 2013b) und in Sachsen bei 2.500 TJ (AEE 2013a). Gemäß einer groben Auswertung der Potenzialkarten dieser Studie dürfte in etwa ein Viertel der für Brandenburg und Sachsen ausgewiesenen Güllepotenziale auf die Lausitz entfallen. Anhand dieser Daten wird für die Lausitz ein Güllepotenzial von ca. 1.750 TJ geschätzt. In einer Potenzialstudie zur Biogaserzeugung aus Gülle wurde die räumliche Verteilung der jeweiligen technischen Potenziale auf Landkreisebene analysiert (Majer et al. 2019). Innerhalb der Lausitz wird das Potenzial für Gülle auf ca. 3,5 Mio. t Feuchtmasse (FM)⁶² geschätzt, davon sind zwei Drittel der vorhandenen Güllepotenziale noch nicht erschlossen. Aktuell beläuft sich die Menge der anfallenden Gülle in der Lausitz auf

⁶² Gülle hat ca. 10 % Trockenmasse (Stinner et al. 2015).

circa 6,2 Mio. t FM (siehe Abschnitt 2.4.2.1). Für die Berechnung des theoretischen Potenzials wurden die gesamten Mengen an Gülle berücksichtigt und mit spezifischen Umrechnungsfaktoren gemäß FNR (2019a) in Energieeinheiten [TJ] umgerechnet. Daraus ergibt sich ein theoretisches Güllepotenzial von circa 3.000 TJ. Zieht man zum Vergleich den heutigen Status quo der Nutzung von Gülle in Biogasanlagen in der Lausitz heran, dann ergibt sich hieraus ein Energiepotenzial von circa 1.000 TJ. Da die zukünftig tatsächlich erschließbare Menge in hohem Maße vom zukünftigen Fleischkonsum bzw. der Produktionsmenge sowie von diesbezüglichen Vorgaben beispielsweise zum Tierwohl bzw. zur Tierhaltung sowie von den verfügbaren Flächen generell abhängen, setzen wir hier als **technisches Güllepotenzial eine Spanne von 1.000 bis 3.000 TJ** an.

Gemäß Potenzialatlas der AEE liegt das technische **Strohpotenzial** für Deutschland bei 103.100 TJ, für Brandenburg bei 7.600 TJ (AEE 2013b) und für Sachsen bei 4.900 TJ (AEE 2013a). Auch hier entfällt nach einer groben Auswertung der Karten dieser Studie etwa ein Viertel auf die Lausitz, woraus sich ein ungenutztes Strohpotenzial von ca. 3.000 TJ ergibt. Am Beispiel Stroh zeigt sich allerdings die Unsicherheit der Daten: Je nach Wetterereignis kann in einem Jahr deutlich mehr oder weniger Stroh anfallen. Mit Zunahme von durch den Klimawandel bedingten Veränderungen – hier beispielsweise die Zunahme von Extremwetterereignissen – können auch die erschließbaren Potenziale der Rest- und Abfallstoffe massiv beeinflusst werden. Für die Berechnung des theoretischen Potenzials wurden die gesamten Mengen Stroh in der Lausitz berücksichtigt und mit spezifischen Umrechnungsfaktoren gemäß FNR (2019a) in Energieeinheiten [TJ] umgerechnet. Das ergibt ein theoretisches Strohpotenzial von ca. 9.000 TJ. Einer Erschließung dieses Potenzials stehen insbesondere Bodenschutz-Aspekte entgegen, weshalb nur ca. ein Drittel des theoretischen Potenzials für energetische Zwecke verwendet werden kann. Die restlichen zwei Drittel der gesamten Strohmenge müssen zur Bewahrung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit auf dem Acker verbleiben. Das ergibt ein **technisches Potenzial von 3.000 TJ**.

Holz- und forstwirtschaftliche Reststoffe umfassen nach Definition der FNR Waldrestholz, Sägenebenprodukte, Schwarzlaube, Industrierestholz, Landschaftspflegeholz und Altholz (Brosowski et al. 2015). Die vor mehr als zehn Jahren verabschiedete Biomassestrategie des Landes Brandenburg (Kenkmann et al. 2010) prognostizierte, dass sich die theoretisch zur Verfügung stehende, nachhaltig nutzbare Holzmenge bis 2026 mehr als halbieren wird. Von der gesamten zuwachsenden Holzmenge wird der größte Teil in der Holzverarbeitenden Industrie genutzt, nur ein geringer Teil steht als Energieholz zur Verfügung. Während Stamm- und Industrierestholz in die stoffliche Nutzung fließen, wird Energieholz mittels Durchforstung und der Nutzung von Waldrestholz gewonnen. Das theoretische Potenzial für Waldrestholz in Brandenburg soll laut der brandenburgischen Biomassestrategie im Jahr 2026 bei circa 4.000 TJ liegen (Kenkmann et al. 2010). Diese Angabe ist wesentlich geringer im Vergleich zur im Potenzialatlas der AEE angegebenen Waldrestholzmenge Brandenburgs für das Jahr 2020 von circa 10.000 TJ (AEE 2013b). Für Sachsen wird das Waldrestholzpotenzial mit 3.200 TJ angegeben (AEE 2013a). Auch hier wurden die Potenzialkarten der Studie für die Lausitz ausgewertet, woraus sich ein **Waldrestholzpotenzial** von circa 3.000 TJ ergibt. Jedoch ist auch bei den Holz-Reststoffen von einer zunehmenden Konkurrenz zur stofflichen Nutzung auszugehen, was den verfügbaren Anteil für die Bioenergie tendenziell mindert, während auf der anderen Seite global gehandelte Holzbrennstoffe auch auf regionalen Märkten gehandelt werden können. Zieht man wieder den heutigen Status quo der Nutzung von Waldrestholz in Groß- und Kleinfeuerungsanlagen in der Lausitz heran (siehe Abschnitt 2.4.2.1) und

schreibt diese Menge in die Zukunft fort, dann ergibt sich ein Potenzial von ca. 2.000 TJ.⁶³ Deshalb gehen wir von einem **technischen Potenzial von 2.000 bis 3.000 TJ** aus.

Das Potenzial von **Altholz** ergibt sich aus den Holzmengen, die stofflich bereits genutzt wurden und z. B. im Bausektor, als Verpackungsmaterial oder als Altmöbel im Sperrmüll anfallen. Im Potenzialatlas der AEE wird das technische Altholzpotezial für Deutschland mit 112.000 TJ angegeben, in Brandenburg liegt es bei 14.000 TJ (2013b) und in Sachsen bei 3.400 TJ (2013a). Anhand der allgemeinen Flächenrelation wird auf Basis dieser Quelle für die Lausitz ein technisches Altholzpotezial von ca. 4.000 TJ geschätzt. Das tatsächlich realisierbare Altholzpotezial hängt von den umwelt- und energiepolitischen Rahmenbedingungen ab, wie z. B. dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz, der Altholzverordnung, dem EEG oder der Biomasseverordnung. Mit dem Auslaufen der 20-jährigen EEG-Förderung der ersten EEG-Anlagen ab dem Jahr 2021 wird der Markt für Altholz-KWK-Anlagen vor eine neue Herausforderung gestellt. Zieht man den heutigen Status quo der Nutzung von Altholz in Großfeuerungsanlagen in der Lausitz heran (FNR 2019a) und schreibt diesen konservativ in die Zukunft fort, so ergibt sich hieraus ein Wert von ca. 500 TJ.⁶⁴ Hieraus lässt sich eine **Potenzialspannbreite von 500 bis 4.000 TJ** für die zukünftige energetische Altholznutzung angeben.

In das Potenzial von **Industriestholz** zählen Reststoffe wie Sägespäne, Holzhackschnitzel, Schwarzlaube und Rinde. Aktuell beläuft sich die Menge der anfallenden **Sägespäne** in der Lausitz auf ca. 240.000 t (siehe Abschnitt 2.4.2.1). Daten zu anderen Industrieholzreststoffen in der Lausitz sind nicht vorhanden. Rechnet man die Menge der Sägespäne gemäß FNR (2019a) in Energieeinheiten [TJ] um, dann ergibt sich ein technisches Potenzial von circa 4.000 TJ. Da auch dieses Potenzial wie die meisten anderen Biomassen zukünftig auch stofflich genutzt werden kann, liefert die heutige genutzte Sägespänenmenge in Groß- und Kleinfeuerungsanlagen in der Lausitz eine Orientierung für das zukünftig erschließbare Potenzial; dieses liegt aktuell bei circa 1.000 TJ. Zudem können die Holzverarbeitenden Betriebe das Industriestholz auch über die Grenzen ihres Bundeslandes hinweg im- und exportieren, wodurch die in einer Region verfügbaren Mengen stark schwanken können. Vor diesem Hintergrund geben wir hier eine Spannbreite für das **technische Potenzial** von Sägespänen für die energetische Nutzung von **1.000 bis 4.000 TJ** an.

Als **Landschaftspflegematerial** werden Ast- und Strauchschnitt (Gehölz) sowie alle organischen Reste (Halmgut) bezeichnet, die bei der Pflege von öffentlichen Grünflächen wie z. B. Parkanlagen oder Siedlungs- und Verkehrsflächen anfallen. Ebenso zählt Schnittgut von Schutzgebieten oder aus der Pflege von Feld- und Ufergehölzen, Windschutz- bzw. Feldhecken dazu (Haak 2015). Für Brandenburg und Sachsen liegen bezüglich des Landschaftspflegematerials spezifische Studien vor. Ein Großteil des Materials konzentriert sich hotspotartig im Norden der Lausitz, z. B. im Niederlausitzer Landrücken (Peters et al. 2014). Das theoretische Gesamtpotenzial von Landschaftspflegematerial in Brandenburg liegt bei ca. 1.100.000 t TM/a.⁶⁵ Davon entfallen circa 90 Prozent auf Halmgut und 10 Prozent auf Gehölz. Das technische Potenzial entspricht nach Peters et al. (2014) etwa 35 Prozent des theoretischen Gesamtpotenzials.

⁶³ Das technische Potenzial basiert auf eigenen Berechnungen nach bundesweiten Daten der aktuell verwendeten Waldrestholzmenge in Groß- und Kleinfeuerungsanlagen (FNR 2019a). Technische Konversionsfaktoren wie der Energiegehalt und der Wirkungsgrad von Konversionsanlagen wurden berücksichtigt. Der Anlagennutzungsgrad ist zwischen 6.000-8.000 h/a festgelegt. Als Mittelwert wurden 6.750 h/a für die Berechnungen verwendet. Damit ergibt sich die geleistete Arbeit in MWh.

⁶⁴ Der Anlagennutzungsgrad ist zwischen 6.000-8.000 h/a festgelegt. Als Mittelwert wurden 6.750 h/a für die Berechnungen verwendet. Damit ergibt sich die geleistete Arbeit in MWh.

⁶⁵ t TM = Tonnen Trockenmasse

Nach einer groben Auswertung dieser Karten dürfte in etwa 25 Prozent der in der Studie ausgewiesenen **Landschaftspflegepotenziale** auf das brandenburgische Gebiet der Lausitz entfallen, was mit etwa 250.000 t TM/a abgeschätzt wird. In der sächsischen Lausitz (Landkreise Bautzen und Görlitz) wurde in Stegner et al. (2010) demgegenüber ein deutlich niedrigeres theoretisches Gesamtpotenzial von circa 73.000 t TM/a dargestellt. Das ergibt ein theoretisches Landschaftspflegepotenzial für die Lausitz von insgesamt circa 320.000 t TM/a. Rechnet man dieses mit den Umrechnungsfaktoren der FNR (2019a) in Energieeinheiten [TJ] um, dann ergibt sich das theoretische Potenzial mit circa 4.000 TJ. Einer Erschließung dieses Potenzials stehen insbesondere logistische und wirtschaftliche Hemmnisse entgegen, zukünftig entsteht zudem auch hier die Konkurrenz zur stofflichen Nutzung. Der Vergleichswert der heutigen Nutzung von Landschaftspflegematerial in Groß- und Kleinfeuerungsanlagen in der Lausitz ergibt einen Wert von circa 1.000 TJ. Deshalb geben wir auch hier eine Spannweite für das technische Potenzial von **1.000 bis 4.000 TJ** an.

Als besonders günstige Option für die Verwertung des Landschaftspflegematerials wurde in Stegner et al. (2010) die Nutzung in bereits bestehenden Biogasanlagen und Biomasse-Heizkraftwerken (HKW) genannt. Hackschnitzel aus Landschaftspflegeholz könnten im regionalen Umkreis thermisch genutzt werden, sofern die Hackschnitzel die Anforderungen eines Regelbrennstoffes nach der Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchV) erfüllen. Zudem könnte die Einführung von Maßnahmen wie einer kostengünstigen Anlieferung durch die Gemeinde die Wirtschaftlichkeit von Biomasse-HKW erhöhen. Demgegenüber wird der Neubau von Bioenergieanlagen mit überwiegender Nutzung von Landschaftspflegematerial unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen als nicht wirtschaftlich eingeschätzt.

Bioenergie-Potenziale: politische Restriktionen für die energetische Biomassenutzung

Bioenergie leistet gegenwärtig einen signifikanten Beitrag zur Dekarbonisierung sowie zur Nachhaltigkeit des gesamten Energiesystems (Klepper und Thrän 2019; MWAE 2020; BMBF 2021). Bioenergie steht für die vielseitige Produktion von Strom, Wärme und Kraftstoffen. So wird beispielsweise rund 25 Prozent des in Deutschland anfallenden Wirtschaftsdüngers in Biogasanlagen vergoren (Seide 2021). In der Lausitz sind insgesamt 173 Biogasanlagen in Betrieb (siehe Abschnitt 2.4.2.2), davon ca. 10 Güllekleinanlagen (Majer et al. 2019). Diese Anlagen reduzieren THG-Emissionen durch die Vermeidung von Methanemissionen aus der Lagerung des Wirtschaftsdüngers in der Viehhaltung sowie über die Bereitstellung klimafreundlicher Energie durch die Substitution fossiler Brennstoffe (Seide 2021).

Seit einigen Jahren hat sich nach einer Phase der **gezielten Förderung verschiedener Bioenergieformen** zur Stärkung der Landwirtschaft und als Beitrag zur Energiewende der Fokus signifikant verschoben. Obwohl im Rahmen der **Biokraftstoffförderung Nachhaltigkeitskriterien** eingeführt wurden, prägte neben dem Primat der Nachhaltigkeit insbesondere das Primat der Ernährungssicherung (s. o.) das Bild, nach dem Biomasse nicht mehr primär für energetische Zwecke eingesetzt werden sollte. Dieses Bild wird mittlerweile zunehmend dadurch verstärkt, dass mit strombasierten Produkten (Wasserstoff, synthetische Gase, Kraftstoffe und andere Kohlenwasserstoffprodukte) einige zusätzliche Alternativen für Bioenergieprodukte entstehen werden, die den Bedarf weiter reduzieren können – zu Gunsten eines anwachsenden Biomassebedarfs im stofflichen Bereich, der ebenfalls vollständig zu dekarbonisieren ist: als Rohstoff für beispielsweise Kunststoffe oder Baumaterialien.

Vor diesem Hintergrund hat sich der **Fokus der energetischen Biomassenutzung auf Rest- und Abfallstoffe** als zentrale Ressourcen für langfristige und nachhaltige Bioenergiestrategien verschoben (Klepper und Thrän 2019). Um sich mittel- bis langfristig in einem nachhaltigen Energieversorgungssystem zu etablieren, müssen sie erhöhte Nachhaltigkeitsanforderungen einer Kaska-

dennutzung erfüllen. Inwieweit die verschiedenen Reststoffe in der Zukunft genutzt werden können, hängt stark von der Entwicklung der Energiepreise, der Technologien, sowie von wirtschaftlichen Produktions- und Wertschöpfungsketten und von den politischen Rahmenbedingungen ab.

Mit der aktuellen **Bioökonomiestrategie des Bundes** legt die Bundesregierung einen Fokus auf die lokale oder regionale Weiterverarbeitung biogener Rohstoffe zu höherwertigen Verarbeitungsstufen z. B. in Bioraffinerien (BMBF 2021). Die erfolgreiche Entwicklung von Bioraffinerien entscheidet damit über die Ausgestaltung der langfristigen Bioenergiestrategie. Damit sich die Technologie am Markt durchsetzen kann, müssen Syntheseverfahren entwickelt werden, um das gesamte Produktspektrum marktreif zu machen. Sollen zukünftig Rest- und Abfallstoffe eingesetzt werden, müssen zudem kostengünstige thermochemische oder biochemische Aufschlussverfahren entwickelt werden (Klepper und Thrän 2019). Darüber hinaus will die Bundesregierung länderübergreifende Kooperationen zu bioökonomierelevanten Themen weiter ausbauen.⁶⁶ Beispiele für erfolgreiche Initiativen sind verschiedene Cluster in Sachsen- und Brandenburg, die zum Thema Bioökonomie aufgesetzt wurden (BMBF 2021).⁶⁷

Bisher wird die energetische Biomassenutzung in Deutschland maßgeblich durch energiewirtschaftliche Anreizsysteme und Bestimmungen in den verschiedenen Sektoren unterschiedlich reguliert. Dazu zählen insbesondere im Strombereich das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), der sogenannte Güllebonus⁶⁸, die Biomasseverordnung und das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG), im Wärmebereich das Marktanreizprogramm „Wärme aus erneuerbaren Energien“ (MAP) und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) sowie im Bereich der Kraftstofferzeugung das Biokraftstoffquoten-Gesetz (Klepper und Thrän 2019). Mit Beginn des Jahres 2020 endete die erste 20-jährige Förderperiode des EEG mit einer garantierten Einspeisevergütung für Bioenergieanlagen. Daher stellt sich für Anlagenbetreiber nun die Frage, wie sie ihre Biogasanlage weiterhin rentabel betreiben können. Bereits mit der Novellierung des EEG im Jahr 2012 war eine sogenannte Flexibilitätsprämie⁶⁹ eingeführt, durch die für Betreiber von Biogasanlagen und Biomethananlagen, die ihren Strom direkt an der Strombörse vermarkten, eine bedarfsorientierte Stromproduktion angereizt wird (Hauptstadtbüro Bioenergie 2021). Eine flexible Fahrweise wird erreicht, indem die installierte Leistung der Anlagen erhöht und/oder die Gasspeicherkapazität ausgebaut wird.

Fazit

Differenzierte energische Biomassepotenziale der Lausitz wurden bisher nicht in der Literatur oder in Statistiken direkt ermittelt bzw. abgeschätzt, so dass im Rahmen dieser Studie eigene Abschätzungen überwiegend anhand von Landes- und Bundesstudien vorgenommen werden. Methodisch erfolgte dies stark vereinfacht und häufig anhand der Flächenrelation im Vergleich zu den überregionalen Potenzialdaten, wenn keine genaueren Aufschlüsselungen verfügbar waren. Die Ergebnisse berücksichtigen dabei häufig weder die im Laufe der Jahre veränderten Verschiebungen in

⁶⁶ Für Beispiele biobasierter Wertschöpfung in Brandenburg siehe die Broschüre von Rupp et al. (2020).

⁶⁷ Siehe beispielsweise BioEconomy Cluster (<https://www.bioeconomy.de/>), Cluster Kunststoffe und Chemie Brandenburg (<https://kunststoffe-chemie-brandenburg.de/de>), Energy Saxony, (<https://www.energy-saxony.net/>) (letzter Zugriff jeweils am 01.02.2022).

⁶⁸ Förderung des Gülleinsatzes im EEG 2009.

⁶⁹ Seit dem EEG 2014 teilt sich die Förderung von Flexibilität in eine Flexibilitätsprämie für Anlagen, die bis zum 31. Juli 2014 in Betrieb genommen wurden, für alle später in Betrieb genommenen Anlagen greift der so genannte Flexibilitätszuschlag.

den Prioritäten der Biomassenutzung, noch aktuelle Erkenntnisse aus der Energie- und Klimaforschung, wenn diese nicht in den (z. T. mehrere Jahre alten) Originalquellen enthalten waren. Im Regelfall gilt somit für die hier ermittelten theoretischen oder technischen Potenzialwerte, dass das tatsächlich realisierbare Potenzial deutlich geringer ausfallen kann. Zu den zentralen Verschiebungen in der Bioenergiepolitik gehören erhöhte Anforderungen an die Nachhaltigkeit, das Primat der Ernährungssicherung, die Anforderung an eine gekoppelte, kaskadische Nutzung von stofflicher und energetischer Nutzung sowie als Folge daraus der Fokus auf die primäre Nutzung von Rest- und Abfallstoffen für die Bioenergienutzung. In der folgenden Abbildung wird das theoretisch-technische Potenzial zur energetischen Verwendung von Biomasse in der Lausitz dargestellt.

Tab. 2-26: Technische Bioenergiepotenziale in der Lausitz

Quelle: eigene Berechnungen und Abschätzungen

| Primärenergieträger | Technisches Bioenergie-Potenzial [in TJ] |
|---------------------------|--|
| Altholz | 500-4.000 |
| Waldrestholz | 2.000-3.000 |
| Landschaftspflegematerial | 1.000-4.000 |
| Sägenebenprodukte | 1.000-4.000 |
| Energiepflanzen | max. 1.000 |
| Gülle | 1.000-3.000 |
| Stroh | max. 3.000 |

Das technische Potenzial ist in Tab. 2-26 dargestellt. Die Spannweiten stehen dabei zum einen für unterschiedliche Quellen, überwiegend spiegeln sie jedoch das Spannungsfeld zwischen einerseits einer Reduktion der heutigen Bioenergiemenge auf eine ausschließliche Nutzung von Rest- und Abfallstoffen sowie andererseits einer konsequenteren Nutzung von in einschlägigen Quellen ausgewiesenen Potenzialmengen wider. Die aktuell beschlossenen und regulativ umgesetzten Reduktionen der Bioenergienutzung auf Rest- und Abfallstoffe sind maßgeblich auf den Vorrang der Ernährungssicherung und auch die notwendigen stofflichen Nutzungen zum Ersatz fossiler Rohstoffe zurückzuführen. Aber auch bei den Rest- und Abfallstoffen wird der Nutzungsdruck zur Substitution in stofflichen Bereichen (Bioökonomie) stark zunehmen, um in allen Sektoren Klimaneutralität zu erreichen – auch wenn am Ende einer stofflichen Nutzungskaskade letztlich wieder eine bioenergetische Verwendung denkbar ist. Daher werden für die meisten Biomassefraktionen in der Tabelle Spannweiten für die Potenziale angegeben, die zwischen der heutigen und den aus den Quellen ermittelten Größenordnungen für die Lausitz liegen.

2.4.4 Szenarien

Nachfolgend werden das **Current Policies**-Szenario sowie das **Klimaneutral 2045**-Szenario für die zukünftige Bioenergieerzeugung in der Lausitz entwickelt. Während das **Current Policies**-Szenario die Entwicklungen in der Lausitz aufbauend auf den aktuellen Energiestrategien für Deutschland abbildet, erfüllt das **Klimaneutral 2045**-Szenario ein darüber hinaus gehendes Klimaschutzszenario. Die Grundlage für die Berechnung der Szenarien ist eine umfangreiche Analyse

der bisherigen Bioenergienutzung der hier im Vordergrund stehenden Technologien und Brennstoffe (siehe Abschnitt 2.4.2.1), die zum Zeitpunkt der Studie gültigen EEG- bzw. Bioenergie-Ausbauziele (Bundesregierung 2021) sowie mit Blick auf mögliche zukünftige Entwicklungen maßgeblich die RESCUE Studie des Umweltbundesamtes (Purr et al. 2019) und die Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“ (Prognos et al. 2021). Aus diesen Quellen und Datengerüsten für die Bundesebene wurden Ableitungen für die Entwicklungsdynamik in der Lausitz bei den hier im Vordergrund stehenden Biogasanlagen, Biomethanaufbereitungsanlagen, Holzheizkraftwerken und Kleinfeuerungsanlagen (Scheitholz, Pellet, Holzhackschnitzel) getroffen.

Current Policies-Szenario

Die Berechnung des *Current Policies*-Szenario für die Lausitz basiert auf den Ausbauzielen gemäß EEG 2021 sowie auf der RESCUE Studie des Umweltbundesamtes (Purr et al. 2019), die im Vergleich der verwendeten Studien einen konservativen bzw. langfristig signifikant rückläufigen Ansatz für die energetische Nutzung der verfügbaren Biomasse darstellt. Das bundespolitische Ziel für die weitere Nutzung der Bioenergie gemäß EEG 2021 sieht für das Jahr 2030 eine installierte Leistung von Bioenergieanlagen in der Höhe von 8.400 MW vor (Bundesregierung 2021). Da aktuell in Deutschland bereits ca. 10.000 MW aus Biomasse installiert sind (UBA 2022), bedeutet dies de facto einen Rückbau der Bioenergieanlagen um circa 16 Prozent.⁷⁰

In allen UBA-Szenarien wird vor dem Hintergrund des Umwelt- und Naturschutzes, der Biodiversität und der Erhaltung natürlicher Kohlenstoffspeicher die energetische Nutzung biogener Materialien wie Pellets, Waldrestholz, Altholz oder Hackschnitzel in **Holz-HKW und Kleinfeuerungsanlagen** bis 2050 auf circa 90 Prozent reduziert (Purr et al. 2019). Das bedeutet – proportional übertragen auf die hier betrachtete Region – einen Rückbau von insgesamt circa 329 MW für die Lausitz (siehe Tab. 2-27). In 2050 sollen gemäß der RESCUE Studie des Umweltbundesamtes die kompletten Waldrest- und Altholzpoteztiale ausschließlich für Prozesswärme in der Industrie und im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) eingesetzt werden (Purr et al. 2019).

Weiterhin wird in Anlehnung an die Szenarien des UBA (Purr et al. 2019) die installierte Leistung von **Biogasanlagen** in der Lausitz im Jahr 2040 auf circa 60 Prozent reduziert, was einem Rückbau von circa 53 MW entspricht (siehe Tab. 2-27). Im Szenario *Current Policies* wird in 2040 gemäß der UBA-Projektion sowie auch der aktuell gültigen Biomasseverordnung aus Gründen der Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion und zur stofflichen Nutzung von Biomasse keine Nutzung nachwachsender Rohstoffe (NaWaRo, auch: Energiepflanzen) für Biogas- und Biomethanherzeugung vorgesehen. Dagegen gewinnen die effizientere Nutzung von **Restholzreserven** aus dem Privatwald, von Holz aus **Kurzumtriebsplantagen** (KUP), **Agroforstsystemen** und **Landschaftspflegematerial**, sowie eine möglichst vollständige Verwertung von **Wirtschaftsdüngern**, **Bioabfällen** und **biogenen Reststoffen** an Bedeutung. In allen UBA-Szenarien wurde darüber hinaus angenommen, dass 70 Prozent des aus biogenen Abfallstoffen entstehenden Biogases zu **Biomethan** aufbereitet und die restlichen 30 Prozent zur Stromproduktion genutzt werden (Purr et al. 2019). Biogas aus Gülle wird aufgrund der eher kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen vor Ort (Kleingülleanlagen) zur Stromproduktion eingesetzt. Abfallvergärungsanlagen sind in der Regel deutlich größer, so dass die Aufbereitung zu Biomethan naheliegender ist.

⁷⁰ Diese Rückbauquote kann allein durch Stilllegungen von Bestandsanlagen nach Ende ihrer Lebensdauer erfolgen, oder aber netto als Differenz eines höheren Rückbaus bei entsprechendem Ausgleich durch einen Zubau.

Klimaneutral 2045-Szenario

Die Berechnung des *Klimaneutral 2045*-Szenarios für die Lausitz basiert maßgeblich auf der bundesweiten Energiesystemstudie „Klimaneutrales Deutschland 2045“, die explizit die Einhaltung des Klimaneutralitätsziels bis 2045 in allen Sektoren berücksichtigt und den Einsatz von Bioenergie dahingehend vergleichsweise differenziert aufschlüsselt (Prognos et al. 2021).⁷¹ In dieser Studie nimmt die Bioenergie eine etwas progressivere Rolle ein, da insgesamt eine leichte Steigerung bis 2045 gesehen wird. Diese ist maßgeblich auf die energetische Holznutzung durch einen massiven Anstieg von Kurzumtriebsplantagen zurückzuführen, während die Biogasproduktion – ähnlich zum *Current Policies*-Szenario – insbesondere durch das Auslaufen der NaWaRo-Anlagen stark zurückgeht.

Dabei nimmt die Bedeutung der dezentralen **Biogasanlagen** für die klimaneutrale Stromerzeugung der Zukunft um rund 50 Prozent bzw. etwa 40 MW_{el} auf rund 50 MW_{el} bis 2040 ab (siehe Tab. 2-27). Biogas wird in diesem Szenario einerseits zentral zur Deckung der Nachfrage der Industrie für Hochtemperaturwärme und andererseits dezentral für die Wärmeversorgung der Landwirtschaft und für kleine Nahwärmenetze benötigt. Im Biogassegment gibt es gemäß der Studie nur bei den Gülleanlagen noch ein Zubaupotenzial, das mittelfristig bis 2030 erschlossen werden sollte. Dies liegt daran, dass gegenwärtig von den jährlich in Deutschland anfallenden Mengen tierischer Exkrememente nur ungefähr ein Drittel der technisch verwertbaren Mengen energetisch genutzt wird (Majer et al. 2019). Eine stärkere Biogasproduktion aus Gülle würde Emissionen aus der Lagerung tierischer Exkrememente (Methan und Lachgas) sowie aus der Nutzung fossiler Energieträger reduzieren, während der Gärrest wiederum als Naturdünger zur Verfügung stünde.

Während die Studie von Prognos et al. (2021) im Bereich der **festen Biomasse** von einem annähernd gleichbleibenden Verbrauch von Reststoffen und Waldholz ausgeht, sieht sie insbesondere bei **Kurzumtriebsplantagen** eine signifikante Steigerung bis 2045 auf einen Beitrag von über 100 TWh, der danach wieder leicht absinkt. Diese verstärkte KUP-Produktion (sowie Agroforstsysteme) erfolgt dabei auf den frei werdenden Anbauflächen für Energiepflanzen wie z. B. Mais für Biogassubstrate. Im *Klimaneutral 2045*-Szenario steigt die energetische Nutzung der forstwirtschaftlichen Biomasse in der Lausitz bis 2040 im Vergleich zu 2018 um ca. 40 Prozent, woraus sich ein Anstieg der installierten Leistung von Holz-HKW auf 75 MW_{el} und von Kleinfeuerungsanlagen auf 320 MW_{el} ergibt (siehe Tab. 2-27).

2.4.5 Fazit und Empfehlungen

Beim heutigen Einsatz von energetisch genutzter Biomasse sind die lokale Erzeugung von Strom und Wärme aus Biogas in einem Blockheizkraftwerk, die Aufbereitung von Biogas zu Biomethan sowie die Erzeugung von Heizwärme aus Holz in Holzheizkesseln die dominierenden Technologien. Inwieweit Bioenergie in den verschiedenen Segmenten zukünftig eine zu- oder abnehmende Rolle einnehmen wird, ist derzeit schwer vorherzusagen. Aktuell gilt zur Vermeidung von Nutzungs- und Flächenkonkurrenzen das Primat der Ernährungssicherung, zudem ist für die Dekarbonisierung der Wirtschaft insgesamt auch der Einsatz für stoffliche Nutzungen in großem Umfang

⁷¹ In vielen anderen sektorübergreifenden Energiesystemstudien wird Bioenergie bzw. der energetische Einsatz von Biomasse nicht oder nur sehr gering differenziert, so dass keine Übertragung auf die in der vorliegenden Studie betrachteten Technologien möglich ist.

wahrscheinlich. Somit ergibt sich zunächst – wie bereits heute regulatorisch vorgesehen – ein Fokus für energetische Biomassenutzung auf Rest- und Abfallstoffe und in Verbindung damit eine energetische Nutzung im Regelfall erst am Ende einer stofflichen Nutzungskaskade.

Inwieweit einzelne landwirtschaftliche Flächen für die Bioenergie nutzbar bleiben oder zukünftig werden, wird insbesondere auch davon abhängen, wie sich die Primärnutzungen dieser Flächen entwickeln: insbesondere eine Reduktion der Fleischproduktion für Konsum und Export und damit verbunden der Flächenbedarf für Futtermittel und Weideland kann signifikante Spielräume für andere Flächennutzungen ermöglichen. Die hierdurch freiwerdenden Flächenpotenziale werden jedoch möglicherweise in hohem Umfang für die Bildung von Senken, zum Beispiel im Rahmen von Wiedervernässungen landwirtschaftlich genutzter (und aktuell künstlich trockengelegter) Moorflächen genutzt werden müssen. Inwieweit sich dann hybride Klimaschutzmaßnahmen auf solchen Flächen kombinieren lassen – beispielsweise Agri-Photovoltaik- und/ oder Windenergienutzung auf wiedervernässten Moorflächen, auf denen zudem Biomasse geerntet wird – ist derzeit noch nicht absehbar.

Vor diesem Hintergrund wurden hier Szenarien modelliert, die sich einerseits auf die aktuellen politischen Rahmenbedingungen beziehen und andererseits an maßgeblichen Studien (in der Regel für Gesamt-Deutschland) orientieren. Darin zeigt sich ein heterogenes Bild im Vergleich der beiden Szenarien *Current Policies* und *Klimaneutralität 2045*. Das **Current Policies Szenario** bildet gemäß der aktuellen politischen Ausrichtung auch für die Lausitz einen deutlichen Rückgang der energetischen Nutzung von Biomasse ab; die Nutzung verlagert sich dabei voraussichtlich in Richtung einer stärkeren stofflichen Nutzung (Bioökonomie). Der Rückgang der Leistung der Bioenergieanlagen wird dabei in allen Bereichen stattfinden (Tab. 2-27), insbesondere in den Bereichen Holzfeuerung und Biogas.

Das **Klimaneutral 2045-Szenario** weist demgegenüber bis 2045 eine leichte Steigerung der energetischen Nutzung von Biomasse in der Lausitz mit einem Wechsel des Schwerpunktes von der Stromproduktion zum Wärme- und Transportsektor aus. Aufgrund der Nutzungskonkurrenz zwischen den Sektoren und den unterschiedlichen Möglichkeiten von alternativen Nutzungen verschiebt sich die Biomassenachfrage. Während im Jahr 2016 gut die Hälfte der Biomassenachfrage aus dem Energiesektor kam, reduziert sich die Nachfrage des Energiesektors im Jahr 2045 auf 14 Prozent der gesamten Bioenergie und macht im Jahr 2050 nur noch 10 Prozent der Bioenergienachfrage aus (Prognos et al. 2021). Während sich das Angebot an Biogas bis zum Jahr 2045 gegenüber 2016 in etwa halbiert, steigt der Anteil der festen Biomasse kontinuierlich an. Bis zum Jahr 2045 wird Biogas überwiegend aus Reststoffen wie Gülle, vergorenen Bioabfällen und nur noch zu einem kleinen Anteil aus Energiepflanzen zur Verfügung gestellt. Im Bereich der festen Biomasse trägt vor allem der Anbau von fester Biomasse in Agroforstsystemen, Hecken bzw. KUP zur Ausweitung des inländischen Angebots bei (Prognos et al. 2021).

Tab. 2-27: Bioenergieanlagen-Szenarien in der Lausitz

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von Purr et al. (2019), Prognos et al. (2021) sowie des Marktstammdatenregisters (alle bis 31.12.2018 in Betrieb genommene Anlagen), SAENA und EKS

| Bioenergieanlagen | Installierte Leistung/ Einspeisung | Status quo 2018 | Szenario <i>Current Policies</i> | Szenario <i>Klimaneutral 2045</i> |
|-----------------------|---------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Biogasanlagen | MW _{el} | 91 | 40 | 50 |
| Holz-HKW | MW _{el} | 49 | 5 | 75 |
| Kleinfeuerungsanlagen | MW _{th} | 208 | 23 | 320 |
| BGAA-Biomethan | MW _{el} | 59 | 39 | 123 |

Der Beitrag von **Biogas** zur nachhaltigen Energieversorgung kann auch zukünftig eine wichtige Rolle spielen. Während im *Current Policies*-Szenario davon ausgegangen wird, dass insbesondere alle NawaRo-Anlagen aufgrund der Flächenkonkurrenz rückgebaut werden, fällt der Rückgang im Szenario Klimaneutralität 2045 geringer aus, im Segment der Biomethaneinspeisung gibt es sogar einen deutlichen Aufwuchs. Aktuell kristallisieren sich mit der Vermarktung von Strom und Wärme im Rahmen der EEG-Förderung sowie von Kraftstoff über THG-Quotenregelungen⁷² zwei Hauptnutzungspfade für Biogas heraus. Beide Nutzungspfade stellen auch zukünftig nachhaltige Geschäftsmodelle für Landwirte dar, sofern der Fokus im Kraftstoffbereich auf Abfällen und Reststoffen (u. a. Wirtschaftsdünger) liegt (Seide 2021). Die Kraftstoffherstellung in Bioraffinerien und die Herstellung von Biomethan, das flexibel in allen Sektoren als Ersatz für Erdgas verwendet werden kann, sind mit Blick auf das Jahr 2050 vermutlich systemdienlicher als die kleineren Strom- und Wärmeerzeugungsanlagen. Während Strom und Niedertemperaturwärme effizient mit Windkraft- und Photovoltaikanlagen sowie Wärmepumpen bereitgestellt werden können, ist die synthetische Erzeugung von Kraftstoffen mit Grünstrom sehr energieintensiv, zudem bleibt gegebenenfalls die Bereitstellung von Hochtemperaturwärme für industrielle Prozesse oder Fernwärmesysteme auch zukünftig ein Anwendungsfeld (Klepper und Thrän 2019).

Für die Nutzung fester Biomasse (insbesondere Holz) zeigt sich in den Szenarien ein noch heterogeneres Bild: Während im *Current Policies*-Szenario davon ausgegangen wird, dass deutlich weniger Holz genutzt wird, gibt es im Szenario *Klimaneutral 2045* einen deutlichen Ausbau bei kleinen wie großen Anlagen, dezentral im Holzofen wie zentral in der Fernwärme. Dahinter steht nicht nur die Annahme, dass die private Nachfrage nach wie vor bestehen bleibt und nicht komplett in große industrielle Anlagen wie Raffinerien umgelenkt werden kann. Es wird zudem davon ausgegangen, dass nicht alle Gebäude auf Niedertemperaturniveau saniert werden können – und hierfür Wasserstoff als klimaverträgliche Alternative für den Gebäudebereich, ggf. auch für Prozesswärme nicht im ausreichenden Maß zur Verfügung steht. In mehreren Studien wird angenommen, dass auf den Flächen, auf denen keine annuellen Energiepflanzen mehr angebaut werden, stattdessen ein Anbau von Kurzumtriebsplantagen (KUP) stattfindet. KUP weisen gegenüber dem NaWaRo-Anbau

⁷² Der Preis für die THG-Quote hat sich über mehrere Jahre im Bereich von 150 bis 200 Euro/t CO₂-Äquivalente bewegt. Bei diesem Preis konnten Produzenten von Biomethan rund 4 Cent/kWh Biomethan durch den Verkauf der Quote realisieren. Die Biomethangestehungskosten auf Basis von Abfällen liegen bei 5 bis 7 Cent (Seide 2021). Bisher war das zentrale Wettbewerbsprodukt - fossiles Erdgas – mit rund 2 Cent/kWh deutlich günstiger; angesichts der aktuellen Entwicklung ab Ende 2021 kann sich die Wirtschaftlichkeit von Biogas- und Biomethananlagen jedoch nicht nur kurz- und mittelfristig, sondern auch langfristig deutlich verbessern.

Vorteile wie eine höhere Kohlenstoffbindung im Boden, einen geringeren Düngemittelbedarf und eine einfachere und flexiblere Lagerung und Transport der festen Biomasse auf (Falkenberg et al. 2021).

Die Analyse zeigt, dass für eine Klärung der energetischen Biomassepotenziale zunächst **differenzierte Biomasse- bzw. Bioökonomiestrategien der Bundesländer** – hier Brandenburg und Sachsen – erforderlich sind. Die Diskussion um die Flächenkonkurrenzen und –Knappheiten zeigt auch, dass es wirksame flächensparende Strategien bei der Nahrungsmittelproduktion geben muss, damit neben Nahrungsmitteln auch stoffliche und energetische Bedarfe für die Dekarbonisierung der Wirtschaft befriedigt werden können. Dies verweist zunächst klar auf – bundesweit zu initierende – **Strategien und Instrumente zur deutlichen Verringerung der Fleischproduktion** und des Fleischkonsums sowie zur deutlichen **Verringerung von nicht genutzten Lebensmitteln** als größte Hebel.

Auf den dadurch gewonnenen Flächen müssen möglichst **gekoppelte, hybride Flächennutzungen** etabliert werden, die beispielsweise neben einer THG-Senkenfunktion auch die Biomasseproduktion ermöglichen. Für die **Biomassenutzung** muss die **Priorität auf kaskadischer Nutzung** liegen, die entsprechend zu fördern ist. Hierzu können **regionale Schwerpunktcluster** je nach Biomasse- und Verwendungsart etabliert werden, so auch für die Lausitz. Grundsätzlich ist jedoch davon auszugehen, dass es eine Reihe von überregional bedeutsamen bioökonomischen Produkten und Kreisläufen geben wird, beispielsweise für biogene Dämmmaterialien, aus deren Produktion- und Entsorgung für die energetische Nutzung Rest- und Abfallstoffe anfallen.

Der Nutzungsdruck auf die multifunktional einsetzbare Biomasse hängt maßgeblich von der Entwicklung der Referenzpreise fossiler und alternativer Energieträger ab. Insbesondere die tatsächliche sektorspezifische Verfügbarkeit von Wasserstoff und grünen Brennstoffen wird entscheidend auch die energetische Biomassenutzung beeinflussen, weshalb diese beiden Segmente verknüpft in **sektorübergreifenden Analysen und Strategien** betrachtet und regelmäßig evaluiert werden müssen. Dabei sind Biomasse und Wasserstoff/ grüne Brennstoffe nicht nur (wettbewerbliche) Alternativen, sondern aus Biomasse können auch Wasserstoff und grüne Brennstoffe produziert werden. Bei der Entwicklung von Strategien und Projektionen sind dabei auch die **zukünftigen klimatischen Veränderungen** besonders zu berücksichtigen; die Folgen des Klimawandels werden das Biomasseangebot in der Lausitz vermutlich stark vermindern und die Biomassearten verändern. Diesbezüglich ist auch die **statistische Datenlage der Biomassenutzung in allen Anwendungsbereichen** zur verbessern, die gegenwärtig – insbesondere für eine regionale Aufschlüsselung am Beispiel der Lausitz – noch große Lücken aufweist.

Bioenergieanlagen werden von einer Vielzahl unterschiedlicher, regional verankerter Akteure finanziert und betrieben, und die Biomassebereitstellung erfolgt regional (vgl. hierzu auch die Ausführungen im nachfolgenden Kapitel). Damit bieten dezentrale Anlagenkonzepte in vergleichsweise vielen Regionen Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale. Bei zentralen Anlagenkonzepten konzentrieren sich die Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte auf eine geringere Zahl an Akteuren und Anlagenstandorten. Der Übergang von einem dezentralen Einsatz von Bioenergie hin zu zentralen Konzepten wäre folglich mit einer Änderung der Bereitstellungskonzepte und der beteiligten Akteure verbunden, was eine Umverteilung der regionalökonomischen Effekte zur Folge hätte (Klepper und Thrän 2019).

2.5 Energetische Gebäudesanierung

Die energetische Gebäudesanierung ist ein zentraler Baustein und unabdingbar zum Erreichen der Energiewende. Das Prinzip „Efficiency first“ (BMWi 2016) umschreibt zum einen die Tatsache, dass jede nicht erzeugte Kilowattstunde auch nicht erzeugt werden muss, und bezieht damit zum zweiten auch den Umstand ein, dass die zukünftig dominierenden erneuerbaren Energiequellen regional betrachtet voraussichtlich nicht im Überfluss zur Verfügung stehen werden (siehe hierzu auch die Ausführungen zu den Erzeugungstechnologien). Die energetische Sanierung verursacht zum Teil hohe Kosten, denen entsprechende Kosteneinsparungen und erforderlichenfalls Fördermittel gegenüberstehen müssen, damit sie sich betriebswirtschaftlich rechnet. Aus regionalökonomischer Sicht sind energetische Sanierungsaktivitäten jedoch im Regelfall vorteilhaft, da hierdurch eine Vielzahl von lokalen Wertschöpfungsvorgängen und Beschäftigungswirkungen entstehen können.

2.5.1 Status quo

In den folgenden Abschnitten werden der Gebäudebestand in der Lausitz und der Sanierungsstatus bzw. die damit verbundenen Energieverbräuche beschrieben. Dabei wird in der Literatur und in den Datenquellen im Allgemeinen zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden unterschieden, die Unterschiede sowohl in der Baustruktur, den Dämmeigenschaften und im Energieverbrauch aufgrund unterschiedlicher Nutzungsstrukturen aufweisen. In diesem Vorhaben werden allerdings **nur Wohngebäude betrachtet**, da die Datenlage sowohl für den regionalen Bestand als auch für die Abbildung von Sanierungsmaßnahmen für Nichtwohngebäude unzureichend ist.

Für die Abschätzung regionalökonomischer Potenziale sind dabei vor allem der Gebäudebestand (Art, Baujahr und Anzahl an Gebäuden) und der jeweilige Gebäudezustand (Dämmung und Gebäudetechnik) relevant. Bei den Umsetzungsszenarien werden ausgehend vom Istzustand geeignete Maßnahmen für eine umfassende energetische Sanierung des Gebäudebestandes abgeleitet. Als Bauleistungen werden Dämmmaßnahmen überwiegend durch regionale Unternehmen durchgeführt und können so zu regionalen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten führen. Da die umfassende Sanierung des Gebäudebestands in der Region nicht in wenigen Jahren, sondern eher in mehreren Jahrzehnten umzusetzen ist, können durch eine Sanierungsstrategie langfristige regionalökonomische Effekte ausgelöst werden.

2.5.1.1 Bestand an Wohngebäuden in der Lausitz

Der Bestand an Wohngebäuden in der Lausitz wird auf Ebene der Landkreise und der kreisfreien Stadt Cottbus beschrieben. Dabei werden verschiedene öffentlich verfügbare Datenquellen genutzt, da die notwendigen Informationen zu den unterschiedlichen Gebäudetypen, Baualtersklassen und Dämmzuständen nicht gebündelt aus einer Quelle entnommen werden können. Soweit möglich, werden Informationen aus verschiedenen Quellen zusammengeführt. Die Vergleichbarkeit verschiedener Datenquellen wird dabei durch konstante Gebäudeeigenschaften, wie den Gebäudetyp oder das Baujahr, sichergestellt.

Der Bestand an Wohngebäuden in der Lausitz kann mit Hilfe eines am IÖW entwickelten Gebäudemodells beschrieben werden. Dieses Modell zeichnet sich aus durch die Nutzung von teilweise

regionsspezifischen Daten zu Gebäuden: Gebäudetypen nach Bauweise und Anzahl der Wohneinheiten, Energiekennwerten sowie sozio-demografischen Merkmalen der Bewohner und Bewohnerinnen bzw. der Eigentümerinnen und Eigentümer.

Der Wohngebäudebestand in der Bundesrepublik Deutschland wurde gemeindescharf zum Stichtag 09.05.2011 im Zuge der Erfassung der Bevölkerungszahlen im Zensus 2011 erhoben (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2015). Der zwar inzwischen über 10 Jahre alte Datenbestand kann grundsätzlich auch für das Betrachtungsjahr 2018 als passend angenommen werden, da die Veränderung im Wohngebäudebereich relativ gering sind. In der Region Lausitz nahm zwischen dem 31.12.2011 und dem 31.12.2019 (letzter Datenstand zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtsteils) der Bestand an Ein- und Zweifamilienhäusern (EZFH) um 4,2 Prozent zu, bei den Mehrfamilienhäusern betrug die Veränderung lediglich +0,44 Prozent (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2021c). Mangels geeigneter statistischer Daten zu der Verteilung der Zu- und Abgänge der Wohngebäude über die Gebäudetypen und Baualtersklassen als wesentliche Gebäudemerkmale wird daher der Gebäudebestand aus dem Jahr 2011 verwendet.⁷³ Der regional begrenzte Untersuchungsraum der Region Lausitz kann mit den Zensusdaten landkreisscharf abgegrenzt werden, es liegen Daten zum Gebäudetyp, der Gebäudegröße, der Anzahl der Wohnungen im Gebäude, der Eigentumsform des Gebäudes, dem Baujahr, der Heizungsart und der Art der Wohnungsnutzung (selbstgenutzt, vermietet, Ferien- oder Freizeitwohnung, leerstehend) vor.

Folgende Wohngebäudetypen werden in der weiteren Auswertung unterschieden:

- Single Family House (SFH): freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser,
- Terraced House (TH): Ein- und Zweifamilienhäuser als Doppelhaushälften oder als Reihenhäuser,
- Multi-Family-House (MFH): Mehrfamilienhaus mit 3 bis 12 Wohnungseinheiten,
- Apartment Blocks (AB): Mehrfamilienhaus mit 13 und mehr Wohnungseinheiten.

Diese Gebäudetypen sind angelehnt an die verbreitet genutzte TABULA-Gebäudetypologie des Instituts für Wohnen und Umwelt (IWU) und erlauben im weiteren Verlauf die Zuordnung von Gebäudehüllflächen auf Basis der Daten des TABULA WebTools (IWU 2020). Die folgende Tab. 2-28 gibt einen Überblick über den Gebäudebestand in der Lausitz zum Stichtjahr 2011.

⁷³ Die Fortschreibungen zum Wohngebäudebestand durch den Mikrozensus 2018 sind für das Vorhaben zu ungenau und werden daher nicht zugrunde gelegt.

Tab. 2-28: Bestand an Wohngebäuden in der Lausitz nach Landkreisen und Gebäudetypen
Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a)

| Gebäudetyp | SFH | MFH | TH | AB | Summe |
|-------------------------------|----------------|---------------|---------------|--------------|----------------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 35.444 | 6.523 | 3.956 | 170 | 46.093 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 24.279 | 3.970 | 3.720 | 124 | 32.093 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 18.456 | 5.034 | 4.528 | 265 | 28.283 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 23.173 | 5.377 | 3.317 | 55 | 31.922 |
| Stadt Cottbus (BB) | 8.024 | 2.176 | 3.219 | 306 | 13.725 |
| LK Bautzen (SN) | 51.045 | 12.244 | 10.877 | 467 | 74.633 |
| LK Görlitz (SN) | 44.884 | 8.743 | 11.658 | 658 | 65.943 |
| Region Lausitz | 205.305 | 44.067 | 41.275 | 2.045 | 292.692 |

In der überwiegend ländlich geprägten Region Lausitz ist der verbreitetste Gebäudetyp das freistehende Ein- und Zweifamilienhaus. Dieser Gebäudetyp umfasst durchschnittlich 70 Prozent des Gebäudebestandes. Mit 76 bzw. 77 Prozent ist der Bestand an SFH in den Landkreisen Spree-Neiße bzw. Dahme-Spreewald besonders hoch und in der kreisfreien Stadt Cottbus mit 58 % am niedrigsten. Mittlere Mehrfamilienhäuser (MFH) und Doppelhaushälften bzw. Reihenhäuser (TH) sind in etwa im gleichen Maß in der Region Lausitz vertreten (durchschnittlich 15 bzw. 14 Prozent). Große Mehrfamilienhäuser ab 13 Wohnungseinheiten sind demgegenüber nur mit einem geringen Anteil von circa 1 Prozent vertreten.

Je nach Gebäudetyp und Landkreis bzw. kreisfreier Stadt liegen die Bestandsdaten für Wohngebäude auch nach Baualtersklassen vor. Tab. 2-29 gibt einen beispielhaften Überblick über die freistehenden Ein- und Zweifamiliengebäude (SFH) differenziert nach Baualtersklassen und Region. Diese Darstellung findet sich für die anderen Gebäudetypen im Anhang im Abschnitt 6.1). Am Beispiel der SFH wird deutlich, dass der Gebäudebestand fast zur Hälfte (47 Prozent) aus den Jahren bis 1948 und früher stammt. Ähnliche Altersstrukturen sind für die TH-Gebäude (57 Prozent bis 1948 gebaut) und MFH-Gebäude (45 Prozent bis 1948 gebaut) vorzufinden. Lediglich Wohngebäude mit hoher Anzahl an Wohneinheiten (AB-Gebäude) sind hingegen überwiegend später erbaut worden (zu 83 Prozent nach 1948).

Tab. 2-29: Bestand an SFH-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen des Zensus 2011

Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a). SFH: Freistehende Ein- und Zweifamiliengebäude

| Baujahr(e) | Vor 1919 | 1919-1948 | 1949-1978 | 1979-1986 | 1987-1990 | 1991-1995 | 1996-2000 | 2001-2004 | 2005-2008 | 2009 und später |
|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 5.165 | 9.321 | 4.918 | 2.483 | 1.074 | 2.271 | 4.378 | 2.807 | 2.181 | 846 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 4.251 | 5.668 | 3.755 | 1.702 | 823 | 2.128 | 3.661 | 1.330 | 729 | 232 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 4.004 | 5.185 | 3.128 | 1.138 | 588 | 1.034 | 1.973 | 835 | 412 | 159 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 5.517 | 6.233 | 4.720 | 2.057 | 875 | 1.059 | 1.536 | 689 | 363 | 124 |
| Stadt Cottbus (BB) | 815 | 1.752 | 934 | 454 | 258 | 767 | 1.473 | 845 | 512 | 214 |
| LK Bautzen (SN) | 13.860 | 10.693 | 7.295 | 3.736 | 1.975 | 3.876 | 5.416 | 1.994 | 1.530 | 670 |
| LK Görlitz (SN) | 16.003 | 8.379 | 6.384 | 3.244 | 1.486 | 3.234 | 3.900 | 1.157 | 741 | 356 |
| Region Lausitz | 49.615 | 47.231 | 31.134 | 14.814 | 7.079 | 14.369 | 22.337 | 9.657 | 6.468 | 2.601 |

Für die Erarbeitung weiterer Gebäudekennzahlen, wie zum Beispiel die Wohnflächen oder Gebäudehüllflächen sowie zur Ermittlung der Energieverbrauchskennwerte, wurden die Baualtersklassen der Zensusdaten in die IWU-Gebäudetypologie nach Loga et al. (2015) überführt. Dabei wurden die Zensus-Baualtersklassen denjenigen IWU-Baualtersklassen zugeordnet, mit denen sie die größtmögliche Überschneidung haben. Die folgende Tab. 2-30 zeigt die vorgenommene Zuordnung auf. Die Abweichungen zwischen den beiden Baualtersklassenstrukturen betragen bei den einzelnen Klassen nur wenige Jahre. Wo möglich, wurden mehrere Klassen der Zensus-Systematik einer IWU-Baualtersklasse zugeordnet.

Tab. 2-30: Baualtersklasseneinteilungen und Überschneidungen nach der Systematik des Zensus 2011 und nach der IWU-Gebäudetypologie

Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. (2015)

| Klasseneinteilung nach Zensus (Mikrozensus Klassen): | Baualtersklassen nach IWU-Gebäudetypologie |
|---|---|
| Vor 1919 | Vor 1859, 1860-1918 |
| 1919-1948 | 1919-1948 |
| 1949-1978 | 1949-1957, 1958-1968, 1969-1978 |
| 1979-1986 | 1979-1983 |
| 1987-1990 | 1984-1994 |
| 1991-1995 | 1984-1994 |
| 1996-2000 | 1995-2001 |
| 2001-2004 | 2002-2009 |
| 2005-2008 | 2002-2009 |
| 2009 und später | 2010-2015 |

Nach den IWU-Baualtersklassen eingeordnet, ergibt sich für die SFH-Gebäude in der Lausitz der Wohngebäudebestand für das Jahr 2011 in der folgenden Tab. 2-31. Die Tabellen für die weiteren drei Gebäudetypen befinden sich im Anhang 6.1. Gegenüber der Altersverteilung, die in Tab. 2-29 nach den Zensus-Baualtersklassen unterteilt ist, ergeben sich ab der Baualtersklasse 1979 bis 1983 andere Aggregationswerte. Vor allem die Jahre 1995 bis 2009 werden zu größeren Klassen aggregiert.

Tab. 2-31: Bestand an SFH-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie

Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. (2015). SFH: Freistehende Ein- und Zweifamiliengebäude

| Baujahr(e) | Vor 1918 | 1919- 1948 | 1949- 1978 | 1979- 1983 | 1984- 1994 | 1995- 2001 | 2002- 2009 | 2010- 2011 |
|-------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 5.165 | 9.321 | 4.918 | 2.483 | 3.345 | 4.378 | 4.988 | 846 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 4.251 | 5.668 | 3.755 | 1.702 | 2.951 | 3.661 | 2.059 | 232 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 4.004 | 5.185 | 3.128 | 1.138 | 1.622 | 1.973 | 1.247 | 159 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 5.517 | 6.233 | 4.720 | 2.057 | 1.934 | 1.536 | 1.052 | 124 |
| Stadt Cottbus (BB) | 815 | 1.752 | 934 | 454 | 1.025 | 1.473 | 1.357 | 214 |
| LK Bautzen (SN) | 13.860 | 10.693 | 7.295 | 3.736 | 5.851 | 5.416 | 3.524 | 670 |
| LK Görlitz (SN) | 16.003 | 8.379 | 6.384 | 3.244 | 4.720 | 3.900 | 1.898 | 356 |
| Region Lausitz | 49.615 | 47.231 | 31.134 | 14.814 | 21.448 | 22.337 | 16.125 | 2.601 |

In der Region Lausitz gibt es insgesamt 640.884 Wohnungen (vgl. Tab. 2-32). Die durchschnittliche Leerstandsquote liegt mit 8,3 Prozent über dem Bundesdurchschnitt von 4,5 Prozent (Statistisches Bundesamt 2013b). Besonders hoch ist der Anteil an leerstehenden Wohnungen mit 13 % bzw. 9 % in den Landkreisen Görlitz (SN) bzw. Spree-Neiße (BB). Der Landkreis Dahme-Spreewald (BB) und die kreisfreie Stadt Cottbus (BB) haben hingegen eine geringe Leerstandsquote von 4 bzw. 5 Prozent. In Mehrfamilienhäusern liegt der Anteil an leerstehenden Wohnungen in der Region Lausitz bei durchschnittlich 12 Prozent; bei Ein- und Zweifamilienhäusern hingegen stehen lediglich 4 Prozent der Wohnungen leer (ebda.). Rund 40 Prozent der Wohnungen in der Region Lausitz werden von den Eigentümern und Eigentümerinnen selbst bzw. mit genutzt. In der Stadt Cottbus liegt der Anteil an selbstgenutzten Wohnungen bei 20 Prozent und damit unterhalb des Durchschnittswertes der Region. Hauptsächlich Ein- und Zweifamilienhäuser werden von den Eigentümern und Eigentümerinnen selbstgenutzt. In der Region Lausitz liegt die Eigennutzungsquote für Ein- und Zweifamilienhäuser zwischen 77 und 82 Prozent. In der Region Lausitz werden 6 Prozent der Wohnungen in Mehrfamilienhäusern von den Eigentümern und Eigentümerinnen selbst genutzt und 82 Prozent der Wohnungen vermietet; 12 Prozent stehen leer (ebda.). Im Folgenden werden die Leerstandsanteile aus den Werten der Wohnflächen und der damit verbundenen Gebäudehüllflächen herausgerechnet. Dies wird mit dem in naher Zukunft erwarteten Höchststand der Bevölkerungszahlen in der Region begründet. Der danach einsetzende moderate Bevölkerungsverlust wird durch einen noch länger anhaltenden Trend zu 1-Personen-Haushalten in dem Sinne kompensiert, dass die Anzahl der bewohnten Wohnungen stabil bleibt (Falkenberg et al. 2021, S.7f.).

Tab. 2-32: Anzahl und Art der Nutzung der Wohnungen in der Lausitz

Quelle: eigene Berechnungen auf Basis von Zensus 2011 (Statistisches Bundesamt 2013b).

Anmerkung: Der Anteil an Ferien- und Freizeitwohnungen liegt bei ca. 1 Prozent und ist aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht mit aufgeführt

| Landkreis bzw. kreisfreie Stadt | Anzahl der Wohnungen | Anteil der Wohnungen | | |
|---------------------------------|----------------------|--------------------------|-------------|-------------|
| | | selbstgenutztes Eigentum | vermietet | leerstehend |
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 79.608 | 50 % | 45 % | 4 % |
| LK Spree-Neiße (BB) | 65.033 | 45 % | 46 % | 9 % |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 64.482 | 37 % | 55 % | 7 % |
| LK Elbe-Elster (BB) | 56.621 | 52 % | 40 % | 7 % |
| Stadt Cottbus (BB) | 56.850 | 20 % | 75 % | 5 % |
| LK Bautzen (SN) | 161.775 | 42 % | 50 % | 7 % |
| LK Görlitz (SN) | 156.515 | 36 % | 50 % | 13 % |
| Region Lausitz | 640.884 | 40 % | 51 % | 8 % |

Aus der Anzahl der Gebäude lässt sich in einem nächsten Schritt die gesamte Wohnfläche ableiten, die für die weiteren Kennzahlen des Energieverbrauchs und der Maßnahmenumfänge der energetischen Gebäudesanierung als Bezugsgröße benötigt wird. Die Zensusdaten differenzieren Wohnungsgrößen in 20 m²-Schritten, so dass bei der Ermittlung einer durchschnittlichen Wohnungsgröße mit gewissen Ungenauigkeiten zu rechnen ist. Bezogen auf die Gesamtfläche der Wohnungen, die nach diesem Vorgehen hochgerechnet werden kann, liegt der Fehler aber bei unter 1 Prozent und wird daher vernachlässigt. Tab. 2-33 zeigt die durchschnittlichen Wohnungsgrößen je Gebäudetyp auf, dabei werden bundesweite Werte für die Anzahl der Wohnungen und der Wohnflächen genutzt. Dabei sind die Wohnungen in den Ein- und Zweifamilienhäusern mit 128 bzw. ca. 97 m² jeweils ähnlich groß, egal ob diese als freistehendes Haus, Doppelhaushälfte oder Reihenhaus gebaut wurden. Die Wohnungen in den Mehrfamilienhäusern sind dagegen mit 67 bis 76 m² in Häusern mit bis zu 12 Wohnungen und mit 61 m² in Häusern mit 13 oder mehr Wohnungen deutlich kleiner. Die Fläche je Wohnung gilt für die einzelnen Gebäudetypen als Durchschnitt über alle Altersklassen und weist zwischen den Baualtersklassen Differenzen von bis zu 19 Prozent bei den Ein- und Zweifamilienhäusern und bis zu 122 Prozent bei den Mehrfamilienhäusern mit bis zu 12 Wohnungen auf (vgl. die Tabelle im Anhang 6.1)

Tab. 2-33: Wohnfläche je Gebäudetyp im gesamten Bundesgebiet

Quelle: eigene Berechnungen auf Basis von Zensus 2011 (Statistisches Bundesamt 2013b)

| Gebäudetyp | Anzahl Wohnungen | Fläche je Wohnung (m ²) | Gesamtfläche (Mio. m ²) |
|---|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Freistehendes Einfamilienhaus | 7.882.670 | 128,0 | 1.009 |
| Einfamilienhaus: Doppelhaushälfte | 1.972.576 | 128,5 | 253 |
| Einfamilienhaus: Reihenhaus | 2.105.394 | 128,0 | 269 |
| Freistehendes Zweifamilienhaus | 4.651.509 | 98,0 | 455 |
| Zweifamilienhaus: Doppelhaushälfte | 838.004 | 97,6 | 81 |
| Zweifamilienhaus: Reihenhaus | 612.934 | 96,9 | 59 |
| Mehrfamilienhaus: 3-6 Wohnungen | 8.628.758 | 76,5 | 660 |
| Mehrfamilienhaus: 7-12 Wohnungen | 7.233.587 | 67,1 | 485 |
| Mehrfamilienhaus: 13 und mehr Wohnungen | 4.569.283 | 61,0 | 278 |
| Anderer Gebäudetyp | 2.050.599 | 90,9 | 186 |
| Summe | 40.545.317 | - | 3.739 |

Aus den Flächenangaben je Wohnung und Gebäudetyp wird pro Gebäudetyp die Wohnfläche in den Landkreisen der Lausitz hochgerechnet (siehe Tab. 2-34). Die laut Tab. 2-32 leerstehenden Anteile der Wohnungen wurden hier bereits abgezogen. Dabei weisen die Landkreise alle ähnliche Wohnflächen pro Einwohnerin bzw. Einwohner auf, mit einer leichten Abweichung nach oben im Landkreis Görlitz in Sachsen, die auch aufgrund der hohen Leerstandsquote statistisch bedingt ist.

Die Stadt Cottbus weist als urbanes Gebiet mit einem hohen Anteil an Studierenden nachfragebedingt eine geringe Leerstandsquote und eine geringere durchschnittliche Wohnfläche bezogen auf die Bevölkerungszahl auf. Das ist nicht zuletzt durch den hohen Anteil an Mehrfamilienhäusern mit 13 und mehr Wohnungen begründet (15 Prozent), die eine geringe durchschnittliche Wohnungsgröße von 60 m² im Vergleich zu Ein- bzw. Zweifamilienhäusern mit 128 bzw. ca. 97 m² pro Wohnung aufweisen. Aufgrund der hohen Bevölkerungszahlen in den Landkreisen Bautzen bzw. Görlitz in Sachsen sind auch die höchsten Wohnflächenanteile der Region Lausitz mit 25 bzw. 24 Prozent dort zu finden.

Tab. 2-34: Bestand an Wohnflächen (m²) in der Lausitz nach Landkreisen/ Gebäudetypen

Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a)

| Gebäudetyp | SFH | TH | MFH | AB | Summe | m ² pro Einwohner |
|--------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------------------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 4.604.665 | 875.587 | 1.651.221 | 217.265 | 7.348.738 | 46 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 3.231.031 | 526.685 | 1.363.098 | 189.982 | 5.310.796 | 43 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 2.428.232 | 640.021 | 1.859.900 | 265.422 | 5.193.575 | 44 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 3.034.237 | 703.100 | 1.194.081 | 57.790 | 4.989.208 | 45 |
| Stadt Cottbus (BB) | 1.069.492 | 286.580 | 1.609.325 | 526.828 | 3.492.225 | 35 |
| LK Bautzen (SN) | 6.823.850 | 1.581.789 | 4.199.901 | 554.579 | 13.160.118 | 42 |
| LK Görlitz (SN) | 5.815.941 | 1.120.165 | 4.310.659 | 574.781 | 11.821.546 | 44 |
| Summe bzw. Durchschnitt | 27.007.447 | 5.733.926 | 16.188.185 | 2.386.648 | 51.316.206 | (Ø) 43 |

Die folgende Tab. 2-35 zeigt die Verteilung der Wohnflächen in der Region Lausitz auf die Baualterklassen. Es wird deutlich, dass über das gesamte Gebiet der Lausitz ein hoher Anteil der gesamten Wohnflächen zu älteren Baualterklassen gehört und entsprechend Sanierungsbedarfe bestehen, um die mit dem Gebäudealter verbundenen höheren Energieverbräuche zu verringern. Die gebäudespezifischen Energieverbräuche und hochgerechnete Verbrauchswerte für die gesamte Region werden im Abschnitt 2.5.1.2 vorgestellt.

Auf Basis der präsentierten Kennzahlen zum Gebäudebestand in der Lausitz werden die Gebäudehüllflächen des gesamten Gebäudebestandes berechnet, um als Grundlage für die Ermittlung der

potenziellen Maßnahmenumfänge der Gebäudesanierung zu dienen. Dazu werden die Kennzahlen der IWU-Gebäudetypologie herangezogen (IWU 2020) und mit den Bestandsdaten der Wohnflächen hochgerechnet. Tab. 2-36 gibt die verwendeten Werte der beheizten Wohnfläche (BWF) und der wohnflächenspezifischen Gebäudehüllflächen (m^2 pro m^2 BWF) für die freistehenden Ein- und Zweifamilienhäuser (SFH) wieder. Auffällig ist, dass die in der IWU-Gebäudetypologie angegebene beheizte Wohnfläche deutlich höher liegt als die Wohnfläche, die durch die Zensus-Erhebung ermittelt wurde. Dies kann einerseits begründet werden, da in der IWU-Gebäudetypologie der obere Gebäudeabschluss bei allen Gebäudetypen die Dachfläche bildet und nicht der obere Gebäudeabschluss. Somit nimmt die Gebäudetypologie an, dass das Dachgeschoss noch zum beheizten Wohnraum zählt. Dies ist allerdings bei den wenigsten, vor allem älteren SFH, der Fall. Hier bildet der obere Gebäudeabschluss die obere Begrenzung zum beheizten Wohnraum. Andererseits liegt der Zensus Erhebung und IWU-Erhebung eine andere Erhebungsmethodik zu Grunde. Bei der Zensus-Erhebung wurden die Einwohnerinnen und Einwohner persönlich um eine Einschätzung gebeten, wohingegen bei der IWU-Erhebung die Wohnflächen der Gebäudetypen durch geschultes Personal aufgenommen wurden. Dabei haben Eigentümer und Eigentümerinnen von SFH wahrscheinlich bei der Angabe der Wohnungsgröße nur die tatsächlich genutzte Wohnfläche im Blick. Die tatsächlich beheizte Wohnfläche umfasst aber auch nichtgenutzte/ nichtbeheizte Räume/ Flächen innerhalb einer thermische Hülle. Die entsprechenden Werte für die anderen Gebäudetypen finden sich im Anhang (Abschnitt 6.1). Die Daten machen deutlich, dass bei den SFH-Wohngebäuden in der Regel von einer Nutzung bzw. Beheizung des Dachgeschosses auszugehen ist, da der obere Gebäudeabschluss als Außenfläche des beheizten Gebäudevolumens bei keinem Gebäude über alle Baualtersklassen mit Werten größer Null angegeben ist.

Tab. 2-35: Bestand an Wohnflächen in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassenin m² Wohnfläche; Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. (2015)

| Baujahr(e) | Vor 1918 | 1919-1948 | 1949-1978 | 1979-1983 | 1984-1994 | 1995-2001 | 2002-2009 | 2010-2011 |
|-------------------------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 1.077.467 | 1.418.839 | 1.106.103 | 607.203 | 893.784 | 1.225.353 | 877.674 | 142.315 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 857.832 | 1.140.399 | 1.057.626 | 536.064 | 578.873 | 717.076 | 383.815 | 39.109 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 782.346 | 1.182.034 | 1.687.001 | 401.740 | 450.492 | 427.422 | 232.961 | 29.578 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 1.133.642 | 1.223.994 | 1.235.237 | 465.846 | 430.221 | 295.617 | 183.023 | 21.629 |
| Stadt Cottbus (BB) | 373.292 | 452.506 | 1.226.290 | 321.480 | 395.378 | 398.742 | 294.874 | 29.663 |
| LK Bautzen (SN) | 3.031.738 | 2.457.891 | 3.103.012 | 946.717 | 1.546.561 | 1.300.648 | 660.654 | 112.898 |
| LK Görlitz (SN) | 3.824.615 | 2.002.907 | 2.348.406 | 1.278.322 | 1.075.520 | 868.010 | 367.716 | 56.050 |
| Summe | 11.080.933 | 9.878.571 | 11.763.675 | 4.557.372 | 5.370.829 | 5.232.868 | 3.000.716 | 431.242 |

Bei den anderen Gebäudetypen ist dies teilweise umgekehrt. Hier wird, zumindest in bestimmten Baualtersklassen, das Dachgeschoss nicht genutzt bzw. nicht beheizt, so dass der obere Gebäudeabschluss als Teilfläche der Außenhülle angegeben wird und die Dachfläche selbst nicht mit Werten hinterlegt wird. Es ist außerdem festzustellen, dass die beheizte Wohnfläche als Bezugsgröße zwischen den Baualtersklassen schwankt und bei den Neubauten ab 2002 ungefähr dem Durchschnitt über alle Baualtersklassen entspricht. Entsprechend schwanken die wohnflächenspezifischen Bauteilflächen aufgrund der veränderten Bauweisen. Dabei weisen vor allem die Außenwandfläche und die Fensterfläche steigende Tendenzen auf, was auf offenere, lichtdurchflutete Raumkonzepte sowie stetig verbesserte energetische Bauteilausführung zurückgeführt werden kann.

Tab. 2-36: beheizte Wohnfläche und wohnflächenspezifische Gebäudehüllflächen in SFH-Gebäuden

in m² beheizter Wohnfläche (BWF) bzw. m² pro m² BWF, Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. (2015)

| Baujahr(e) | Vor 1918 | 1919-1948 | 1949-1977 | 1979-1983 | 1984-1994 | 1995-2001 | 2002-2009 | 2010-2015 |
|---|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Beheizte Wohnfläche (BWF) (m ²) | 181 | 303 | 135 | 216 | 150 | 122 | 147 | 187 |
| Gebäudehüllflächenanteil pro Bauteil in (m ² / m ² BWF) | | | | | | | | |
| Dach | 0,60 | 0,71 | 1,19 | 0,47 | 0,82 | 0,95 | 0,59 | 0,71 |
| Oberer Gebäudeabschluss | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Außenwand | 1,07 | 0,78 | 1,09 | 0,74 | 1,41 | 1,04 | 1,29 | 1,22 |
| Unterer Gebäudeabschluss (unterkellert) | 0,16 | 0,48 | 0,66 | 0,38 | 0,50 | 0,69 | 0,54 | 0,00 |
| Fenster | 0,14 | 0,17 | 0,19 | 0,13 | 0,20 | 0,26 | 0,19 | 0,22 |

Mit ca. 47 Mio. m² besteht der größte Teil der gesamten Gebäudehüllflächen bei Wohngebäuden in der Region aus Außenwandflächen, gefolgt von Dachflächen mit ca. 26 Mio. m² und 22 Mio. m² als unterem Gebäudeabschluss (unterkellert). Die Fenster nehmen mit ca. 9 Mio. m² üblicherweise einen geringeren Anteil an der gesamten Gebäudehülle ein und die obere Geschossdecke umfasst als dem Dach oftmals untergeordneter oberer Gebäudeabschluss mit ca. 7 Mio. m² den geringsten Anteil.

Die wohnflächenspezifischen Gebäudehüllflächenanteile pro Bauteil je Baualtersklasse werden mit den Bestandsdaten für die Wohnflächen je Gebäudetyp und Landkreis/ kreisfreier Stadt hochgerechnet. Tab. 2-37 gibt regionsspezifisch für die Lausitz die im Wohngebäudebestand vorhandenen Dachflächen je Gebäudetyp und Baualtersklassen wieder. Die Hochrechnung ergibt, dass die gesamte **Dachfläche** der Wohngebäude in der Region Lausitz insgesamt 25,6 Mio. m² beträgt. Dabei entfällt mit 85 Prozent der größte Teil auf die freistehenden Ein- und Zweifamilienhäuser (SFH). Bei diesem Gebäudetyp ist folglich für die Dachsanierung das größte Potenzial für Energieeffizienzmaßnahmen zu vermuten. Dies ist zum Teil dadurch begründet, dass bei den anderen Gebäudetypen die oberste Geschossdecke als Teil der Gebäudehülle gilt, welche den beheizten Innenraum begrenzt. Die Hochrechnungsergebnisse für den oberen Gebäudeabschluss verteilen sich zu 30 Prozent bzw. 70 Prozent auf TH- bzw. MFH-Gebäude, weisen aber mit ca. 6,8 Mio. m² dennoch einen deutlich geringeren absoluten Umfang auf als die Dachflächen. Die Tabellen der Hochrechnungsergebnisse der anderen Bauteilhüllflächen finden sich im Anhang im Abschnitt 6.1).

Die **Außenwandflächen** umfassen insgesamt 47 Mio. m² und verteilen sich zu 62 Prozent auf die SFH- und zu 30 Prozent auf die MFH-Gebäude. Dies entspricht in etwa der Verteilung der Anzahl an SFH und MFH. Der Anteil TH-Gebäude an den gesamten Außenwandflächen liegt mit 7 Prozent leicht unter dem Anteil an den Wohnflächen. Das ist durch die hier zusammengefassten Doppelhaushälften und Reihenhäuser begründet, die ihrer Bauart nach weniger Außenwände haben.

Die Flächen des **unteren Gebäudeabschlusses** verteilen sich nach ähnlichem Muster auf die Gebäudetypen, wobei die TH-Gebäude hier mit 12 Prozent sogar einen etwas höheren Anteil an der gesamten Gebäudehüllfläche haben, als an den Wohnflächen. Die AB-Gebäude haben mit einem Anteil von 2 Prozent an den Flächen des unteren Gebäudeabschlusses den geringsten Anteil, der auch deutlich unter ihrem Anteil an den Wohnflächen (5 Prozent) liegt. Das ist durch die wahrscheinlich weniger verbreitete oder weniger auf die gesamte Grundfläche verteilte Unterkellerung dieser Gebäudetypen begründet.

Die gesamten **Fensterflächen** bei Wohngebäuden in der Region Lausitz betragen 9 Mio. m² und verteilen sich nahezu in einem ähnlichen Verhältnis wie die Wohnflächenverteilung über die Gebäudetypen. Das lässt auf einen ähnlichen Fensteranteil an den Außenwandflächen bzw. bezogen auf die beheizte Wohnfläche bei allen Gebäudetypen schließen. Lediglich die SFH-Gebäude stehen hier mit einem etwas höheren Anteil der Fensterflächen (55 Prozent) gegenüber ihrem Anteil an den Wohnflächen (51 Prozent) hervor. Das kann durch eine größere Anzahl an Fenstern aufgrund der Bauweise oder durch größere Flächen pro Fenster erklärt werden.

Tab. 2-37: Gesamte Dachflächen im Gebäudebestand nach Landkreisen und Gebäudetypen aufsummiert über alle Baualtersklassen

in m² Bauteilfläche; Quelle: eigene Berechnungen auf Basis von Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. (2015)

| Gebäudetyp | SFH | TH | MFH | AB | Summe |
|-------------------------------|-------------------|------------------|------------------|---------------|-------------------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 3.515.252 | 306.187 | 198.969 | 6.323 | 4.020.408 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 2.547.307 | 109.625 | 201.330 | 1.914 | 2.858.263 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 1.899.697 | 79.097 | 158.745 | 1.290 | 2.137.540 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 2.369.570 | 64.533 | 154.677 | 1.758 | 2.588.779 |
| Stadt Cottbus (BB) | 830.489 | 87.740 | 167.914 | 3.907 | 1.086.143 |
| LK Bautzen (SN) | 5.196.917 | 303.310 | 583.132 | 9.337 | 6.083.359 |
| LK Görlitz (SN) | 4.373.012 | 208.342 | 792.373 | 50.039 | 5.373.727 |
| Summe | 20.732.244 | 1.158.835 | 2.257.140 | 74.568 | 24.148.219 |

2.5.1.2 Sanierungszustand und -raten

Für die Abschätzung der Sanierungspotenziale und der damit einhergehenden regionalökonomischen Effekte wird zuerst der Sanierungszustand des Gebäudebestands der Wohn- und Nichtwohngebäude abgeschätzt. Ausgehend vom Sanierungszustand werden verbleibende Sanierungsbedarfe abgeleitet. Für diese Sanierungsbedarfe werden dann mehrere Entwicklungspfade für die potenziellen Sanierungstätigkeiten beschrieben. Ausgehend von einem Referenzszenario mit aktuellen durchschnittlichen Sanierungsraten werden darüber hinaus gehende ambitioniertere Sanierungsraten angenommen und die sich daraus ergebenden Sanierungstätigkeiten sowie die damit verbundenen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte ermittelt.

Für die Beschreibung des Sanierungszustandes der Wohngebäude in der Lausitz werden frühere Analysen des IÖW im Rahmen des vom BMBF geförderten Forschungsprojektes „Gebäudeenergiegewende“ herangezogen und diese mit aktuelleren Studien validiert. In Dunkelberg und Weiß (2015) werden Kennzahlen zum Gebäudebestand und den Sanierungszuständen für die Planungsregion Lausitz-Spreewald beschrieben. Aufgrund der räumlichen Nähe werden die vorliegenden Sanierungszustände und -raten des brandenburgischen Teils der Lausitz vereinfachend auch auf die Landkreise Bautzen und Görlitz in Sachsen übertragen. Im Folgenden werden die Sanierungszustände der Gebäude in den IWU-Baualtersklassen von „Vor 1859, 1860-1918“ bis „1984-1994“ vorgestellt.

Dunkelberg und Weiß haben 2015 einen Datensatz der co2online gGmbH hinsichtlich der Energieverbräuche und Sanierungszustände von Wohngebäuden regionsspezifisch ausgewertet.⁷⁴ Tab. 2-38 zeigt den Anteil an Ein- und Zweifamilienhäusern, die bis 1990 erbaut wurden und nach 1990 energetisch sanierte Bauteilflächen aufweisen. Dabei werden die beiden Baualtersklassen-Gruppen „bis 1948“ und „1949-1990“ differenziert sowie die Gebäudetypen.

Tab. 2-38: Anteil der bis 1990 erbauten EZFH mit nach 1990 energetisch sanierten Bauteilen im brandenburgischen Teil der Lausitz im Jahr 2014

in Prozent; Quelle: Ausschnitt aus Dunkelberg und Weiß (2015 Tab. 3.3, S.16)

| Baualter | Kellerdecke | Fenster | Außenwand | Dach | Oberer Gebäudeabschluss |
|-----------|-------------|---------|-----------|------|-------------------------|
| bis 1948 | 7 % | 80 % | 31 % | 40 % | 17 % |
| 1949-1990 | 9 % | 74 % | 22 % | 43 % | 8 % |

Es wird deutlich, dass die Fenster bei beiden Baualtersklassen-Gruppen bereits größtenteils ausgetauscht wurden. Die Dachflächen sind jeweils fast zur Hälfte saniert, die Außenwandflächen zu einem Drittel (bis 1948) bzw. zu circa einem Fünftel (1949-1990). Der obere Gebäudeabschluss (OG, Geschosdecke) ist bei älteren Gebäuden mit Baujahr bis 1948 mit 17 Prozent der gesamten Gebäude öfter saniert als bei jüngeren Gebäuden mit nur 8 Prozent. Das ist eventuell durch den größeren Nutzungsgrad des Dachgeschosses bei jüngeren Gebäuden begründet und wird durch den höheren Anteil der sanierten Dächer in dieser Baualtersklasse gestützt.

Der Datensatz wertet lediglich die Dämmung der Kellerdecke von oben als untersten Gebäudeabschluss aus. Werte zu gedämmten Bodenplatten (bspw. bei fehlenden oder bewohnten Kellergeschoss) fehlen. Da die nachträgliche Umsetzbarkeit einer solchen Maßnahme massive Einschränkungen (bspw. zeitweise unbewohnbares Erdgeschoss) bedeuten, ist davon auszugehen, dass diese Sanierungsmaßnahme selten durchgeführt wurde bzw. wird. Die Kellerdecke ist bei älteren Wohngebäuden zu insgesamt 7 Prozent saniert und bei jüngeren Gebäuden zu 9 Prozent.

⁷⁴ Der Datensatz entstand durch freiwillige Eingaben von Gebäudeeigentümerinnen und -eigentümern, Hausverwaltungen sowie Mieterinnen und Mietern in den interaktiven Bewertungstools der co2online gGmbH (bspw. Modernisierungsratgeber, HeizCheck und Heizgutachten). Für den brandenburgischen Teil der Lausitz wurden 2015 insgesamt 2.931 Datensätze (alle Wohngebäudetypen) ausgewertet (Dunkelberg und Weiß 2015).

Tab. 2-39: Durchschnittliche jährliche Sanierungsraten der bis 1990 erbauten Ein- und Zweifamilienhäuser

in Prozent; Quelle: Dunkelberg und Weiß (2015 Tab. 3.3, S.16)

Anmerkung: Mittelwert der energetischen Sanierungen zwischen 1990-2009 in der brandenburgischen Lausitz

| | Außenwand | Dach | OG | Kellerdecke | Fenster | Heizung |
|--------------------------|------------------|-------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|
| Brandenburgische Lausitz | 1,1 % | 1,7 % | 0,5 % | 0,4 % | 3,1 % | 2,7 % |
| Deutschland | 0,5 % | 1,1 % | 0,4 % | 0,2 % | 1,6 % | 2,3 % |

Diese Informationen zum Sanierungszustand werden mit den derzeit verfügbaren Sanierungsraten in der Region bis zum Jahr 2020 validiert. Die aktuellsten Sanierungsraten liegen dabei aus einer Studie des Instituts Wohnen und Umwelt (IWU) vor (Cischinsky und Diefenbach 2018).

Die erhobenen Daten umfassen sowohl Ein- und Zweifamilien- als auch Mehrfamilienhäuser, so dass die Sanierungsraten nicht nach Gebäudetypen unterschieden werden. Die Sanierungsraten für Gebäude mit Baujahren ab 1979 liegen in der verwendeten Quelle nicht differenziert nach alten und neuen Bundesländern vor. Hier wurde stattdessen angenommen, dass das Verhältnis zwischen den Sanierungsraten für Gebäude mit den Baujahren bis 1978 und für Gebäude mit Baujahren nach 1978 in den neuen Bundesländern ebenso hoch ist wie im bundesweiten Durchschnitt. Dieses Verhältnis wurde dann auf die vorliegenden Sanierungsquoten für Gebäude mit Baujahren bis 1978 angewandt. In Tab. 2-40 wird deutlich, dass die Sanierungsraten für ältere Gebäude über alle Gebäudehüllflächen höher liegt als für Gebäude jüngeren Alters. Die höchsten Sanierungsraten liegen demnach für die Heizungsanlagen vor, die in der Regel auch eine kürzere Lebensdauer aufweisen als Dämmungen der Gebäudehülle. Unter den Dämmmaßnahmen haben Dachflächen und der obere Gebäudeabschluss die höchste Sanierungsrate, dicht gefolgt von den Fenstern. Andere Quellen, wie bspw. Dunkelberg und Weiß (2015, S. 17 Tab. 3.4) weisen für die Fenster deutlich höhere Sanierungsraten auf. Es ist allerdings anzunehmen, dass bei dem gleichzeitig sehr hohen Sanierungsstand der Fenster von 80 Prozent im Jahr 2014 (s. Tab. 2-38) auch die Sanierungsraten sinken. Daher wird an den Zahlen von Cischinsky und Diefenbach (2018) festgehalten.

Tab. 2-40: Durchschnittliche jährliche Sanierungsraten der bis 2011 erbauten Gebäude in den neuen Bundesländern in den Jahren 2013 bis 2015

in Prozent; Quelle: Cischinsky und Diefenbach (2018, S.73, 74, 88 und 125), tlw. eigene Berechnungen

| Baujahre | Außenwand | Dach/OG | Kellerdecke | Fenster | Heizung |
|-----------------|------------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|
| bis 1978 | 0,94 % | 1,59 % | 0,58 % | 1,38 % | 2,65 % |
| ab 1979 | 0,69 % | 1,09 % | 0,41 % | 1,05 % | 2,21 % |

Mit den erarbeiteten Sanierungsraten der Gebäudehüllflächen und der Heizungsanlagen ergibt sich der Sanierungszustand im Jahr 2018 wie in Tab. 2-41 gezeigt.

Tab. 2-41: Anteil der bis 1990 erbauten EZFH mit nach 1990 energetisch sanierten Bauteilen in der Planungsregion Lausitz-Spreewald im Jahr 2018

in Prozent; Quelle: Ausschnitt aus Dunkelberg und Weiß (2015 Tab. 3.3, S.16), fortgeschrieben mit Daten aus Cischinsky und Diefenbach (2018)

| Baualter | Kellerdecke | Fenster | Fassade | Dach | Oberer Gebäudeabschluss |
|-----------|-------------|---------|---------|------|-------------------------|
| bis 1948 | 9 % | 86 % | 35 % | 46 % | 23 % |
| 1949-1990 | 11 % | 79 % | 25 % | 48 % | 13 % |

Das Verhältnis höherer Anteile sanierter Kellerdecken und Dächer bei den jüngeren Gebäuden (Baujahr ab 1949) bleibt auch nach dieser Fortschreibung bis 2018 erhalten. Bei den Fenstern, der Fassade und der obersten Geschossdecke sind die Anteile sanierter Flächen bei den älteren Gebäuden (Baujahr bis 1948) höher.

Ähnliche Daten finden sich in Dunkelberg und Weiß (2015) für Mehrfamilienhäuser (s. Tab. 2-42 und Tab. 2-43). Demnach sind in der Region bei den meisten MFH-Gebäuden die Gebäudehüllflächen und die Heizsysteme in den letzten 15 Jahren ausgetauscht worden. Bis 2018 fortgeschrieben mit den Sanierungsraten aus Tab. 2-40 ergeben sich für die Fenster und die Heizsysteme 100 Prozent sanierte Gebäude innerhalb der letzten 20 Jahre und für die Dachflächen bereits ca. 94 %.

Tab. 2-42: Anteil der bis 1990 erbauten MFH mit nach 1990 energetisch sanierten Bauteilen in der Planungsregion Lausitz-Spreewald im Jahr 2014

in Prozent, Quelle: Ausschnitt aus Dunkelberg und Weiß (2015 Tab. 3.7, S.20)

| | Dach | Fassade | Fenster | Keller | Heizsystem |
|--|------|---------|---------|--------|------------|
| Saniert in den letzten 15 Jahren | 88 % | 84 % | 97 % | 76 % | 96 % |
| Unsanieret oder Sanierung älter als 15 Jahre | 12 % | 16 % | 3 % | 24 % | 4 % |

Tab. 2-43: Anteil der bis 1990 erbauten MFH mit nach 1990 energetisch sanierten Bauteilen in der Planungsregion Lausitz-Spreewald im Jahr 2018

in Prozent, Quelle: bis 2018 fortgeschriebene Daten aus Dunkelberg und Weiß (2015 Tab. 3.7, S.20)

| | Dach | Fassade | Fenster | Keller | Heizsystem |
|----------------------------------|--------|---------|---------|--------|------------|
| Saniert in den letzten 15 Jahren | 93,8 % | 87,5 % | 100,0 % | 78,1 % | 100,0 % |

Dunkelberg und Weiß (2015, S.19ff.) kommen allerdings aufgrund der relativ hohen spezifischen Heizenergieverbräuche der teil- und vollsanierten MFH-Gebäude in der Planungsregion Lausitz-Spreewald zu dem Schluss, dass die Sanierungsaktivitäten nicht den heutigen Standards entsprechen. Die so ermittelten bereits sanierten Gebäudehüllflächen bedeuten also nicht unbedingt einen mit Blick auf das Ziel der Klimaneutralität ausgerichteten und somit ausreichend hohen Dämmstandard. Wie auch in weiten Teilen der neuen Bundesländer insgesamt wurden auch in der Lausitz nach der deutschen Wiedervereinigung in den 1990er Jahren umfangreiche Sanierungsaktivitäten im Gebäudebestand vorgenommen (vgl. Cischinsky und Diefenbach 2018, S.50). Diese dürften in Bezug auf die Dämmstandards überwiegend den damals gültigen Wärmeschutzverordnungen 1982 und 1995 entsprochen haben (vgl. Mählmann 2021), weshalb die Heizenergieverbräuche der teilsanierten aber auch der vollsanierten Gebäude mit deutlich über 100 kWh/m² noch weit über den notwendigen Zielwerten für einen klimaneutralen Gebäudebestand liegen dürften (vgl. Dunkelberg und Weiß 2015, S.21). Insofern sollte ein Teil der bereits sanierten Gebäude den Potenzialen zukünftiger Sanierungsaktivitäten hinzugerechnet werden, da ihre Wärmebedarfe nochmals deutlich gesenkt werden müssen. Tab. 2-44 zeigt auf, welche Anteile der Gebäudehüllflächen entsprechend der vorliegenden Informationen über den aktuellen Sanierungszustand und über die bisherigen Sanierungsraten in den neuen Bundesländern vor dem Inkrafttreten der ersten Energieeinsparverordnung im Jahr 2002 saniert wurden. Diese Werte werden im weiteren Verlauf für den gesamten Wohngebäudebestand der Lausitz angewandt.

Tab. 2-44: Anteil der bis 1990 erbauten MFH mit nach 1990 und bis zum Jahr 2001 energetisch sanierten Bauteilen in der Planungsregion Lausitz-Spreewald

in Prozent; Quelle: Daten aus Dunkelberg und Weiß (2015 Tab. 3.7, S.20) und Sanierungsraten aus Cischinsky und Diefenbach (2018, S.74 und 88)

| | Dach | Fassade | Fenster | Keller | Heizsystem |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|------------|
| Saniert bis einschl. 2001 | 61,80 % | 71,11 % | 92,76 % | 67,34 % | 75,40 % |

Es wird deutlich, dass neben den sehr hohen Anteilen sanierter Fenster auch die Dächer, Außenwände und Kellerdecken bereits in 2001 hohe Anteile sanierter Flächen aufweisen, für die jedoch vergleichsweise geringe Dämmstandards angenommen werden müssen. Da Fenster in der Regel eine geringere Lebensdauer aufweisen und bis zum Bewertungsjahr 2040 auch die längeren Lebensdauern der Dach-, Außenwand- und Kellerdeckenflächen abgelaufen sein werden, wird der durchschnittliche Anteil der Sanierungsmaßnahmen dieser langlebigen Gebäudehüllflächen herangezogen, um im weiteren Verlauf den Anteil der nochmals zu sanierenden Gebäude am gesamten

Sanierungspotenzial zu bestimmen. Bei den Mehrfamilienhäusern beträgt dieser Anteil circa zwei Drittel des gesamten Gebäudebestandes, bei den Ein- und Zweifamilienhäusern 21 bis 25 Prozent (je nach Baualtersklasse ab und vor 1949).

2.5.2 Potenziale

Aus den Informationen zu bereits sanierten Anteilen der Gebäudehüllflächen der Wohngebäude in der Region (vgl. vorhergehender Abschnitt) ergeben sich im Umkehrschluss die noch nicht sanierten Gebäudehüllflächen, die wiederum als Potenziale für zukünftige Sanierungsmaßnahmen interpretiert werden. Tab. 2-45 zeigt diese ermittelten Potenziale auf. Es wird deutlich, dass gemessen an der jeweiligen Hüllfläche die Außenwände das größte Potenzial für Sanierungsmaßnahmen aufweisen, gefolgt von den Kellerdecken und Dachflächen. Die Fenster bieten aufgrund der bereits weitreichend umgesetzten Sanierungen vergleichsweise geringe Potenziale auf, ebenso der obere Gebäudeabschluss, der aufgrund der weit verbreiteten beheizten Dachgeschosse in den SFH- und TH-Gebäuden nicht als Teil der äußeren Gebäudehülle gilt (IWU 2020). Mit einem Anteil von jeweils fast 50 Prozent verteilen sich die Potenziale ähnlich auf den sächsischen Teil der Lausitz, analog zu den Bevölkerungszahlen.

Tab. 2-45: Im Jahr 2018 noch unsanierte Gebäudehüllflächen in der Lausitz nach Landkreisen und Gebäudebauteilen

in m² Gebäudehüllfläche; Quelle: eigene Berechnungen

| Landkreise | Dach | Oberer Gebäudeabschluss | Außenwand | Kellerdecke | Fenster |
|-------------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 1.985.846 | 176.453 | 4.110.035 | 2.375.144 | 214.080 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 1.384.634 | 168.977 | 2.881.105 | 1.703.428 | 148.848 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 1.031.779 | 253.576 | 2.303.713 | 1.422.924 | 118.529 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 1.266.649 | 290.426 | 2.714.924 | 1.631.067 | 140.428 |
| Stadt Cottbus (BB) | 484.669 | 85.162 | 1.122.720 | 710.171 | 54.630 |
| LK Bautzen (SN) | 2.876.781 | 535.369 | 6.403.589 | 3.630.503 | 320.468 |
| LK Görlitz (SN) | 2.415.339 | 407.820 | 5.428.706 | 2.932.802 | 259.333 |
| Summe | 11.445.697 | 1.917.783 | 24.964.792 | 14.406.039 | 1.256.315 |

Auffällig ist weiterhin, dass die sanierungsbedürftigen Anteile der Dachflächen im Vergleich zu den Flächen der obersten Geschossdecke vermehrt in den Landkreisen Dahme-Spreewald und Spree-

Neiße vorliegen, während die Anteile der sanierungsbedürftigen obersten Geschossdecke in den Landkreisen Oberspreewald-Lausitz und Elbe-Elster höher sind. Das ist auf den höheren Anteil an SFH-Gebäuden in den Landkreisen Dahme-Spreewald und Spree-Neiße zurückzuführen, deren oberstes Geschoss eher genutzt und damit auch beheizt wird. Hier wird also eher die Dachfläche statt der obersten Geschossdecke gedämmt. Da die Dachdämmung einen höheren technischen Aufwand und damit auch höhere Kosten aufweist, ist zu erwarten, dass sich hier auch höhere Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte ergeben. Dieses Beispiel zeigt auf, dass Wertschöpfung und Beschäftigung als potenziell positive Effekte der Sanierungstätigkeiten dargestellt werden können, während sie zugleich mit den zugrundeliegenden Kosten auch die Eigentümer und Eigentümerinnen der Gebäude belasten. Für ein vollständiges Bild regionalökonomischer Wirkungen von Effizienzmaßnahmen im Gebäudebereich sind also beide Seiten zu betrachten.

In Tab. 2-46 werden diese noch nicht sanierten Flächen um die Gebäudehüllflächen derjenigen Gebäude ergänzt, die vor 2002 saniert wurden und daher ungenügende Sanierungsstandards mit Blick auf die Klimaneutralitätsziele aufweisen. Gegenüber den noch gar nicht sanierten Flächen steigen die Potenziale durchschnittlich über alle Gebäudetypen und Landkreise hinweg, beispielsweise für Dachflächen um 39 Prozent und für die oberste Geschossdecke um 66 Prozent. Hier ist der Unterschied zwischen den beiden Flächenkategorien vor allem durch die unterschiedlich hohen Sanierungsaktivitäten bei SFH und MFH gegeben. Während Dachflächen bei den SFH in geringerem Maße oder erst später nach 2001 umfassend saniert wurden, wurden gerade die obersten Geschossdecken der MFH in deutlich schnellerem Tempo in den 1990er-Jahren saniert und müssten zum Erreichen der Klimaneutralitätsziele bis 2040 nochmals saniert werden.

Gleiches gilt für die Fensterflächen, die gegenüber den unsanierten Flächenanteilen einen Anstieg um 117 Prozent durch Hinzurechnen der nochmals sanierungsbedürftigen Flächen erfahren. Bei der Außenwand und der Kellerdecke liegen diese Anteile nochmals sanierungsbedürftiger Flächen bei 28 bzw. 27 Prozent.

Tab. 2-46: Im Jahr 2018 noch unsanierte Gebäudehüllflächen und nochmals sanierungsbedürftige Gebäude mit Sanierungsaktivitäten vor 2001 in der Lausitz nach Landkreisen und Gebäudebauteilen

in m² Gebäudehüllfläche; Quelle: eigene Berechnungen

| Landkreise | Dach | Oberer Gebäudeabschluss | Außenwand | Kellerdecke | Fenster |
|-------------------------------|-----------|-------------------------|-----------|-------------|---------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 2.635.027 | 288.070 | 4.973.364 | 2.883.383 | 391.347 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 1.878.190 | 275.966 | 3.591.881 | 2.107.207 | 293.561 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 1.437.170 | 437.754 | 3.022.087 | 1.859.435 | 274.132 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 1.804.292 | 417.374 | 3.463.520 | 2.088.049 | 297.438 |

| Landkreise | Dach | Oberer Gebäudeabschluss | Außenwand | Kellerdecke | Fenster |
|--------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Stadt Cottbus (BB) | 648.200 | 206.293 | 1.523.953 | 936.743 | 141.993 |
| LK Bautzen (SN) | 4.025.217 | 874.570 | 8.251.330 | 4.654.618 | 703.487 |
| LK Görlitz (SN) | 3.511.726 | 686.944 | 7.181.985 | 3.836.289 | 618.049 |
| Summe | 15.939.823 | 3.186.971 | 32.008.120 | 18.365.724 | 2.720.008 |

Die hier vorgestellten potenziellen Gebäudehüllflächen der Wohngebäude für weitere Sanierungsaktivitäten in der Lausitz entsprechen je nach Gebäudehüllfläche 31 Prozent (Fenster) bis 89 Prozent (Kellerdecke) der gesamten Flächen des Gebäudebestandes. Der gewichtete Mittelwert über alle Gebäudehüllflächen hinweg beträgt 70 Prozent und stellt somit einen großen Teil des gesamten Gebäudebestandes dar. Um eine Basis für die regionalökonomische Bewertung dieser Sanierungspotenziale mit dem Fokus auf das Jahr 2040 zu generieren, werden im weiteren Verlauf verschiedene Szenarien zur Entwicklung der Sanierungsraten beschrieben.

2.5.3 Szenarien

Zentraler Parameter der hier vorgenommenen Abschätzung der Sanierungsaktivitäten in der Lausitz im Jahr 2040 ist die für dieses Jahr anzunehmende Sanierungsrate, also derjenige Anteil des Gebäudebestandes, der in diesem Jahr saniert wird. Im Idealfall können Sanierungsraten für die verschiedenen Gebäudetypen und die Gebäudehüllflächen differenziert festgelegt werden. Die schwierige Datenlage zu Sanierungsaktivitäten im Allgemeinen und zu regionalspezifischen Aktivitäten im Besonderen führen hier allerdings zu vereinfachten Annahmen auf Basis von Klimaschutzszenarien aus mehreren Literaturquellen. So werden die Sanierungsraten als äquivalente Vollsanierungsraten verstanden, so dass keine Differenzierung nach Gebäudehüllflächen notwendig ist. Für die Differenzierung der Gebäudetypen werden die Informationen aus verschiedenen Literaturquellen kombiniert.

Das **Current Policies-Szenario** schreibt hier als „business-as-usual“-Szenario die aktuelle Entwicklung fort und bildet somit die Wirkung der aktuell gültigen technischen und politischen Rahmenbedingungen ab. Dazu gehören sowohl die Dämmstandards nach dem aktuellen Gebäudeenergiegesetz als auch die Förderprogramme zur finanziellen Unterstützung von Eigentümern und Eigentümerinnen der Gebäude bei der Sanierung von Wohngebäuden. Dunkelberg und Weiß (2015) zeigen bauteilspezifische Sanierungsraten für die Wohngebäude des brandenburgischen Teils der Lausitz auf, aus denen sich unter Ansatz der Flächengewichte nach Cischinsky und Diefenbach (2018) eine äquivalente Vollsanierungsrate von ca. 0,7 Prozent für den Zeitraum von 2005 bis 2009 ableiten lässt. Da nach Dunkelberg und Weiß (2015) in der Region bis 2009 eine eher sinkende Tendenz der Sanierungsaktivitäten zu erkennen ist und nach Cischinsky und Diefenbach (2018) auch bundesweit keine deutlich höheren Sanierungsraten bis 2016 festgestellt werden, wird dieser Wert als Ausgangszustand im Status quo der gesamten Lausitz im Jahr 2018 festgehalten.

In Sterchele et al. (2020) wird ein Referenzszenario beschrieben, dem im Rahmen der in der Studie vorgenommenen Kostenoptimierung in der Ausgangssituation im Jahr 2020 eine minimale Sanierungsrate von 1 Prozent und eine maximale Sanierungsrate, die bis 2050 auf bis zu 3 Prozent steigt, als einzuhaltende Randbedingung zugrunde gelegt wird. Im Durchschnitt der Jahre 2020 bis 2050 erreicht das Referenzszenario in den Kostenoptimierungen eine Sanierungsrate von 1,4 Prozent. Aus diesen Werten wird **für das Jahr 2040 eine Sanierungsrate in Höhe von 1,6 Prozent** abgeleitet, die im Folgenden für das hier zu bewertende *Current Policies*-Szenario der Gebäudesanierungen in der Lausitz im Jahr 2040 verwendet wird.

Im zweiten Szenario, dem ***Klimaneutral 2045-Szenario***, werden dagegen höhere Sanierungsraten angenommen, die darauf ausgelegt sind, die klima- und energiepolitischen Ziele zu erreichen. Dafür wird das GreenSupreme-Szenario der RESCUE-Studie des Umweltbundesamtes herangezogen (Purr et al. 2019). Darin wird eine Steigerung der Sanierungsrate auf bis zu 3,9 Prozent bis ins Jahr 2050 angenommen, die durch die konsequente Nutzung technologischer Innovationen und einer Verbreitung nachhaltiger Lebensstile erreicht wird. Für das Jahr 2040 wird in diesem Szenario **eine Sanierungsrate von 3,3 Prozent** unterstellt, die im Folgenden für das hier zu bewertende ***Klimaneutral 2045-Szenario*** der Gebäudesanierung in der Lausitz im Jahr 2040 verwendet wird. Unter Berücksichtigung des Entwicklungspfades der Sanierungsraten und der potenziellen Endenergieeinsparungen der Sanierungsaktivitäten wären so im *Klimaneutral 2045-Szenario* im Jahr 2040 ca. 70 Prozent des Gebäudebestandes saniert. Damit würden auch die aktuellen Vorschläge zu den Einsparzielen der EU im Rahmen der *renovation wave* und dem *fit for 55* Maßnahmenpaket in Höhe von 36 Prozent bis 2030 erreicht.⁷⁵

Da Eigentümer und Eigentümerinnen von Ein- und Zweifamilienhäusern und von Mehrfamilienhäusern unterschiedliche Beweggründe für Sanierungen, unterschiedliche Voraussetzungen (wie zum Beispiel finanzielle Möglichkeiten) und damit auch unterschiedliche Aktivierungspotenziale haben, werden die oben abgeleiteten Sanierungsraten für die verschiedenen Gebäudetypen der IWU-Systematik ausdifferenziert. Dabei wird die gebäudetypische Differenzierung aus den Langfristszenarien des BMWi (Bernath et al. 2017, S.124) verwendet. Aus den abgeleiteten Werten in Tab. 2-47 wird deutlich, dass die Sanierungsraten für Ein- und Zweifamilienhäuser (SFH) und für Reihenhäuser (TH) unter den Sanierungsraten für Mehrfamilienhäuser liegen (MFH und AB), die absoluten Unterschiede zwischen den Szenarien aber bei allen Gebäudetypen bestehen bleiben.

⁷⁵ Vorgeschlagen wird eine Endenergieverbrauchseinsparung in Höhe von 36 % bis 2030 (Europäische Kommission 2021, S.33, Erwägungsgrund 22). Unter der Annahme, dass mit einer ambitionierten Gebäudesanierung ca. 70 % des Endenergieverbrauchs für Raumwärme und Warmwasser eingespart werden kann, werden mit den angenommenen Sanierungsraten bis 2030 ca. 38 % Endenergie eingespart und das vorgeschlagene Ziel bei der Wärmeversorgung der Wohngebäude erreicht.

Tab. 2-47: Sanierungsraten im *Current Policies*-Szenario und im *Klimaneutral 2045*-Szenario im Jahr 2040 differenziert nach Gebäudetypen

Quelle: eigene Berechnung unter Verwendung von Daten aus Sterchele et al. (2020, S.41ff.) und Bernath et al. (2017, S.124)

| Gebäudetyp | SFH | TH | MFH | AB |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| <i>Current Policies</i> | 1,4 % | 1,5 % | 1,6 % | 1,6 % |
| <i>Klimaneutral 2045</i> | 3,1 % | 3,2 % | 3,2 % | 3,4 % |

Zusätzlich zu den gebäudetypspezifischen Sanierungsraten wird übergreifend für alle Gebäude der Anteil ambitionierter Sanierungstiefen unter den im Jahr 2040 sanierten Gebäuden festgelegt. Als ambitionierte Sanierungstiefe gilt dabei ein Dämmstandard, der sich am Passivhausstandard orientiert und damit noch geringere Energieverbräuche als der Effizienzhaus 55-Standard aufweist, während die restlichen Sanierungsaktivitäten die geringeren Mindestanforderungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) erfüllen. Im *Current Policies*-Szenario kann mit einem Anteil ambitionierter Sanierungen an den Sanierungsaktivitäten von 33 Prozent im Jahr 2040 eine durchschnittliche Heizwärmereduktion von 50 Prozent erreicht werden. Im *Klimaneutral 2045*-Szenario dagegen liegt der Anteil ambitionierter Sanierungen an den Sanierungsaktivitäten im Jahr 2040 mit 70 Prozent deutlich höher, so dass eine durchschnittliche Heizwärmereduktion von 60 Prozent erreicht wird.

Tab. 2-48: Im Jahr 2040 sanierte Gebäude im *Current Policies*-Szenario und im *Klimaneutral 2045*-Szenario

Quelle: eigene Berechnung

| Sanierungsszenario | SFH | TH | MFH | AB | Summe |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|----|-------|
| <i>Current Policies</i> | 2.874 | 661 | 660 | 33 | 4.228 |
| ... davon nach GEG Standard | 1.932 | 444 | 444 | 22 | 2.841 |
| ... davon nach KfW-55 oder besser | 943 | 217 | 217 | 11 | 1.387 |
| <i>Klimaneutral 2045</i> | 6.364 | 1.410 | 1.321 | 70 | 9.165 |
| ... davon nach GEG Standard | 636 | 141 | 132 | 7 | 916 |
| ... davon nach KfW-55 oder besser | 5.728 | 1.269 | 1.189 | 63 | 8.248 |

Es wird deutlich, dass die Sanierungsaktivitäten im Szenario *Klimaneutral 2045* mehr als das Doppelte des *Current Policies*-Szenarios betragen. Ebenso sind im *Klimaneutral 2045*-Szenario die Anteile ambitioniert sanierter Gebäude höher. Entsprechend des jeweiligen Wohngebäudebestands in der Lausitz bzw. in den einzelnen Landkreisen nehmen die Ein- und Zweifamilienhäuser (SFH) auch unter den Sanierungsaktivitäten den jeweils größten Anteil ein. Hier sind also entsprechend

hohe Sanierungsumfänge beispielsweise bei den Dachflächen zu erwarten, da diese in Relation zur beheizten Wohnfläche höher ausfallen als bei Mehrfamiliengebäuden.

Aus diesen Sanierungsszenarien werden jeweils Sanierungsaktivitäten an den einzelnen Gebäudehüllflächen abgeleitet, die dann als Input für die regionalökonomische Bewertung dienen. Diese Inputdaten werden im Abschnitt 3.2.3.3 beschrieben.

2.5.4 Fazit und Empfehlungen

Der energetischen Sanierung der Gebäude kommt in der Lausitz wie auch bundesweit eine wichtige Rolle zu, um den Wärmesektor erfolgreich zu dekarbonisieren und damit einen wichtigen Beitrag für das Gelingen der Energiewende zu leisten. Gerade mit Blick auf die Energiebedarfe im Strom- und Verkehrssektor und aufgrund der höheren Flächenbedarfe beim Einsatz von EE-Strom für Wärmepumpen kommen viele Studien zu dem Schluss, dass hohe Anteile des Gebäudebestands energetisch zu sanieren sind (vgl. bspw. Sterchele et al. 2020; Prognos et al. 2021). Daher müssen die bisher deutlich zu geringen **Sanierungsraten dringend gesteigert werden**. In den neuen Bundesländern waren die Sanierungsraten zwar nach der Wiedervereinigung zeitweise relativ hoch, sind aber mittlerweile (wie auch bundesweit) deutlich abgesunken und stagnieren seit mehreren Jahren auf einem unzureichenden Niveau von etwa einem Prozent. Zudem sind die meisten der in den 1990er Jahren sanierten Gebäude auf dem Weg zur Klimaneutralität erneut energetisch zu ertüchtigen. Im hier untersuchten Wohngebäudebestand bestehen dabei mehrere Hemmnisse.

Grundsätzlich braucht es eine Verstärkung der **Fördermittel** auf Bundesebene, welche sowohl für die Eigentümer und Eigentümerinnen der Gebäude als auch für die beteiligten Handwerksunternehmen die Planungssicherheit deutlich erhöht. Zudem sind insbesondere für Gebäude, bei welchen die Wirtschaftlichkeit aufgrund verschiedenster Faktoren nicht oder nur unsicher gegeben ist oder Probleme der Gebäudeeigentümerinnen und -Eigentümer für eine entsprechende Finanzierung bestehen, flankierende Landesfördermittel erforderlich, um die Sanierungstätigkeiten anzureizen und Lock-in-Effekte in unzureichende Dämmstandards und fossile Wärmeerzeuger zu verhindern. Letztere sind unmittelbar aus allen Förderungen zu streichen, ihr Einbau ist so zeitnah wie möglich zu untersagen. Zusätzliche kommunale Fördermittel sollten als Zuschussförderung ausgestaltet werden und mit anderen Fördermitteln kombinierbar sein, so können große Anreize geschaffen werden (Deutscher Verband für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung e.V. 2021).

In den Gebäuden mit vermieteten Wohneinheiten können Sanierungsmaßnahmen durch die gesetzlich geregelte Modernisierungumlage auf die Mieter und Mieterinnen zu unerwünschten sozioökonomischen Belastungen bis hin zu Verdrängungseffekten führen oder im Falle ausbleibender Sanierungen den Wechsel auf erneuerbare Wärmequellen mit weniger stark steigenden Heizkosten verhindern (**Mieter-Vermieter-Dilemma**). Dabei erscheinen weniger ambitionierte und daher günstigere Sanierungsniveaus auf den ersten Blick mieterfreundlicher umsetzbar zu sein. Jedoch können die höheren Heizkosteneinsparungen ambitionierter Sanierungsniveaus oftmals die höheren Investitionskosten bzw. Umlagebelastungen kompensieren. Nicht zuletzt bieten auch die höheren Förderanteile für ambitionierte Sanierungen die Möglichkeit, Belastungen für Mieter und Mieterinnen zu begrenzen (vgl. hierzu bspw. Bergmann et al. 2021). Voraussetzung dafür ist allerdings die Inanspruchnahme der bestehenden Fördermittel, um die Umlagekosten zu senken. Dafür bedarf es wiederum entsprechender Beratungs- und Informationsangebote für die Eigentümer und Eigentümerinnen der Gebäude. Bezüglich der Sozialverträglichkeit der Wärmewende ist primär der Bundesgesetzgeber gefordert, faire Umlagen und Ausgleichsmechanismen zu gestalten (beispielsweise Sanierungumlage, Aufteilung des CO₂-Preises zwischen Mietern und Vermietern etc.). Die

Bundesländer können hier allerdings ergänzende zielgruppenspezifische Regelungen, bspw. für zusätzliche Förderungen erlassen, um Warmmietenneutralität annähernd zu erreichen – und im Gegenzug eine hinreichend ambitionierte Sanierung zu verlangen. Die Region Lausitz selbst sollte über ausreichende Beratungsstrukturen verfügen, um das Thema Sanierungsberatung und Warmmietenneutralität in der Region zu verbreiten. Eine regionale Verankerung bspw. in einer regionalen Energieagentur oder noch spezifischer einem Bauinfozentrum ist empfehlenswert, um eine Anlaufstelle zu etablieren und Informationsmaterialien sowie konkrete, auch aufsuchende Beratungsangebote mit Umsetzungsbegleitung anzubieten. Zugleich kann eine solche Stelle mit entsprechender Aufklärungsarbeit die Akzeptanz für Sanierungsmaßnahmen steigern, indem der Zusammenhang zwischen Umwelteffekten und persönlichen Kosteneinsparungen verdeutlicht wird. Mit Blick auf die neuerliche CO₂-Bepreisung können und müssen die Kosteneffekte auch den Mieterinnen und Mietern mit Informationskampagnen und Beratungsangeboten verdeutlicht werden (Deutscher Verband für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung e.V. 2021).

Unter den Wohnungsbesitzerinnen und -besitzern in Brandenburg liegt der Anteil der Hauptverdienenden, die 45 Jahre und älter sind, mit 82 Prozent um über 19 Prozentpunkte über dem Anteil unter den Mieterhaushalten (vgl. Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2019d). Den **Hemmnissen, denen ältere Wohnungsbesitzerinnen und -besitzer zur Durchführung von Sanierungsmaßnahmen gegenüberstehen**, wie beispielsweise unklare Nutzungsdauern und Nachnutzungsperspektiven sowie die oftmals fehlende Bereitschaft oder Möglichkeit nochmals Kredite für diese Investitionen aufzunehmen, muss mit spezifischen Angeboten begegnet werden. Dazu gehören Beratungen und Informationen über die Förder- und Sanierungsmöglichkeiten (vgl. hierzu bspw. Fromholz et al. 2019). Derartige Maßnahmen könnten auch den rund 40 Prozent der Wohnungsbesitzerinnen und -besitzern mit noch offenen Immobilienkrediten in Brandenburg und Sachsen (vgl. Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2019d; Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen 2021) bei der Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen helfen und die Finanzierung als Hemmnis damit mindern.

Die in Tab. 2-47 abgeleiteten Sanierungsraten liegen noch unterhalb der in Luderer et al. (2021, S.97) genannten Obergrenze von 2,5 Prozent, die aufgrund von zu erwartenden bundesdurchschnittlichen **Kapazitätsengpässen im Handwerk** zu beachten ist. Während in den vergangenen Jahren oftmals von einem weiteren Rückgang der Erwerbstätigen in der Lausitz ausgegangen wurde (Lerche 2014), zeichnet sich in den aktuellsten Arbeitsmarktstatistiken der Region ein Umschwung ab. Im Baugewerbe sowie im Grundstücks- und Wohnungswesen steigt die Zahl der Beschäftigten (Seibert et al. 2018). Gemäß einer Untersuchung von Jansen und Schirmer (2020) für die Region Lausitz werden typische Baugewerke auch nicht unter den TOP-5-Engpassberufen genannt. Dennoch sind in der Lausitz durchschnittlich 8 von 10 Stellen über alle Berufsgruppen hinweg wegen Fachkräftemangels schwer zu besetzen (ebda.). Obwohl die Zahl der jährlich neu abgeschlossenen Ausbildungsverträge im Lausitzer Revier bis 2018 – entgegen dem bundesweiten Trend – angestiegen ist, wurden in 2019 ca. 13 Prozent der offenen Ausbildungsplätze nicht besetzt (ebda.). Da zugleich die Zahl der unterversorgten Bewerber und Bewerberinnen gesunken ist, wird es für Unternehmen schwieriger, Ausbildungsplätze zu besetzen und den Fachkräftemangel durch regionalen beruflichen Nachwuchs zu mindern. Zu den TOP-10-Berufen der unbesetzten Ausbildungsplätze gehörten in 2019 demnach u. a. der Gerüstbau und das Dachdeckerhandwerk, die für die energetische Gebäudesanierung wichtige Berufsgruppen darstellen. Zu weiteren wichtigen Branchen zählen Tischlereien, Malereien, Maurereien und Stuckarbeiten. Zu den Empfehlungen zur Lösung des Fachkräftemangels gehören die Erhöhung der Attraktivität der Berufe durch Gleichwertigkeit der Abschlüsse, Lohnerhöhungen sowie Intensivierung und Anpassung der Aus- und Weiterbildungsprogramme an die technologischen Anforderungen der Energiewende. In der Region Lausitz können Nachwuchs- und Umschulungsprogramme hilfreich sein, um den vom Strukturwandel betroffenen Beschäftigten eine Perspektive in Zukunftsbranchen zu ermöglichen

(Ragwitz et al. 2021; Jansen und Schirner 2020). Diese Maßnahmen werden bspw. bereits in der Nachhaltigkeitsstrategie des Landes Brandenburg (Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg 2019) erfasst, müssen aber auch auf die Lausitz als Region erweitert und in die Maßnahmen für die Sanierungsanreize integriert werden.

Aus Gründen der Ressourceneffizienz ist es zudem ratsam, den Leerstand an Wohngebäuden zielgerichtet zu vermarkten, wozu ein Überblick über die Bedürfnisse der Wohnungssuchenden und gegebenenfalls eine Entwicklung von Beratungsprogrammen sinnvoll sind. Dies kann auch helfen, den ressourcenintensiven Neubau zu begrenzen. Regionalen Angebote zum Wohnungstausch und eine Unterstützung gerade älterer Menschen in kleinere Wohnungen kann dazu beitragen.⁷⁶

⁷⁶ Weitere Informationen finden sich auf der Projektseite „LebensRäume“ vom Öko-Institut (2022).

2.6 Wärmepumpen zur dezentralen Wärmeversorgung

Neben der energetischen Sanierung der Gebäude stellt die Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung die zweite entscheidende Stellgröße für ein Gelingen der Wärmewende dar. In diesem Zusammenhang spielen in der politischen und wissenschaftlichen Diskussion Wärmepumpensysteme eine Schlüsselrolle. Die Nutzung von Umgebungswärme ermöglicht es, die in diesen Reservoirs auf niedrigen Temperaturniveaus vorhandene Wärme zu heben und mit Hilfe elektrischer Energie zu vervielfachen. Die für den Einsatz von Wärmepumpen notwendige **Umgebungswärme** umfasst neben der thermischen Energie aus bodennahen Schichten (aerothermische Umweltwärme) und Oberflächengewässern (hydrothermische Umweltwärme) auch die oberflächennahe Geothermie in Tiefen von bis zu 400m (UBA 2020). Je nach genutzter Wärmequelle lassen sich die Technologien somit in **Luft-, Wasser- und Erd- (bzw. Sole-)Wärmepumpen** klassifizieren. Neben der Wärmequelle können Wärmepumpen auch nach ihrem Einsatzzweck unterschieden werden. Laut Angaben des Bundesverband Wärmepumpe e.V. (BWP 2020b) sind in Deutschland vor allem elektrische Heizungswärmepumpen (HWP), Brauchwasserwärmepumpen und gasbetriebene Heizungswärmepumpen relevant, wobei der überwiegende Teil auf die elektrischen Heizungswärmepumpen entfällt.⁷⁷

Der Einsatz und die Effizienz von Wärmepumpen sind stark von der **Jahresarbeitszahl** (JAZ) abhängig, welche das Verhältnis von resultierender Wärmeerzeugung und eingesetzter elektrischer Energie beschreibt. Die Höhe der JAZ ist insbesondere abhängig von der benötigten Vorlauftemperatur des zu versorgenden Heizsystems. Neue Studien zeigen, dass ein effizienter und ökonomisch sinnvoller Betrieb in der objektbezogenen Versorgung insbesondere in Heizsystemen mit einer Vorlauftemperatur von unter 55° C möglich ist (ifeu, Fraunhofer IEE und Consentec 2018). Die Potenziale von Wärmepumpen sind somit neben den technologischen Parametern stark vom energetischen Zustand des zu versorgenden Gebäudes abhängig. Eine ambitionierte Dämmung der Gebäudehülle ermöglicht eine Reduktion der Heizvorlauftemperatur, wodurch sich der Einsatz von Wärmepumpen sowohl aus Effizienz- als auch aus Kostengründen vorteilhafter gestaltet.

2.6.1 Status quo

Welche Art von Wärmepumpe zum Einsatz kommt, ist in hohem Maß von der Flächenverfügbarkeit abhängig. Solewärmepumpen zeichnen sich in der Regel durch eine höhere Effizienz und eine höhere JAZ im Vergleich zu beispielsweise Luft-Wärmepumpen aus. Allerdings ist die Flächenverfügbarkeit für oberflächennahe Erdwärmekollektoren insbesondere in urbanen und hoch verdichteten Regionen häufig gering. Zudem ergeben sich mitunter Konflikte und regulatorische Hindernisse, insbesondere mit dem Grundwasserschutz. Den in der Regel mit der Installation von Solewärmepumpen einhergehenden höheren Investitionskosten aufgrund der aufwändigeren Arbeiten zum Erschließen der Wärmequelle stehen mögliche Einsparungen bei den Betriebskosten aufgrund der höheren Effizienz der Anlage gegenüber. Für Luft-Wärmepumpen ist darüber hinaus die Frage des Aufstellungsortes relevant, da eine Außenaufstellung der Anlagen vor allem in dicht besiedelten Gebieten aufgrund der entstehenden Lärmemissionen zu Problemen führen kann (Schulze et al. 2014). Eine mögliche Lösung sind im Innenraum aufgestellte Wärmepumpen oder Luft-Luft-Wär-

⁷⁷ Wird im Folgenden und in den Szenarien von Heizungswärmepumpen gesprochen, sind damit stets die elektrischen Heizungswärmepumpen gemeint.

mepumpen mit Wärmerückgewinnung, wobei letztgenannte aufgrund der notwendigen Lüftungssysteme und der geringeren JAZ wohl eher in Neubauten und Niedrigenergiehäusern eingesetzt werden könnten.

Deutschlandweit sind im Jahr 2018 über 1,1 Mio. Wärmepumpen installiert, zum Großteil (in etwa 877.000 Anlagen) Heizungswärmepumpen. Die übrigen Anlagen dienen der Warmwassererzeugung. Den zahlenmäßig größten Anteil der Heizungswärmepumpen stellen Luft- und Grundwasserwärmepumpen mit zusammengekommen 595.000 Anlagen, wobei der Anteil der Luftwärmepumpen an diesen stark überwiegt. Erdwärmepumpen (sowohl Flächen- als auch Erdsonden-Anlagen) stellen mit 282.000 Anlagen rund ein Drittel der installierten Anlagen zur Raumwärmeversorgung (BWP 2018; 2020b).

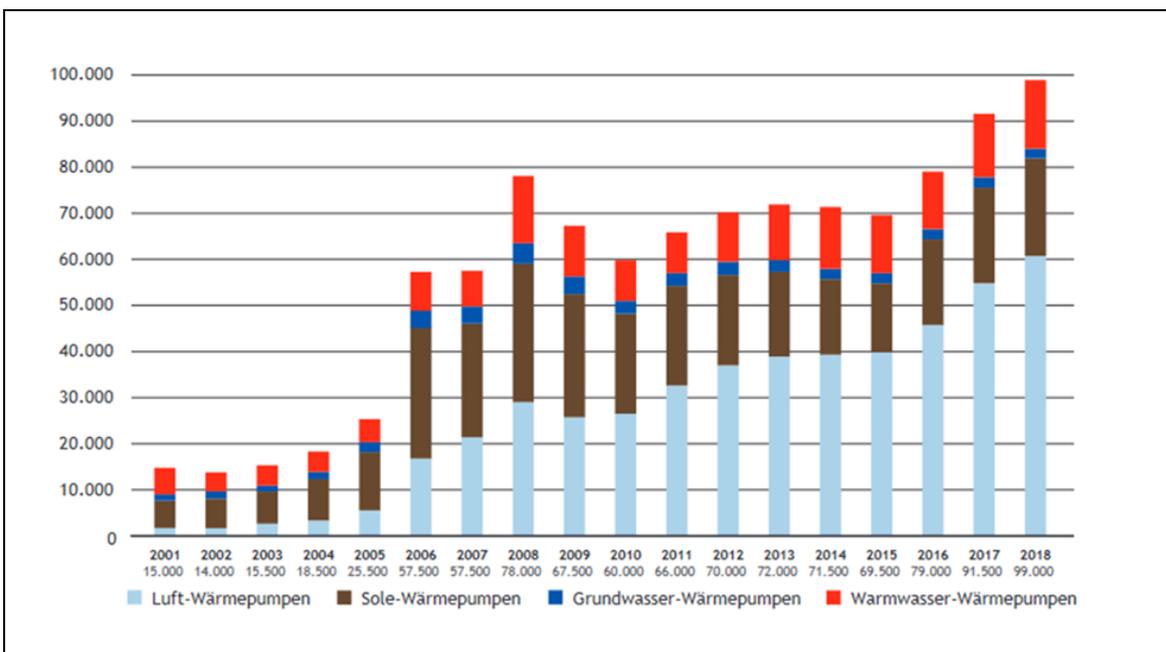


Abb. 2-14: Absatz Wärmepumpen Deutschland (2011-2018)

Quelle: veränderte Darstellung nach BWP (2020b)

Die Nachfrage nach Wärmepumpen ist insbesondere in den letzten Jahren stark angestiegen. Wurden Anfang der 2000er Jahre noch weniger als 20.000 Anlagen jährlich abgesetzt, lag die Verkaufsmenge seit 2005 konstant über 50.000. In den letzten Jahren ist eine erneute deutliche Steigerung der Absatzzahlen zu beobachten: 2018 wurden knapp unter 100.000 Anlagen verkauft, wobei der überwiegende Großteil in der Raumwärmeversorgung eingesetzt wird. Die Zuwächse seit 2014 gehen zu großen Teilen auf die Luft-Wärmepumpen zurück, welche ihren Anteil am Absatzmarkt für Heizungswärmepumpen in den letzten Jahren deutlich auf über 70 Prozent in 2018 steigern konnten (siehe Abb. 2-14).⁷⁸

In Deutschland werden Wärmepumpen überwiegend in Wohngebäuden installiert (96 Prozent), rund 85 Prozent von diesen in Einfamilienhäusern. In Mehrfamilienhäuser mit drei oder mehr

⁷⁸ 2020 wurde erneut ein deutlicher Anstieg der Absatzzahlen von Wärmepumpen auf insgesamt ca. 140.000 Anlagen verzeichnet. Etwa drei Viertel der Zuwächse gingen hierbei auf Luft-Wärmepumpen zurück (BWP 2021a).

Wohneinheiten wird nur ein geringer Anteil der Anlagen installiert (6 Prozent der in Wohngebäuden installierten Anlagen). Diese Entwicklung ist seit 2001 trotz deutlich gestiegener Gesamtabsatzzahlen relativ konstant (Born et al. 2017) und ist insbesondere auf die höhere technische Komplexität bei Auslegung des Systems, die oftmals begrenzte Flächenverfügbarkeit sowie mögliche Geräuschemissionen bei Luft-Wärmepumpensystemen zurückzuführen. Zudem sind Alternativtechnologien wie zentrale Erdgaskessel zur Zeit noch deutlich günstiger in der Anschaffung und Installation (Hess et al. 2021).

Nicht nur die Wohnfläche des Gebäudes, sondern auch die Baualtersklasse und daraus resultierend der energetische Zustand des Gebäudes hat einen Einfluss auf die Einsatzhäufigkeit von Wärmepumpen. Aufgrund der höheren regulatorischen Anforderungen und dem insgesamt höheren Niveau der Gebäudedämmung weisen neu errichtete Wohngebäude bereits seit 2012 in 30 Prozent der Fälle eine Wärmepumpenheizung auf (Born et al. 2017). Im Jahr 2018 wurden Heizungswärmepumpen in neu errichteten Wohngebäuden in 41,1 Prozent der Gebäude eingesetzt, wobei der Anteil geothermischer Anlagen unter 20 Prozent liegt. Während die Zahlen in Ein- und Zweifamilienhäusern etwas höher ausfallen, werden Wärmepumpen in Neubau-Mehrfamilienhäusern mit drei oder mehr Wohneinheiten noch vergleichsweise selten eingesetzt (22 Prozent der insgesamt verbauten Heizungsanlagen (Statistisches Bundesamt 2018)).

In den letzten Jahren werden Wärmepumpen auch vermehrt im Bestand installiert. Zwischen 2014 und 2016 wurden rund 40 Prozent der neu installierten Wärmepumpen im Gebäudebestand eingebaut (Born et al. 2017). Dieser Trend scheint weiter fortzubestehen. So wurden 2020 rund ein Viertel der insgesamt abgesetzten Wärmepumpen im Austausch für eine alte Ölheizung installiert (BWP 2020b). Dennoch ist der Marktanteil von jährlich abgesetzten Wärmepumpen an den insgesamt abgesetzten Heizsystemen bei Bestandsgebäuden noch immer gering. In EZFH liegt dieser bei ca. 5 Prozent, in MFH bei nur etwa 1 Prozent (Henning 2020).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Wärmepumpen vermehrt in Ein- und Zweifamilienhäusern und insbesondere im Neubau eingesetzt werden. Dies spiegelt sich auch in der durchschnittlichen Leistung installierter Anlagen wider, welche aktuell je nach Technologie bei circa 10,5-11,2 kW_{th} liegt (BWP 2021b).

Laut Bundesverband Wärmepumpe e.V. sind im Jahr 2018 in der **Lausitz** insgesamt circa 12.500 Heizungswärmepumpen installiert (Tab. 2-49). Anders als im Bundesschnitt überwiegen in der Region die erdgekoppelten Wärmepumpen, welche circa zwei Drittel der Anlagen ausmachen. Auf die Wohngebäudeanzahl bezogen, liegt die Lausitz mit 42,6 Anlagen pro 1.000 Wohngebäude leicht unter dem bundesdeutschen Niveau (48 Anlagen pro 1.000 Wohngebäude, eigene Berechnung auf Basis von BWP (2018) und Statistisches Bundesamt (2013a)).

Tab. 2-49: Bestand Heizungswärmepumpen 2018 nach Regionen

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von BWP (2018; 2020a)

| | Bestand gesamt | Luft | Erdwärme und Grundwasser⁷⁹ |
|-----------------------|-----------------------|-------------|--|
| Deutschland | 877.000 | 595.000 | 282.000 |
| Lausitz | 12.474 | 4.449 | 8.025 |
| Cottbus | 1.014 | 114 | 900 |
| Dahme-Spreewald | 1.808 | 907 | 901 |
| Elbe-Elster | 1.309 | 616 | 693 |
| Oberspreewald-Lausitz | 1.336 | 356 | 980 |
| Spree-Neiße | 1.919 | 332 | 1.587 |
| Bautzen | 3.495 | 1.474 | 2.021 |
| Görlitz | 1.593 | 650 | 943 |

Tab. 2-50 zeigt den jährlichen Absatz an Heizungswärmepumpen im Jahr 2018 deutschlandweit und für die Landkreise der Region Lausitz. Für letztere entspricht der Zubau in etwa 15 Prozent des gesamten Feldbestandes. Dies legt den Schluss nahe, dass der Zubau in der Region wie in der deutschlandweiten Betrachtung in den letzten Jahren deutlich angestiegen ist. Anders als im bundesweiten Durchschnitt werden in der Lausitz allerdings nach wie vor mehr Erdwärme- und Grundwasser-Wärmepumpen als Luft-Wärmepumpen zugebaut. Das gilt auch für die Landkreise mit den urbanen Zentren Cottbus und Bautzen. Dies lässt den Schluss zu, dass die hohen Anteile der erdgekoppelten Anlagen im Bestand nicht zwangsläufig auf ein höheres Durchschnittsalter der Anlagen, sondern auf regionale Spezifika in Bezug auf die genutzten Wärmereservoirs zurückzuführen sind.⁸⁰ Ein möglicher Grund für den hohen Anteil erdgekoppelter Anlagen kann die relativ hohe Anzahl an Bohrungs- und Bergbauunternehmen in der Region sein, welche sich zudem auf die Akzeptanz von Nutzenden gegenüber der Geothermie auswirken kann.

⁷⁹ Eine differenzierte Aufteilung in Erdwärme- und Grundwasser-WP ist an dieser Stelle und im Folgenden aufgrund fehlender Datentiefe nicht immer fehlerfrei möglich. Grundsätzlich kann jedoch davon ausgegangen werden, dass der Anteil der Sole-Wärmepumpen den der Grundwasser-Wärmepumpen deutlich überwiegt (vgl. Abb. 2-14).

⁸⁰ Bis ca. 2010 waren Erdwärmepumpen die dominierende Technologie im Absatz (vgl. Abb. 2-14), weshalb der hohe Bestand an erdgekoppelten Anlagen theoretisch auch auf eine Großzahl an Installationen vor 2010 hätte zurückzuführen sein können.

Tab. 2-50: Zubau Heizungswärmepumpen 2018 nach Regionen

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von BWP (2018; 2020a)

| | Zubau insgesamt | Luft | Erdwärme und Grundwasser |
|-----------------------|-----------------|--------|--------------------------|
| Deutschland | 84.000 | 60.500 | 23.500 ⁸¹ |
| Lausitz | 1.802 | 726 | 1.076 |
| Cottbus | 134 | 15 | 119 |
| Dahme-Spreewald | 334 | 179 | 155 |
| Elbe-Elster | 219 | 140 | 79 |
| Oberspreewald-Lausitz | 163 | 59 | 104 |
| Spree-Neiße | 249 | 40 | 209 |
| Bautzen | 489 | 180 | 309 |
| Görlitz | 214 | 113 | 101 |

Auf die Wohngebäudeanzahl bezogen, liegen die Absatzzahlen von Heizungswärmepumpen in der Lausitz ähnlich wie der Feldbestand leicht unter dem bundesdeutschen Schnitt (6,16 vs. 6,57 Anlagen pro 1.000 Wohngebäude; eigene Berechnung unter Verwendung von Statistisches Bundesamt (2013a)). In Bezug auf den Einsatz von Heizungswärmepumpen in der Lausitz zeigt sich, dass neu abgesetzte Anlagen zu etwa 60 Prozent im Gebäudebestand eingesetzt werden (vgl. Tab. 2-51). Während Luft-Wärmepumpen zu etwa gleichen Teilen im Neubau und Bestand eingesetzt werden, werden die effizienteren erdgekoppelten Anlagen zum Großteil (ca. 70 Prozent) im Bestand verbaut.

Tab. 2-51: Zubau Heizungswärmepumpen [Anlagen] 2018 Lausitz nach Einsatzfeld

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von BWP (2020a)

| | Zubau insgesamt | Neubau | Bestandsgebäude |
|--------------------------|-----------------|------------|-----------------|
| Lausitz gesamt | 1.802 | 726 | 1.076 |
| Luft | 726 | 394 | 332 |
| Erdwärme und Grundwasser | 1.076 | 332 | 744 |

⁸¹ Davon 19.000 Sole und 4.500 Grundwasser und Sonstige.

Zahlen aus dem Energie- und Klimaschutzatlas (EKS) des Landes Brandenburg weisen für die in der Lausitz liegenden brandenburgischen Landkreise durchschnittliche Leistungszahlen installierter Wärmepumpen von 10,2 kW_{th} (Stand 2017; Land Brandenburg (2021)) pro Anlage aus. Die Daten umfassen ca. 60 Prozent der laut BWP im Jahr 2018 vorhandenen Anlagen. In diese Zahlen gehen sowohl Daten des Marktanreizprogramms (MAP) als auch der Baufertigungsanzeigen des Statistischen Landesamts Berlin-Brandenburg ein. Mit Blick auf die **durchschnittliche Leistung** der im MAP geförderten Wärmepumpen zeigt sich, dass die durchschnittliche Leistung installierter Wärmepumpen in Sachsen um ca. 15 Prozent über dem brandenburgischen Wert liegt (eclareon GmbH 2022).

Werden die Durchschnittswerte des EKS Brandenburg zugrunde gelegt und die leicht höhere durchschnittliche Leistung in den sächsischen Landkreisen berücksichtigt, ergibt sich folgendes Bild für die in der Lausitz installierte Leistung an Heizungswärmepumpen für Zubau und Bestand.

Tab. 2-52: Installierte Leistung Heizungswärmepumpen 2018 in der Lausitz - Zubau und Bestand

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von BWP (2020a); Land Brandenburg (2021); eclareon GmbH (2022).

| | Zubau | Bestand |
|--------------------------|-----------------------|------------------------|
| Gesamt | 19,3 MW _{th} | 134,2 MW _{th} |
| Luft | 7,8 MW _{th} | 48,3 MW _{th} |
| Erdwärme und Grundwasser | 11,5 MW _{th} | 85,9 MW _{th} |

Zusätzlich zu den Heizungswärmepumpen wurden im Jahr 2018 bundesweit ca. 15.000 **Warmwasser-Wärmepumpen** abgesetzt, welche nicht zur Deckung des Raumwärmebedarfs eingesetzt werden (BWP 2019). Dies entspricht 12,5 Prozent der Anzahl abgesetzter Heizungswärmepumpen. Aufgrund einer fehlenden räumlichen Differenzierung der Zahlen wird für die Lausitz ein Absatz von Warmwasser-Wärmepumpen in einer ähnlichen Größenordnung (225 Anlagen; 12,5 Prozent des Zubaus in der Lausitz) angenommen. Insgesamt wurden demnach im Jahr 2018 in etwa 2.025 Wärmepumpen in der Lausitz installiert.

Die Installation von Wärmepumpen in der objektbezogenen Wärmeversorgung wird seit 2021 über die **Bundesförderung** für effiziente Gebäude (BEG) Einzelmaßnahmen gefördert. Die Förderhöhe beläuft sich hierbei aktuell auf 35 Prozent der Investitionskosten. Im Fall einer zeitgleichen Sanierung zu einem Effizienzhaus oder im Zuge eines individuellen Sanierungsfahrplans (+ 5 Prozent) kann die Förderhöhe weiter ansteigen. Wird die Wärmepumpe als Ersatz für eine nicht austauschpflichtige Ölheizung installiert, beträgt die Förderhöhe 45 Prozent (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle 2021).

Eine über die bundesweite Förderung hinausgehende **Landesförderung**, welche die Installation von Wärmepumpen bezuschusst, gibt es Stand Januar 2022 weder in Brandenburg noch in Sachsen.

2.6.2 Potenziale

Sowohl in der politischen als auch in der wissenschaftlichen Debatte wird der Wärmepumpe eine Schlüsselrolle in der objektbezogenen Wärmewende im Gebäudesektor zugeschrieben (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2020; Gerbert et al. 2018; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE 2020). Ob und wie diese Schlüsselrolle erfüllt werden kann, hängt neben den lokalen Bedingungen und den technologischen Entwicklungen der nächsten Jahre stark von den Sanierungsaktivitäten in den zu versorgenden Gebäuden ab.

Das theoretische Potenzial der Umgebungswärme übersteigt hierbei den heutigen Energiebedarf um ein Vielfaches und ist nach heutigem Ermessen in der Regel nahezu unbegrenzt. Relevante Einflussfaktoren sind neben der Außenlufttemperatur (für Luft-Wärmepumpen und Erdkollektoren) der Temperaturgradient (Steigerung der Temperatur des Bodens in Abhängigkeit von der Bohrtiefe, relevant für Erdsonden) sowie die spezifische Entzugsleistung des Erdreiches, welche von den geologischen Begebenheiten vor Ort abhängt.

Die theoretischen Absatzpotenziale von Heizungswärmepumpen sind hingegen maßgeblich von der Anzahl zu versorgender Gebäude abhängig. Aktuell werden Wärmepumpen insbesondere in Ein- und Zweifamilienhäusern installiert, welche in der Lausitz die überwiegende Mehrheit der Gebäude stellen (> 70 Prozent; vgl. Tab. 2-28). In diesen stellt die Installation einer Wärmepumpe schon heute eine sowohl technisch als auch ökonomisch effiziente Maßnahme dar, wobei die Vorteilhaftigkeit mit steigendem Sanierungsgrad und damit in der Regel mit sinkendem Baualter ansteigt. In Mehrfamilienhäusern stellt die Wärmepumpe heutzutage noch eine Nischentechnologie dar, selbst im Neubau wurde nur in etwa 20 Prozent der Mehrfamilienhäuser eine Wärmepumpe installiert (siehe oben). Günther et al. (2020) zeigen allerdings, dass Wärmepumpen bei fehlerfreiem Betrieb schon heute auch in kleinen Bestands-Mehrfamilienhäusern effizient betrieben werden können. Dies legt zumindest für die bestehenden Gebäude in der Lausitz mit bis zu 12 Wohneinheiten (MFH)⁸² den Schluss nahe, dass bis 2040 auch in diesem Segment erhebliche Potenziale für den Einsatz von Wärmepumpen bestehen.

Eine weitere Frage für die tatsächlich realisierbaren Potenziale der Wärmepumpen in der Lausitz stellt insbesondere in dicht besiedelten Landkreisen wie Cottbus, Görlitz oder Bautzen und vor allem bei Einsatz von erdgekoppelten Wärmepumpen die Flächenverfügbarkeit dar. Zudem ergeben sich bei dieser Technologie zusätzliche Herausforderungen bezüglich des Trinkwasserschutzes.

Insgesamt kann für die Ein- und Zweifamilienhäuser (SFH und TH) in der Lausitz angenommen werden, dass diese aus technischen und ökonomischen Gesichtspunkten bis 2040 nahezu vollständig mit Wärmepumpen betrieben werden können. Dies allein ergibt ein Potenzial von knapp unter 250.000 abgesetzten Anlagen bis 2040. Auch für Mehrfamilienhäuser mit bis zu 12 WE kann bis 2040 davon ausgegangen werden, dass der Großteil der Gebäude (wenn auch nicht unbedingt vollständig⁸³) mit Wärmepumpen versorgt werden kann. Dies entspricht einem weiteren Potenzial von ca. 44.000 Anlagen, sollten zentrale Wärmepumpen installiert werden. Werden stattdessen Wärmepumpen in den Wohnungen dezentral installiert (ähnlich wie bei den Gasetagenheizungen schon heute üblich, z. B. in Kombination mit einem kalten Nahwärmenetz) ergeben sich in Bezug

⁸² Zur Verteilung der Gebäude auf Gebäudeklassen vgl. Kapitel 2.5.1.1.

⁸³ Beispielsweise ist die Kopplung einer Wärmepumpe mit einem gasbetriebenen Spitzenlastkessel möglich.

auf die Anzahl der abgesetzten Anlagen weitere Potenziale. Aufgrund der heute bestehenden Unsicherheiten bezüglich der technischen und ökonomischen Umsetzbarkeit und aufgrund von möglichen weiteren Hindernissen (z. B. fehlende energetische Sanierung beispielsweise aufgrund von Denkmalschutz-Anforderungen) erscheint es dennoch sinnvoll, einen gewissen Anteil der kleinen Mehrfamilienhäuser für die Versorgung mit Wärmepumpen auszuschließen. Für Mehrfamilienhäuser mit 13 und mehr Wohneinheiten gibt es bislang nur wenige Konzepte für die Versorgung mit einer Wärmepumpe. Von daher werden Potenziale von großen Mehrfamilienhäusern noch nicht berücksichtigt, auch wenn ein technisch und ökonomisch effizienter Betrieb von Wärmepumpen insbesondere im Zeitraum zwischen 2030 und 2040 durchaus denkbar erscheint.

Insgesamt ergibt sich hieraus für die Lausitz ein Wärmepumpen-Potenzial in einer Größenordnung von etwa 270.000 installierten Anlagen, wie in Tab. 2-53 dargestellt.

Tab. 2-53: Potenziale von Heizungswärmepumpen nach Gebäudetypen

Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a)

Anmerkung: SFH = Single Family House, MFH = Multi Family House, TH = Terraced House, AB = Apartment Block (Erläuterung siehe Abschnitt 2.5.1.1)

| Gebäudetyp | SFH | MFH | TH | AB | Summe |
|----------------------------------|---------|--------|--------|-------|---------|
| Gebäude Lausitz insgesamt | 205.305 | 44.067 | 41.275 | 2.045 | 292.692 |
| Technisch-ökonomisches Potenzial | 205.305 | 35.000 | 41.275 | 0 | 268.612 |

Das technische und ökonomische Absatzpotenzial entspricht allerdings nicht dem tatsächlich realisierbaren Potenzial. Abgezogen werden müssen hierfür z. B. diejenigen Gebäude, welche schon heute durch Fernwärme versorgt werden. Bei diesen erscheint es unwahrscheinlich, dass der Fernwärmeanschluss überhaupt bzw. in allen Fällen durch eine Wärmepumpe ersetzt wird, insbesondere da teilweise Langfristverträge bestehen und auch die Fernwärme eine Schlüsseltechnologie für das Erreichen der Klimaziele darstellt und den meisten aktuellen Studien zufolge ebenfalls ausgebaut werden soll (Gerbert et al. 2018; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE 2020; Prognos et al. 2020). Weiterhin sind mit Blick auf die Erschließbarkeit der aufgezeigten Wärmepumpen-Potenziale folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- **Engpass Handwerk:** Es zeigt sich, dass bei deutlichen Steigerungen der Sanierungsraten sowie einem beschleunigten Austausch von Heizungsanlagen im Handwerk teilweise ohnehin schon bestehende Engpässe weiter verstärkt werden. Dies kann ambitioniertere Absatzziele erschweren oder gar verhindern.
- **Abhängigkeit von Sanierungsrate und -tiefe:** Wie bereits eingehend erläutert, spielt die Jahresarbeitszahl eine entscheidende Rolle für den ökonomischen Betrieb von Wärmepumpen. Da diese maßgeblich vom energetischen Zustand des zu versorgenden Gebäudes abhängt, begrenzen sowohl die Sanierungsrate als auch die Sanierungstiefe maßgeblich das ökonomische Potenzial der Umgebungswärme. Zwar können schon heute und durch weitere technologische Innovationen zukünftig auch energetisch schlechter gedämmte Gebäude wirtschaftlich mit Wärmepumpen betrieben werden, dennoch führt ein höheres Sanierungsaufkommen auch zu einem höheren erschließbaren Potenzial der Wärmepumpen.

- **Entwicklung Wärmenetze:** Werden bestehende Wärmenetze weiter ausgebaut und/oder neue Wärmenetze entwickelt, reduziert dies tendenziell die Potenziale des Einsatzes dezentraler Wärmepumpen. Ebenso können deutliche Kostensprünge bei z. B. Wasserstoffheizungen die Attraktivität der Wärmepumpe gegenüber solchen Vergleichstechnologien reduzieren.
- **Zusätzliches Potenzial durch Neubau:** Die Wärmepumpe ist im Neubau insbesondere in Ein- und Zweifamilienhäusern schon heute Standard. Ein hohes Neubaaufkommen führt somit zu erhöhten Absatzpotenzialen. Laut Neubaumonitor des Landes Brandenburg wurden in den brandenburgischen Landkreisen der Lausitz im Jahr 2018 insgesamt 1.123 Wohngebäude neu errichtet (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2022b). Werden für die sächsischen Landkreise (bezogen auf die vorhandenen Wohngebäude) Neubauaktivitäten in der gleichen Größenordnung angenommen, kann bis 2040 von einem Zubau von etwa 40.000 Wohngebäuden ausgegangen werden, was einen erheblichen Potenzialbereich darstellt.
- **Nichtwohngebäude:** Insbesondere in gewerblich genutzten Gebäuden können zusätzliche Potenziale für den Einsatz von Wärmepumpen gehoben werden, da in diesen in der Regel ein hoher Bedarf an Raumwärme besteht. Eine genaue Angabe zur Anzahl der Nichtwohngebäude in der Lausitz ist aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit jedoch nicht möglich. Hochrechnungen zufolge beläuft sich die bundesweite Anzahl an Nichtwohngebäuden auf etwa 21 Mio., von welchen allerdings nur etwa 10 Prozent in den Geltungsbereich des GEG § 2 Absatz 1 fallen und gemäß „ihrer Zweckbestimmung unter Einsatz von Energie beheizt oder gekühlt werden“ (Hörner et al. 2021, 2). Für die Lausitz können somit (analog zur Verteilung auf Bundesebene) bei einer annähernden Gleichverteilung zwischen Wohn- und relevanten Nichtwohngebäuden in den Landkreisen zusätzlich für etwa 30.000 Nichtwohngebäude ein potentieller Einsatz von Wärmepumpen angenommen werden. Dabei hängt die technische und ökonomische Umsetzbarkeit stark von der Art des Gebäudes sowie dem Nutzungszweck ab (Eigene Berechnung unter Verwendung von Statistisches Bundesamt (2013a)).
- **Flächenverfügbarkeit:** Insbesondere in Ballungsgebieten spielt die Flächenverfügbarkeit eine entscheidende Rolle. Vor allem im Erdreich verlegte Flächenkollektoren zeichnen sich hierbei durch einen hohen Flächenbedarf aus. Dieser Tatsache wurde bereits teilweise durch den Ausschluss der großen Mehrfamilienhäuser mit 13 oder mehr Wohneinheiten Rechnung getragen, welche insbesondere in urbanen Räumen zu finden sind (vgl. Tab. 2-28). Müssen aufgrund fehlender Flächen Erdsonden eingesetzt werden, können zudem Konflikte in Bezug auf den Grund- und Trinkwasserschutz die Potenziale der Wärmepumpe reduzieren.

2.6.3 Szenarien

Der Bundesverband Wärmepumpe e.V. (BWP 2020b) beschreibt in einer Studie zur zukünftigen Marktentwicklung von Heizungswärmepumpen in Deutschland zwei Szenarien zur potenziellen Entwicklung des Wärmepumpenbestandes, welche im Folgenden die Grundlage für die Entwicklung des **Current Policies** und des **Klimaneutral 2045**-Szenarios bilden. Im **Current Policies**-Szenario werden die „[...] durch die Bundesregierung bereits ergriffenen oder geplanten Maßnahmen zur Unterstützung des Wärmemarktes“ berücksichtigt (ebda., S. 7). Im **Klimaneutral 2045**-Szenario geht basierend auf Studien von Prognos et al. (2020), dem Bundesverband der Deutschen Industrie (Gerbert et al. 2018) und der dena (2018) unter Ableitung von Zielen für den Wärmemarkt von einem Bestand in Höhe von 6 Mio. Wärmepumpen im Jahr 2030 bzw. 16 Mio. Anlagen im Jahr 2050 aus. Hierbei werden „[...] eine entsprechend angepasste Förderung, eine Optimierung des Rechtsrahmens sowie fiskalische Maßnahmen zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit des Energieträgers Strom [...]“ und insbesondere „[...] eine ambitionierte Gestaltung der CO₂-Bepreisung

[...]“ vorausgesetzt (BWP 2020b, S. 8). Zudem wird mit Blick auf die energetische Gebäudesanierung eine Steigerung im Neubausegment bereits ab 2023 einkalkuliert und eine Nutzungspflicht für EE beim Heizungstausch vorausgesetzt (ebda.). Die beiden Szenarien dienen daher als gute Grundlage für die regionalspezifischen Berechnungen im *Current Policies* und im *Klimaneutral 2045*-Szenario.

Im *Current Policies*-Szenario wächst den Berechnungen der BWP (2020b) Studie zufolge der Absatz von Heizungswärmepumpen ab 2020 kontinuierlich um 14 Prozent jährlich. Bei dieser Entwicklung steigt der Anteil der Wärmepumpen am Gesamtheizungsabsatz bis 2030 auf ca. 34 Prozent und bis 2050 auf etwa 58 Prozent an. In 2030 beträgt der bundesweite Feldbestand an Wärmepumpen etwa 3 Mio. Anlagen, in 2050 10,4 Mio. Anlagen.

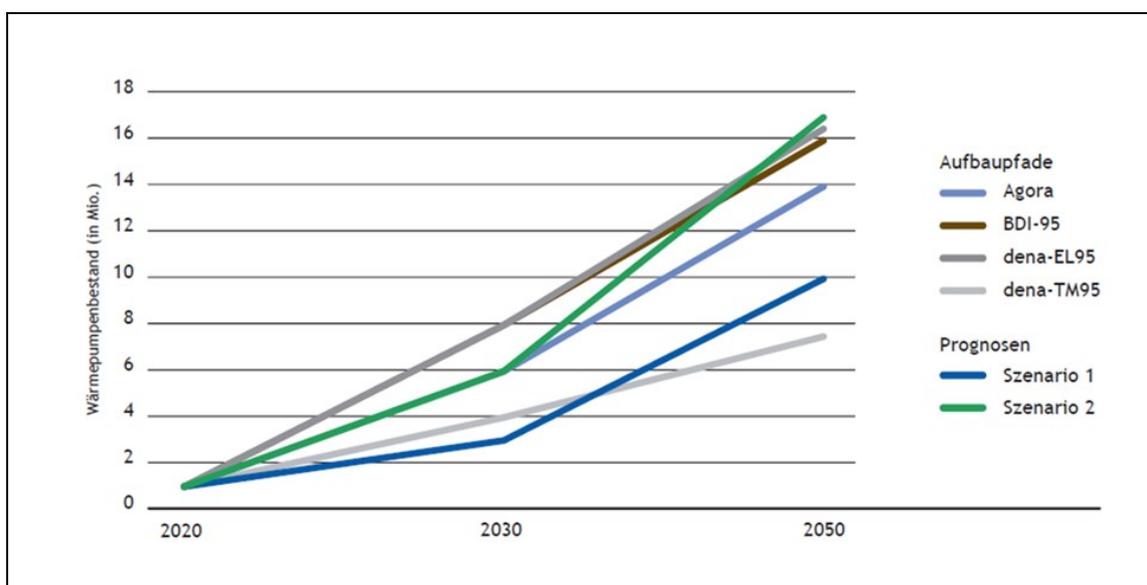


Abb. 2-15: Einordnung der Szenarien zum Wärmepumpenbestand in Studienlandschaft

Quelle: BWP (2020b)

Anmerkung: Mit „Agora“ ist die Studie von Prognos et al. (2020) im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende gemeint.

Im ambitionierteren Szenario *Klimaneutral 2045* wird durch die zusätzlichen klimapolitischen Anstrengungen ein durchschnittliches Wachstum von 27 Prozent pro Jahr in den 2020er Jahren erreicht. Zum Ende des Jahrzehnts kann so ein jährlicher Absatz von etwa 920.000 Wärmepumpen erreicht werden. In den folgenden beiden Dekaden wird aufgrund einer Sättigung auf dem Heizungsmarkt insgesamt, ausgelöst durch das starke Wachstum in den 2020er Jahren, ein leichtes Absinken der Absatzzahlen erwartet. Insgesamt steigt der bundesweite Bestand in Szenario 2 auf 6,2 Mio. Anlagen in 2030 sowie etwa 17 Mio. Wärmepumpen in 2050 an.

Die aus der Studie des BWP (2020b) entnommene Tab. 2-54 vergleicht die Ergebnisse der Szenarien mit den genannten Leitstudien zum Erreichen von Klimaneutralität von Prognos et al. (2020), BDI (Gerbert et al. 2018) sowie der dena (2018). Die Abbildung zeigt die hohe Übereinstimmung der Szenarien mit der genannten Studienlandschaft. Deutschlandweit gehen die beiden Szenarien in den Stützjahren 2020, 2030 sowie 2040 von den in Tab. 2-54 dargestellten Zahlen für den Zubau an Heizungswärmepumpen aus.

Tab. 2-54: Szenariowerte Zubau Heizungswärmepumpen bundesweit in 2020, 2030 und 2040 [Anzahl Anlagen]

Quelle: BWP (2020b; 2021b)

| | „Szenario 1“ | „Szenario 2“ |
|-------|--------------|--------------|
| 2020* | 120.000 | 120.000 |
| 2030 | 314.000 | 921.500 |
| 2040 | 518.000 | 871.500 |

Da die Anzahl der installierten Wärmepumpen pro 1.000 Einwohnerinnen und Einwohnern in der Lausitz in etwa auf dem bundesdeutschen Niveau liegt, können die Zahlen in einem ersten Schritt unter Berücksichtigung der Einwohnendenzahlen für die Lausitz aufgeschlüsselt werden. Hierbei wird ein leichter Aufschlag vorgenommen, gemäß den etwas höheren Werten für Bestand und Zubau von Wärmepumpen pro 1.000 Einwohnerinnen und Einwohnern in der Lausitz im Vergleich zum deutschlandweiten Schnitt (vgl. Kapitel 2.6.1).

Tab. 2-55: Szenariowerte jährlicher Zubau Heizungswärmepumpen Lausitz in 2020, 2030 und 2040 [Anzahl Anlagen]

Quelle: eigene Berechnung unter Verwendung von BWP (2020a; 2020b; 2021b); Statistisches Bundesamt (2013a)

| | Current Policies | Klimaneutral 2045 |
|------|------------------|-------------------|
| 2020 | 1.802 | 1.802 |
| 2030 | 4.715 | 13.838 |
| 2040 | 7.779 | 13.087 |

Tab. 2-55 macht deutlich, dass sich die Absatzzahlen, insbesondere in 2030 zwischen den Szenarien deutlich unterscheiden. Darüber hinaus werden die diskutierten Sättigungseffekte im Szenario *Klimaneutral 2045* deutlich, welche mit einer leichten Reduktion der Absatzzahlen in 2040 einhergehen. Für beide Szenarien ergeben sich allerdings deutliche Steigerungen im Vergleich zum Status quo (Absatz Heizungswärmepumpen 2018: 1.802 Anlagen; vgl. Kapitel 2.6.1). Insbesondere für die mittelfristige Betrachtung bis 2030 ergeben sich hierbei große Herausforderungen bezüglich der Umsetzbarkeit. So liegen die Absatzzahlen im Szenario *Klimaneutral 2045* um mehr als das Siebenfache über den aktuellen Werten, was insbesondere in Bezug auf den Bedarf an Fachkräften ein sehr ambitioniertes Ziel darstellt.

Zur Ermittlung des Bestands an Heizungswärmepumpen im Betrachtungsjahr 2040 werden die in Tab. 2-55 genannten Werte zwischen den Stützjahren linear interpoliert. Da Wärmepumpen eine durchschnittliche Lebensdauer von etwa 20 Jahren aufweisen (Hubbuch und Vecsei 2019), werden im Jahr 2040 in der Regel nur Anlagen in Betrieb sein, welche in oder nach 2020 installiert wurden. Hieraus ergeben sich folgende Bestandszahlen für das Jahr 2040:

Tab. 2-56: Szenariowerte Feldbestand Heizungswärmepumpen Lausitz im Jahr 2040 [Anzahl Anlagen]

Quelle: eigene Berechnung unter Verwendung von BWP (2020a; 2020b; 2021b); Statistisches Bundesamt (2013a).

| | Current Policies | Klimaneutral 2045 |
|------|-------------------------|--------------------------|
| 2040 | 96.309 | 201.281 |

Der Bestand liegt somit im Jahr 2040 um mehr als das Siebenfache (*Current Policies*) beziehungsweise um mehr als das Sechzehnfache (*Klimaneutral 2045*) über dem Feldbestand im Betrachtungsjahr 2018 (vgl. Abschnitt 2.6.1). Dies geht mit einem umfassenden erhöhten Wartungsbedarf einher, was zusätzliche Kapazitäten im Handwerk erfordert.⁸⁴

Der BWP (2021b) geht auf Basis historischer Auswertungen und Erwartungen bezüglich technischer Verbesserungen in der Produktentwicklung von einer Reduktion der durchschnittlichen Leistungszahlen installierter Heizungswärmepumpen aus. Für den Zeitraum bis 2040 werden in der Studie des BWP (2021b) die in Tab. 2-57 dargestellten Entwicklungen angenommen.

Tab. 2-57: Durchschnittliche Leistungszahlen von Heizungswärmepumpen nach Technologien 2020, 2030 und 2040

Quelle: BWP (2021b)

| | 2020 | 2030 | 2040 |
|-------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Luft-Wärmepumpe | 10,5 kW _{th} | 8,9 kW _{th} | 8,5 kW _{th} |
| Sole-Wärmepumpe ⁸⁵ | 11,2 kW _{th} | 9,6 kW _{th} | 9,0 kW _{th} |

Aufgrund fehlender Daten in Bezug auf die weitere Entwicklung des Technologiemix bei Heizungswärmepumpen und fehlender Erkenntnisse zum höheren Anteil von erdgekoppelten Wärmepumpen in der Lausitz im Vergleich zum bundesdeutschen Durchschnitt wird für den Zubau zwischen 2020 und 2040 vereinfachend das heutige Verhältnis von Luft- und erdgekoppelten Wärmepumpen fortgeschrieben. Im Jahr 2020 verteilt sich der Absatz von Heizungswärmepumpen bundesweit hierbei zu 79,6 Prozent auf Luft-Wärmepumpen. Die restlichen 20,4 Prozent entfallen auf erdgekoppelte Anlagen, welche sich wiederum auf 17,1 Prozent Sole- und 3,3 Prozent Grundwasser-Wärmepumpen verteilen (BWP 2021a). Tab. 2-58 weist für das Jahr 2040 die daraus resultierende Anzahl an installierten Heizungswärmepumpen in der Lausitz im Bestand und Zubau aus.

⁸⁴ Der Bundesverband Wärmepumpe e.V. (BWP) verwendet in der Studie auch eigene Annahmen bezüglich des Feldbestandes auf Bundesebene im Jahr 2040. Diese ergeben, auf die Lausitz angewendet, leicht höhere Werte (+ 0,6 % im Szenario *Current Policies* sowie + 4,5 % in Szenario *Klimaneutral 2045*). Die Unterschiede lassen sich auf die vorgenommene Interpolation der Werte zurückführen. Da zur Ermittlung der installierten Leistungen im Feldbestand die zeitliche Entwicklung der Leistungszahlen in die Betrachtung einbezogen werden soll, bedarf es allerdings einer jährlich aufgelösten Entwicklung, weshalb im Folgenden die Werte aus Tab. 2-56 verwendet werden.

⁸⁵ Die prognostizierte Entwicklung der Sole-Wärmepumpen wird im Folgenden auch für die Entwicklung der Leistungszahlen von Grundwasser-Wärmepumpen verwendet.

Tab. 2-58: Szenariowerte Anzahl Anlagen Zubau und Feldbestand Heizungswärmepumpen Lausitz nach Technologien im Jahr 2040

Quelle: eigene Berechnung unter Verwendung von BWP (2020a; 2020b; 2021a); Statistisches Bundesamt (2013a)

| Szenario | Current Policies | Klimaneutral 2045 |
|----------------------------|------------------|-------------------|
| Zubau 2040 gesamt | 7.779 | 13.087 |
| Luft | 6.190 | 10.415 |
| Erdwärme | 1.329 | 2.236 |
| Grundwasser | 259 | 436 |
| Bestand 2040 gesamt | 96.309 | 201.281 |
| Luft | 76.646 | 160.186 |
| Erdwärme | 16.453 | 34.386 |
| Grundwasser | 3.210 | 6.709 |

In einem letzten Schritt werden nun die Entwicklungen der Absatzzahlen und die Entwicklung der Leistungszahlen zusammengebracht. Auch in Bezug auf letztere wird hierbei vereinfachend eine lineare Entwicklung zwischen den Stützjahren angenommen. Die installierte Leistung von Heizungswärmepumpen in der Lausitz ist in Tab. 2-59 differenziert nach Bestand und Zubau dargestellt, sowie grafisch in Abb. 2-16.

Tab. 2-59: Szenariowerte Installierte Leistung Zubau und Feldbestand Heizungswärmepumpen Lausitz nach Technologien im Jahr 2040

Quelle: eigene Berechnung unter Verwendung von BWP (2020a; 2020b; 2021a; 2021b); Statistisches Bundesamt (2013a)

| Szenario | Current Policies | Klimaneutral 2045 |
|----------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Zubau 2040 gesamt | 66,8 MW_{th} | 112,5 MW_{th} |
| Luft | 52,6 MW _{th} | 88,5 MW _{th} |
| Erdwärme | 11,9 MW _{th} | 20,1 MW _{th} |
| Grundwasser | 2,3 MW _{th} | 3,9 MW _{th} |
| Bestand 2040 gesamt | 875,5 MW_{th} | 1.819,8 MW_{th} |
| Luft | 687,1 MW _{th} | 1.427,8 MW _{th} |
| Erdwärme | 157,7 MW _{th} | 328,0 MW _{th} |
| Grundwasser | 30,7 MW _{th} | 64,0 MW _{th} |

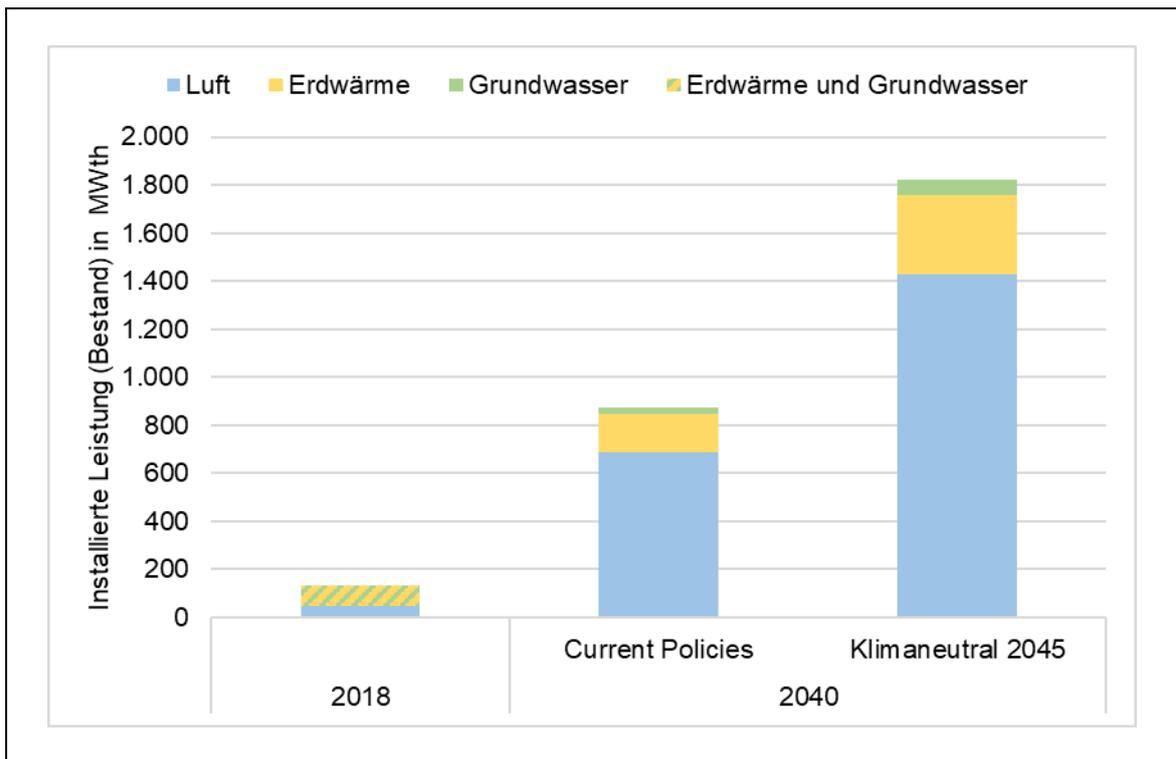


Abb. 2-16: Szenariowerte Installierte Leistung Feldbestand Heizungsärmepumpen Lausitz nach Technologien 2018 und im Jahr 2040 in den beiden Zielszenarien

Quelle: eigene Berechnung unter Verwendung von BWP (2020a; 2020b; 2021a; 2021b); Statistisches Bundesamt (2013a)

Zuletzt werden die Werte für den Zubau und den Bestand im Betrachtungsjahr 2040 unterschiedlichen Leistungsklassen zugeordnet. Die Zuordnung basiert auf Auswertungen der Verteilung nach Leistungsklassen heute abgesetzter Wärmepumpen für die drei betrachteten Technologien (Luft, Erdwärme, Grundwasser). Die resultierende Verteilung für den Feldbestand in 2040 ist in Abb. 2-17 dargestellt.

Es wird deutlich, dass der Großteil der im Jahr 2040 installierten Anlagen in beiden Szenarien in Leistungsklassen bis 20 kW_{th} liegt. Dies deckt sich mit der Erwartung, dass der überwiegende Anteil installierter Wärmepumpen in EZFH sowie in kleinen Mehrfamilienhäusern verbaut wird. Insbesondere Erdwärmepumpen, von welchen ein verhältnismäßig großer Anteil in Leistungsklassen über 20 kW_{th} installiert wird, kommen aufgrund ihrer höheren Effizienz für einen Einsatz in den letztgenannten Wohngebäuden mit bis zu 13 Wohneinheiten in Frage.

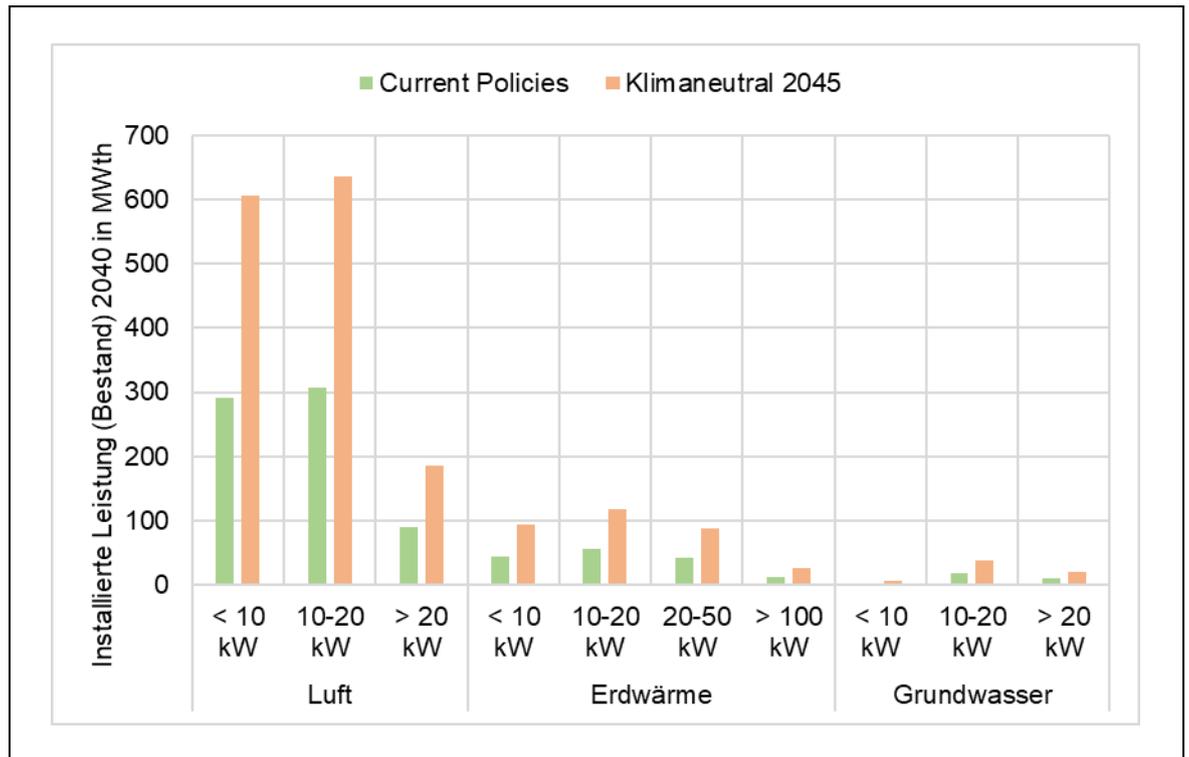


Abb. 2-17: Szenariowerte Installierte Leistung Feldbestand Heizungsärmepumpen in der Lausitz nach Technologien und Leistungsklassen im Jahr 2040

Quelle: eigene Berechnung unter Verwendung von BWP (2020a; 2020b; 2021a; 2021b); Statistisches Bundesamt (2013a)

Ein Abgleich der Zahlen mit den zuvor beschriebenen Potenzialen der Wärmepumpen in der Lausitz lässt die Szenarioergebnisse durchaus realisierbar erscheinen. Im ambitionierten *Klimaneutral 2045*-Szenario könnte die Bestandszahl sogar allein durch Installationen in den vorhandenen freistehenden Ein- und Zweifamilienhäusern erreicht werden. Dies lässt einen ausreichenden Spielraum für diejenigen Gebäude, welche sich aufgrund unzureichender energetischer Dämmung, bestehender Fernwärmeanschlüsse oder aufgrund von Flächenrestriktionen nicht für die Installation einer Wärmepumpe eignen. Zudem sind in den Potenzialen etwaige Neubauaktivitäten noch nicht inbegriffen, in welchen die Wärmepumpe schon heute (zumindest bei Ein- und Zweifamilienhäusern) die am häufigsten verbaute Heizungstechnologie darstellt (vgl. Abschnitt 2.6.1).

Insgesamt sind für die Erschließung der hier aufgezeigten Potenziale ausreichende Kapazitäten in Planung und ausführendem Handwerk unerlässlich, zudem müssen Gebäude in ausreichendem Maße und Tempo energetisch saniert werden, damit Wärmepumpen effizient zum Einsatz kommen (vgl. hierzu die Ausführungen im Abschnitt 2.5).

2.6.4 Fazit und Empfehlungen

Heizungswärmepumpen werden auch in der Lausitz einen maßgeblichen Beitrag zum Erreichen der klimapolitischen Ziele im Gebäudesektor leisten. Die Ausbauraten müssen in den kommenden Jahren und insbesondere in der Dekade bis 2030 deutlich gesteigert werden, was insbesondere für das ausführende Handwerk eine große Herausforderung darstellt. Auch wenn in der Lausitz heute erdgekoppelte Anlagen sowohl beim Bestand als auch beim Zubau den größeren Anteil

der installierten Anlagen stellen, dürfte sich diese Verteilung der bundesweiten Entwicklung entsprechend in den nächsten Jahren zugunsten der Luft-Wärmepumpen verändern, die auch in der Installation kostengünstiger und vor allem weniger zeitintensiv sind.

Die verbauten Anlagen werden bis 2040 zu großen Anteilen in Ein- und Zweifamilienhäusern sowie in kleinen Mehrfamilienhäusern mit bis zu 13 Wohneinheiten verbaut werden. Neben den Potenzialen im Neubausegment, in welchem die Wärmepumpe schon heute (zumindest in EZFH) die am häufigsten verwendete Technologie darstellt, wird die Wärmepumpe auch in einem Großteil der kleinen Bestandsgebäude verbaut werden, mitunter integriert in einem bivalenten Heizsystem. Einen großen Beitrag hierzu leistet die energetische Gebäudesanierung, welche einen effizienten und ökonomisch tragfähigen Einsatz der Technologie erst ermöglicht (siehe Abschnitt 2.5).

Um die ambitionierten Ausbauziele der Heizungswärmepumpen zu ermöglichen, sind eine Reihe an **Maßnahmen** notwendig. Die Entwicklung der vergangenen Jahre zeigt hierbei, dass die zur Verfügung gestellten Bundesfördermittel die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpen gegenüber herkömmlichen fossilen Heizsystemen ermöglicht, was sich in den starken Steigerungen der Absatzzahlen zeigt. Dennoch werden heute noch immer deutlich mehr fossile Heizsysteme installiert. Zum einen bedarf es einer **Verstetigung der Bundesfördermittel**, welche sowohl den Gebäudeeigentümerinnen und –eigentümern als auch den ausführenden Handwerksunternehmen Planungssicherheit ermöglichen. Zum anderen braucht es insbesondere für Gebäude, bei welchen die Wirtschaftlichkeit aufgrund der Gebäudegröße, -typologie oder anderer Faktoren zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht gegeben ist, **flankierende Landesfördermittel**, welche den Einbau einer fossilen Heizung und damit einhergehende Lock-in-Effekte verhindern. Erklärtes Ziel muss sein, dass in nahezu allen neu errichteten EZFH und kleinen MFH eine Wärmepumpe installiert wird. Wo aus technischer und ökonomischer Sicht möglich, sollte eine erdgekoppelte Wärmepumpe (ggf. unter zusätzlicher Nutzung eines Wärmespeichers) eingesetzt werden, da diese aufgrund der höheren Effizienz und dem damit einhergehenden geringeren Strombedarf auch gesamtwirtschaftliche Vorteile mit sich bringt. Verstetigte und ggf. erhöhte Fördermittel können insbesondere im Neubausegment zudem mit **ordnungspolitischen Anforderungen** einhergehen. Die im Koalitionsvertrag (SPD et al. 2021) vorgesehene Verschärfung des Neubaustandards und die damit einhergehende höhere Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpen gegenüber anderen Technologien sowie die Pflicht zum Einsatz von mindestens 65 Prozent Erneuerbaren Energien von ab 2025 neu installierten Heizungen können hierzu einen wichtigen Beitrag leisten⁸⁶.

Im Bestand braucht es neben den genannten Fördermitteln zusätzlich niedrigschwellige kommunale **Informations- und Beratungsangebote** für Gebäudeeigentümerinnen und –eigentümer, damit diese sich bereits vor 2025 bei Austausch einer fossilen Anlage für eine Wärmepumpe entscheiden. Insbesondere im Zeitraum bis 2030 müssen die Absatzzahlen deutlich erhöht werden. Das Handwerk, welches häufig und insbesondere für Eigenheimbesitzerinnen und -besitzer eine wichtige Anlaufstelle bei Fragen rund um die energetische Ertüchtigung des eigenen Gebäudes und die Installation einer neuen Heizungsanlage darstellt, muss dahingehend frühzeitig geschult werden. Bei schrittweiser Umsetzung von Sanierungsvorhaben (z. B. mittels individuellem Sanierungsfahrplan (iSFP) sollte zudem darauf geachtet werden, dass das Gebäude schnellstmöglich „Niedertemperatur-ready“ wird. Dies bedeutet, dass die Vorlauftemperatur des Heizungssystems

⁸⁶ Weitere aktuelle Entwicklungen, welche die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpe gegenüber insbesondere fossilen Heizungstechnologien erhöhen (können), sind die von der Bundesregierung geplante Abschaffung der EEG-Umlage zum Juli 2022 sowie das zum Berichtszeitpunkt außerordentlich hohe Niveau der Erdgas- und Heizölpreise.

bei der Sanierung so weit abgesenkt wird, dass das Gebäude beim nächsten anstehenden Heizungswechsel bereits für den Einsatz einer Wärmepumpe vorbereitet ist (vgl. hierzu Mellwig et al. (2021)).

Neben frühzeitigen Informationskampagnen ist eine **Umschulung vorhandener Fachkräfte** und Fachbetriebe unerlässlich. Da dieser Prozess Zeit in Anspruch nehmen wird, muss damit unmittelbar begonnen werden. Die Fachbetriebe müssen bei der Umstellung sowohl fachlich als auch finanziell unterstützt werden. Zudem ist für die Planungssicherheit der Betriebe eine dauerhafte Nachfrage nach Wärmepumpen unerlässlich, die durch die bereits genannte Verstetigung der Fördermittel gefördert werden kann. Neben der Weiterbildung vorhandener Fachkräfte ist in Anbetracht des Mangels an neu ausgebildeten Fachkräften zudem eine **Ausbildungsoffensive** notwendig. Dies ist insbesondere im Kontext des demografischen Wandels wichtig, welcher sich bereits heute in der Baubranche durch hohe Ausstiegszahlen bemerkbar macht.

2.7 Gesamtschau: Energiewendeszzenarien für die Lausitz

Die vorhergehenden Kapitel 2.2 bis 2.6 dienten der Identifikation von Entwicklungspotenzialen im Bereich der Energiewendewirtschaft in der Lausitz sowie deren Quantifizierung anhand von zwei Szenarien. Dabei werden Entwicklungspotenziale als technisch-ökonomische Potenziale aufgefasst, deren Erschließbarkeit vor dem Hintergrund aktuell bestehender (gesellschafts-)politischer Restriktionen diskutiert wurde. Da die Lausitz spezifische Voraussetzungen bezüglich Humankapital, Infrastrukturen oder Flächen aufweist, die die Entwicklung zu einer zukunftsfähigen Energieregion beeinflussen, wurden in Vorarbeiten (Erläuterungen hierzu siehe Abschnitt 2.1.1) zunächst **geeignete Energiewende-Technologien und Energieeffizienzmaßnahmen** ausgewählt. Kriterien hierbei waren die – teils perspektivische – Relevanz für den Standort Lausitz, sowie die Datenverfügbarkeit und der Differenziertheitsgrad einer Technologie. Eine eingehende Bestandsaufnahme des Status quo im Jahr 2018 erfolgte schließlich für die Bereiche Onshore-Windenergie, Photovoltaik (gebäudeintegriert und auf der freien Fläche), Bioenergie (Biogas, Biomethan, Holz-HKW, Kleinfeuerungsanlagen), energetische Gebäudesanierung sowie Wärmepumpen zur dezentralen Wärmeversorgung in Gebäuden.

In dem Vorhaben wurden zwei Szenarien modelliert, um mögliche Entwicklungspfade ausgewählter Energiewendebereiche zu quantifizieren. Das **Current Policies-Szenario** bildet die Entwicklungen in der Lausitz basierend auf den zum Zeitpunkt der Berichterstellung technischen und politischen Rahmenbedingungen ab. Das **Klimaneutral 2045-Szenario** stellt ein ambitionierteres Ausbauszenario dar und orientiert sich an bundesweiten Studien, die Szenarien für eine erfolgreiche Transformation zur Klimaneutralität bis 2045 entwickelt haben.

Die Analyse der fünf ausgewählten Energiewende-Bereiche ergibt, dass die Flächenregion Lausitz über ein hohes Energiewendepotenzial verfügt. Im Bereich **Onshore-Wind** wird in beiden Szenarien bis 2040 ein starker Zuwachs der installierten Leistung um mehr als 150 Prozent erwartet (siehe Tab. 2-60). Im **Klimaneutral 2045-Szenario** können auf einer Windenergiebeitragsfläche von 2,2 Prozent so etwa 3,6 GW installiert werden, im **Current Policies-Szenario** knapp 3,3 GW auf einer etwas kleineren Fläche von 2,0 Prozent. Die erzeugten Strommengen steigen im **Current Policies-Szenario** dadurch um knapp das Zweieinhalbfache und im **Klimaneutral 2045-Szenario** um knapp das Dreifache gegenüber der heutigen Produktion an, da angenommen wurde, dass bis 2040 deutlich leistungsstärkere Windenergieanlagen (insbesondere im **Klimaneutral 2045-Szenario**) gebaut werden. Die tatsächlichen Flächenbedarfswerte können jedoch nach Größe bzw. Leistung und räumlicher Anordnung der Anlagen auch anders ausfallen; werden beispielsweise zukünf-

tig aufgrund von Standortanforderungen (z. B. im Rahmen von Repowering oder aus Akzeptanzgründen) doch vermehrt kleinere Anlagen eingesetzt, dann steigt entsprechend der Flächenbedarf. Insbesondere in der Region Oberlausitz-Niederschlesien muss der Windenergieausbau in den nächsten Jahren angetrieben werden, da hier bislang im Vergleich zum brandenburgischen Teil der Lausitz erst ein Bruchteil installiert wurde. Damit die Akzeptanz vor Ort geschaffen, erhalten oder gesteigert werden kann, braucht es eine Ausweitung der finanziellen und prozeduralen Beteiligungsmöglichkeiten sowie eine chancenbetonte Kommunikation mit der lokalen Bevölkerung. Ebenso wichtig ist die Steigerung der Verwaltungskapazitäten, um Planungsprozesse zu beschleunigen, sowie die verstärkte Nutzung der Tagebauflächen.

Photovoltaikanlagen können als größter regionaler Energiewendetreiber in der Lausitz betrachtet werden. Ihr zusätzliches Ausbaupotenzial von 13,3 GW im *Klimaneutral 2045*-Szenario war im Jahr 2018 mit rund 1,7 GW nur zu rund 13 Prozent ausgeschöpft (siehe Tab. 2-60). Da in diesem progressiveren Szenario nicht nur höhere Potenziale bei gebäudegebundenen Anlagen (sowohl auf den Dächern, als auch an Fassaden), sondern auch innovative PV-Anwendungen wie Agri- und Floating PV berücksichtigt wurden, ist das Ausbaupotenzial hier mit 15 GW fast dreimal Mal höher im Vergleich zum *Current Policies*-Szenario (rund 5,0 GW). Dabei tragen die gebäudebezogenen Anlagen rund 50 Prozent der Leistung bei, etwa ein Drittel entfällt auf klassische Freiflächenanlagen, der Rest überwiegend auf die Agri-PV, die eine Mehrfachnutzung der knappen Flächen ermöglicht. Ein beschleunigter Ausbau benötigt bessere Rahmenbedingungen, aber auch verpflichtende Maßnahmen für Anwendungen, die eine wirtschaftliche Nutzung erlauben. Flächenschonende Ansätze müssen honoriert und gemeinschaftliche Energieerzeugung ermöglicht werden, und die Planung, die Genehmigung, der Anschluss und der Betrieb müssen in Bezug auf den bürokratischen Aufwand deutlich entschlackt werden, sowohl für Planer und Betreiber als auch für Prosumer und Mieterstrommodelle. Wie bei den Windenergieanlagen bieten auch hier die Tagebauflächen für die PV ein besonderes Potenzialgebiet, das hier noch nicht explizit berücksichtigt wurde. Insbesondere für die Umsetzung der hohen Ausbautzahlen des *Klimaneutral 2045*-Szenarios muss zudem eine Fachkräfteoffensive erfolgen, um dem Mangel in der Region zu begegnen.

Im Bereich der **Bioenergie** wird im *Current Policies*-Szenario aufgrund der Flächenkonkurrenz ein deutlicher Rückgang der energetischen Nutzung von Biomasse bis 2040 erwartet, während die stoffliche Nutzung (Bioökonomie, hier nicht explizit betrachtet) wachsen wird (siehe Tab. 2-60). Das *Klimaneutral 2045*-Szenario sieht eine leichte Steigerung der energetischen Nutzung von Biomasse vor, wobei sich hier der Schwerpunkt von der Stromproduktion zum Wärme- und Transportsektor verlagert. Im Vergleich zu PV und Wind sind die Potenziale der Biomasse in der Lausitz bezogen auf den Status quo in 2018 allerdings weitgehend erschöpft. Der Beitrag fällt mit Blick auf die Leistung daher moderat aus, allerdings spielen die Anlagen bei der möglichen Bereitstellung von Systemdienstleistungen oder/ und Brennstoffen für die Sektorkopplung eine wichtige Rolle für das Funktionieren des gesamten Energiewendesystems der Zukunft. Voraussetzung für eine moderate Ausweitung der Bioenergieproduktion ist die Priorisierung der kaskadischen Nutzung von Biomasse und der Fokus auf Rest- und Abfallstoffe. Zudem sollte der Biomasseanbau auf mehrfach, hybrid genutzten Flächen erfolgen, die idealerweise auch als THG-Senken dienen (z. B. im Rahmen von Wiedervernässung von Moorflächen) und/ oder auf denen erneuerbare Energie beispielsweise mit Agri-PV-Anlagen erzeugt wird.

Zum Erreichen der klimapolitischen Ziele insgesamt sowie speziell im Gebäudesektor ist eine Ausweitung der **energetischen Gebäudesanierung** unabdingbar, denn nur mit signifikanten Energieeinsparungen können die knappen erneuerbaren Energiequellen zu einer vollständigen Transformation beitragen. Im *Current Policies*-Szenario wächst die Sanierungsrate von <1 Prozent in 2018

auf durchschnittlich 1,6 Prozent in 2040 (siehe Tab. 2-60). Mit einem Anteil ambitionierter Sanierungen an den Sanierungsaktivitäten von 33 % kann im Jahr 2040 eine durchschnittliche Heizwärmereduktion von 50 Prozent erreicht werden. Dagegen ist die Sanierungsrate im *Klimaneutral 2045*-Szenario mit über 3,3 Prozent in 2040 deutlich höher. Hier liegt auch der Anteil ambitionierter Sanierungen an den Sanierungsaktivitäten mit 90 Prozent signifikant höher, wodurch eine durchschnittliche Heizwärmereduktion von 60 Prozent erreicht wird. Die höchsten Sanierungsaktivitäten sind im Ein- und Zweifamilienhaussegment zu erwarten. Um die derzeit unzureichenden Sanierungsraten zu erhöhen, ist eine Verstärkung der Fördermittel auf Bundesebene notwendig, welche sowohl für die Eigentümer und Eigentümerinnen der Gebäude als auch für die beteiligten Handwerksunternehmen die Planungssicherheit deutlich erhöht. Eine gestufte Sanierungspflicht ist aktuell über die EU-Ebene in Vorbereitung und kann mittelfristig folglich auch in Deutschland eingeführt werden. Die Förderkulisse sowie die Modernisierungumlage sind dabei so zu gestalten, dass finanzielle Belastungen für Mieterinnen und Mieter begrenzt werden. Auch im Bereich der Gebäudesanierung ist der Fachkräftebedarf massiv zu adressieren sowie begleitend eine Qualifizierungsoffensive durchzuführen.

Im Kontext der Energieeffizienzmaßnahmen im Gebäudesektor verfügen auch **Wärmepumpen** für Heizung und Warmwasser über große Potenziale in der Lausitz. Während heute erdgekoppelte Wärmepumpen sowohl im Bestand als auch im Zubau dominieren, wird sich dieses Verhältnis analog zur bundesweiten Entwicklung voraussichtlich umkehren, sodass die in der Installation kosteneffizienteren Luft-Wärmepumpen bis 2040 voraussichtlich überwiegen. Im *Current Policies Szenario* umfassen Luft-Wärmepumpen einen Anteil von etwa 60 Prozent, im *Klimaneutral 2045 Szenario* sogar knapp 80 Prozent der installierten Leistung (siehe Tab. 2-60). Dabei sind aus Effizienzgründen geothermische Anlagensysteme im Regelfall zu bevorzugen und stärker zu fördern, mit zunehmender Verbreitung auch in den dichter besiedelten Gebieten wird sich jedoch die Anzahl der günstigeren und einfacher zu installierenden Luft-Wärmepumpen voraussichtlich stärker erhöhen. In beiden Szenarien werden im Jahr 2040 überwiegend Anlagen in Leistungsklassen bis 20 kW_{th} installiert, wovon der Großteil der Anlagen in Ein- und Zweifamilienhäusern sowie in kleinen Mehrfamilienhäusern verbaut sein wird. Für den Einsatz in Wohngebäuden mit bis zu 13 Wohneinheiten erweisen sich Erdwärmepumpen, größtenteils in Leistungsklassen über 20 kW_{th}, aufgrund ihrer höheren Effizienz als sinnvoll. Wie im Bereich der Photovoltaik und der energetischen Gebäudesanierung ist es für einen Wärmepumpen-Boom unabdingbar, einerseits Fördermittel zu verstetigen und andererseits Fachkräfte aus- und weiterzubilden, um eine signifikant höhere Nachfrage mit ausreichend Personal zu bewältigen. Neben den hier betrachteten kleineren, dezentralen Wärmepumpensystemen bietet diese Technologie auch im größeren Maßstab für den Einsatz in Wärmenetzen und in Industrie und Gewerbe große Potenziale, die hier nicht berücksichtigt wurden.

Tab. 2-60: Übersicht ausgewählter Energiewendepotenziale in der Lausitz: Status quo im Jahr 2018 und Szenarioergebnisse für das Betrachtungsjahr 2040

Gerundete Werte. Abweichungen der Summe aus Lausitz-Spreewald (L-S/ BB) und Oberlausitz-Niederschlesien (O-N/ SN) zu Lausitz gesamt (L gesamt) liegen in Rundungsungenauigkeiten begründet.

| Schlüssel-indikator | Energie-wende-Bereich | Region/ Gebiet | Status quo | Szenario Current Policies | Szenario Klimaneutral 2045 | |
|-----------------------|--|----------------|------------------------|--|--|-----------------------|
| Installierte Leistung | Windenergie | L gesamt | 2,1 GW _{el} | 3,3 GW _{el} | 3,6 GW _{el} | |
| | | L-S/ BB | 1,77 GW _{el} | 2,27 GW _{el} | 2,39 GW _{el} | |
| | | O-N/ SN | 0,34 GW _{el} | 1,02 GW _{el} | 1,18 GW _{el} | |
| | Photovoltaik gesamt | L gesamt | 1,7 GW _{el} | 4,9 GW _{el} | 15 GW _{el} | |
| | | L-S/ BB | 1,29 GW _{el} | 2,58 GW _{el} | 8,81 GW _{el} | |
| | | O-N/ SN | 0,45 GW _{el} | 2,29 GW _{el} | 6,24 GW _{el} | |
| | Davon Freiflächen-PV <small>[im Klimaneutral 2045 Szenario inklusive Agri- & Floating-PV]</small> | L gesamt | 1,27 GW _{el} | 3 GW _{el} | 7 GW _{el} | |
| | | L-S/ BB | 1 GW _{el} | 1,8 GW _{el} | 4,75 GW _{el} | |
| | | O-N/ SN | 0,27 GW _{el} | 1,12 GW _{el} | 2,26 GW _{el} | |
| | Bioenergie | L gesamt | | 0,14 GW _{el} | 0,05 GW _{el} | 0,13 GW _{el} |
| | | | | 0,21 GW _{th} | 0,02 GW _{th} | 0,32 GW _{th} |
| | | L-S/ BB | | 0,09 GW _{el} | 0,03 GW _{el} | 0,09 GW _{el} |
| | | | | 0,10 GW _{th} | 0,01 GW _{th} | 0,15 GW _{th} |
| | | O-N/ SN | | 0,05 GW _{el} | 0,02 GW _{el} | 0,04 GW _{el} |
| | | | | 0,11 GW _{th} | 0,01 GW _{th} | 0,17 GW _{th} |
| | Wärmepumpen | L gesamt | | 0,134 GW _{th} | 0,88 GW _{th} | 1,82 GW _{th} |
| | | L-S/ BB | | 0,075 GW _{th} | 0,46 GW _{th} | 0,95 GW _{th} |
| | | O-N/ SN | | 0,059 GW _{th} | 0,42 GW _{th} | 0,87 GW _{th} |
| Davon Luft-WP | L gesamt | | 0,048 GW _{th} | 0,69 GW _{th} | 1,43 GW _{th} | |
| | L-S/ BB | | 0,024 GW _{th} | 0,36 GW _{th} | 0,74 GW _{th} | |
| | O-N/ SN | | 0,025 GW _{th} | 0,33 GW _{th} | 0,69 GW _{th} | |
| Sanierungsrate | Energetische Gebäudesanierung | L gesamt | < 1 % | 1,6 % [davon 33 % Passivhausniveau] | 3,3 % [davon 90 % Passivhausniveau] | |

Aufgrund eines vermehrten Einsatzes von Strom in anderen Sektoren rechnen die Landesregierungen in Brandenburg und Sachsen langfristig mit einem **steigenden Stromverbrauch** (SMEKUL 2021; MWAE 2021). So erwarten etwa Falkenberg et al. (2021) im Gutachten zur Fortschreibung der brandenburgischen Energiestrategie, dass der Stromverbrauch im Land Brandenburg durch

neue Industrie- und Gewerbeansiedlungen um knapp 10 Prozent von 16,6 TWh in 2018 auf 18,2 TWh in 2040 steigen wird. Diese Steigerungsrate würde, angewendet auf die Lausitz, einen regionalen Stromverbrauch von rund 6,3 TWh im Jahr 2040 bedeuten, ausgehend von einem geschätzten Stromverbrauch von 5.760 GWh im Jahr 2018.

Bei der genaueren Betrachtung der Stromerzeugungspotenziale von Wind, PV und Bioenergie (siehe Tab. 2-61) wird deutlich, dass die hier ermittelten Stromerzeugungspotenziale der Region Lausitz in beiden Szenarien weit über dem zukünftig prognostizierten Strombedarf liegen. Damit verfügt die Region über erhebliche Kapazitäten etwa für die Produktion von Wasserstoff, für neue industrielle Ansiedlungen, oder für Stromexporte in die anliegenden Ballungszentren Berlin und Dresden. So würde bei einem großzügig geschätzten regionalen Stromverbrauch von 6,5 TWh in 2040 im *Current Policies*-Szenario rund 55 Prozent des in der Lausitz erzeugten EE-Stroms aus Wind, PV und Biomasse (etwa 14,4 TWh) für Neuansiedlungen bzw. für die Stromversorgung anderer Regionen im Verbundnetz zur Verfügung stehen. Im *Klimaneutral 2045*-Szenario würden in Summe sogar mehr als 75 Prozent der erzeugten EE-Strommengen in der Lausitz für neue (überregionale) Anwendungen und zusätzliche Stromexportbedarfe im Verbundnetz zur Verfügung stehen.

Tab. 2-61: Erneuerbare Stromerzeugung mit Windenergie- und Photovoltaikanlagen in der Lausitz in 2018 sowie in 2040 unter verschiedenen Szenariobedingungen

Quelle: Eigene Darstellung

| | Status quo der EE-Stromerzeugung im Jahr 2018 [in GWh] | EE-Stromerzeugung im Szenario <i>Current Policies</i> im Jahr 2040 [in GWh] | EE-Stromerzeugung im Szenario <i>Klimaneutral 2045</i> im Jahr 2040 [in GWh] |
|--|---|--|---|
| Wind an Land | 3.804 | 9.286 | 11.105 |
| Photovoltaik | 1.700 | 4.885 | 14.500 |
| Bioenergie (aus Holz-HKW und Biogasanlagen) | 920 ⁸⁷ | 215 ⁸⁸ | 559 ⁸⁹ |
| Kombi Wind, PV und Bioenergie | 6.424 | 14.386 | 26.164 |
| Stromverbrauch (geschätzt) | 5.760 | 6.315 | |

⁸⁷ Annahme, dass Bioenergieanlagen im Jahr 2018 eine Volllaststundenzahl von durchschnittlich 6.570 Stunden/ Jahr erreichen. Einschätzung der jährlichen Volllaststunden laut Expert*innen und Betreiber*innen variiert zwischen 6.000-8.000 h/a.

⁸⁸ Annahme gemäß Falkenberg et al. (2021), dass Bioenergieanlagen im Jahr 2040 eine Volllaststundenzahl von durchschnittlich 4.300 Stunden/ Jahr erreichen.

⁸⁹ Siehe vorige Fußnote.

3 Regionalökonomische Effekte der Szenarien im Jahr 2040

In diesem Kapitel erfolgt die Ermittlung ausgewählter regionalökonomischer Effekte, die durch unterschiedliche Aktivitätsniveaus beteiligter regionaler Akteure entlang der Wertschöpfungsketten der hier untersuchten Energiewendetechnologien und –Dienstleistungen entstehen können. Dabei wird für das hier im Vordergrund stehende Jahr 2040 auf den zuvor entwickelten technologiespezifischen Entwicklungsszenarien aufgebaut und diese mit einer weiteren Szenariendimension mit Blick auf die Beteiligung am Wertschöpfungsprozess versehen. Dabei wird für das *Current Policies*-Szenario ein konservativer Beteiligungsansatz gewählt, der in etwa dem heutigen Beteiligungsniveau entspricht, während für das progressivere Szenario *Klimaneutralität 2045* ein ebenso ambitionierterer Beteiligungsansatz von der Planung über die Errichtung und die Investition angenommen wird. Damit wird im Ergebnis ein regionalökonomischer Möglichkeitsraum aufgespannt, der die Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale in der Region durch die hier betrachteten Technologien und Entwicklungen für das Jahr 2040 aufzeigt.

3.1 Status quo der Energiewendewirtschaft in der Lausitz

Für die Ermittlung regionalökonomischer Effekte durch die ausgewählten Energiewende-Technologien im Jahr 2040 bedarf es zunächst einer Erfassung des Status quo. Auf der Grundlage der aktuellen Situation können dann Annahmen zur zukünftigen Entwicklung getroffen werden. Deswegen erfolgte zunächst eine Bestandsaufnahme der Energiewendewirtschaft in der Lausitz für das Basisjahr 2018. Ziel der Arbeiten war es, ein möglichst vollständiges Bild zu den Herstellern von Anlagen und Komponenten sowie Dienstleistern zu bekommen, die ganz oder anteilig im Bereich der Energiewendewirtschaft tätig sind. Der Fokus lag dabei auf den ausgewählten EE-Technologien (siehe Abschnitt 2.1.1). Unternehmen, die dem regionalen Handwerk zugerechnet werden können, wurden bei der Analyse nicht vertieft betrachtet. Dies geschah aus zwei Gründen: zum einen haben Gespräche mit Expertinnen und Experten bei früheren Untersuchungen ergeben, dass Sanierungsvorhaben bei Wohngebäuden sowie Installations- und Wartungsdienstleistungen bei Anlagen zur erneuerbaren Energieerzeugung im niedrigeren Leistungsbereich (z. B. PV-Dachanlagen auf Eigenheimen, kleine Wärmepumpen und holzbefeuerte Zentralheizungsanlagen) in der Regel von Handwerksunternehmen in der Region abgedeckt werden können (vgl. Rupp et al. 2017; Brand et al. 2017; Richwien et al. 2018). Es ist somit davon auszugehen, dass für diese Technologien und Leistungsbereiche Kompetenzen in der Lausitz vorhanden sind. Zum anderen ist die Zahl der Handwerksunternehmen groß und es schien somit sinnvoll, die Auswertung der Unternehmenslandschaft auf die Betriebe zu konzentrieren, bei denen das größte Wissensdefizit mit Blick auf die Energiewendeaktivitäten bestand. Die Erfassung des Status quo der Energiewendewirtschaft konzentrierte sich somit auf die Technologien Windenergie, Photovoltaik und Bioenergie.

Eine einfache Erfassung der Unternehmen über die amtlichen Statistiken ist nur sehr eingeschränkt möglich. Denn gemäß der aktuellen Wirtschaftszweigklassifikation WZ 2008 umfasst der Abschnitt „D Energieversorgung“ sowohl neben mit erneuerbaren Energieträgern betriebene Kraftwerke auch fossilthermische und nukleare Kraftwerke (Statistisches Bundesamt 2008). Zudem liefert die Statistik keine direkten Informationen über Hersteller von Energiewendetechnologien bzw. Komponenten davon. Auch Dienstleister, welche Anlagen planen, installieren und warten, werden nicht erfasst. Daher musste eine Vorgehensweise entwickelt werden, um auf Basis der verfügbaren Statistiken und weiterer Informationen die energiewendebezogenen Aktivitäten bei ausgewählten EE-Technologien möglichst gut abzubilden. Diese wird im Anhang beschrieben (Abschnitt 6.2).

Insgesamt konnten 37 Unternehmen identifiziert werden, die ganz oder anteilig mit der Herstellung von Anlagen und Komponenten sowie Dienstleistungen im Zusammenhang mit den EE-Technologien Windenergie, Photovoltaik und Bioenergie in Verbindung gebracht werden können. Dies umfasst sowohl Hersteller als auch Dienstleistungsunternehmen in den Bereichen Planung, Installation, Anlagenbetrieb und Wartung. Davon sind vier Unternehmen der Herstellung von Anlagen und -komponenten zuzuordnen und 33 Unternehmen dem Bereich Dienstleistungen. Die Mehrzahl der Dienstleister ist in den Bereichen Windenergie (13 Unternehmen) und Photovoltaik (14 Unternehmen) aktiv, wobei einige Akteure Dienstleistungen für beide Technologiebereiche anbieten. Sechs Unternehmen sind im Bereich Bioenergie tätig. Bei den Angaben und auch den weiter unten angeführten Kennzahlen ist zu beachten, dass sich diese auf das Basisjahr 2018 beziehen. Einzelne Unternehmen sind in der Region jedoch nicht mehr aktiv. So hat bspw. Vestas seinen Produktionsstandort in Lauchhammer mit rund 460 Mitarbeitern Ende 2021 stillgelegt und die weitere Zukunft des Standorts ist aktuell noch unklar (Handelsblatt 2021; rbb 2022). Bei den Herstellern von Anlagen und Komponenten ist grundsätzlich zu beachten, dass diese in der Regel für den nationalen und internationalen Markt produzieren und somit kein oder nur ein geringer Zusammenhang mit regionalen Ausbauaktivitäten bei EE-Technologien hergestellt werden kann. Bei den Dienstleistungsunternehmen ist ein solcher Zusammenhang eher gegeben, jedoch haben Untersuchungen auch hier gezeigt, dass teilweise ein erheblicher Teil der Umsätze mit Projekten außerhalb der Region erwirtschaftet wird (vgl. Richwien et al. 2018).

Abb. 3-1 bis Abb. 3-4 zeigen die Verortung regionaler Unternehmen entlang der Wertschöpfungsketten Wind- und Bioenergie sowie Photovoltaik. Bei letzterer wurde zwischen Dach- und Freiflächenanlagen unterschieden. Für die Darstellung wurden die Unternehmen mit ihren Produkten und Tätigkeiten den relevanten Stufen und Schritten der Wertschöpfungskette je Technologiebereich zugeordnet.

| | Herstellung von Anlagen und Komponenten | Planung & Installation | Anlagenbetrieb & Wartung |
|---------------|---|-----------------------------------|--|
| Unternehmen 1 | Anlagenbau (BHK) | Planung; Montage | Wartung & Instandhaltung |
| Unternehmen 2 | | Montage (z.B. Filteranlagen) | |
| Unternehmen 3 | | Planung; Installation | technische und kaufmännische Betriebsführung |
| Unternehmen 4 | | | Laboranalysen |
| Unternehmen 5 | | Planung | |
| Unternehmen 6 | | Planung, Installation und Montage | |
| Unternehmen 7 | | Planung, Installation und Montage | |

Abb. 3-1: Aktivitäten der Hersteller und Dienstleister im Bereich Bioenergie in der Lausitz (Status quo 2018, ohne Handwerk)

Quelle: eigene Darstellung

| | Herstellung von Anlagen und Komponenten | Planung & Installation | Anlagenbetrieb & Wartung |
|----------------|--|-------------------------------|---|
| Unternehmen 1 | Produktion von Rotorblättern | | |
| Unternehmen 2 | Entwicklung und Produktion von Wartungs- und Rückbausystemen | | |
| Unternehmen 3 | | Netzanschluss | |
| Unternehmen 4 | | Projektierung | |
| Unternehmen 5 | | | technische Betriebsführung |
| Unternehmen 6 | | Montage (WEA Hydraulik) | |
| Unternehmen 7 | | Standortakquise, Genehmigung | |
| Unternehmen 8 | | Erschließung, GÜ-Leistungen | |
| Unternehmen 9 | | Projektierung | |
| Unternehmen 10 | | | technische Betriebsführung |
| Unternehmen 11 | | Projektierung | technische und kaufmännische Betriebsführung |
| Unternehmen 12 | | | Wartung (elektrische Prüfung & Wartung) |
| Unternehmen 13 | | Planung | technische und kaufmännische Betriebsführung, Wartung |
| Unternehmen 14 | | Planung | |
| Unternehmen 15 | | Planung, Montage (Bauleitung) | Wartung und technische Betriebsführung |

Abb. 3-2: Aktivitäten der Hersteller und Dienstleister im Bereich Windenergie in der Lausitz (Status quo 2018, ohne Handwerk)

Quelle: eigene Darstellung

Nicht für alle identifizierten Unternehmen konnten über die im Anhang (siehe Abschnitt 6.2) beschriebene Vorgehensweise Kennzahlen zu Umsätzen und Beschäftigten im Basisjahr 2018 ermittelt werden. Auf Basis der verfügbaren Angaben war es jedoch möglich, eine Größenordnung für diese Kennzahlen abzuschätzen. Die Umsätze der Hersteller und Dienstleister im Zusammenhang mit den ausgewählten EE-Technologien summieren sich auf eine Größenordnung von rund 245 Mio. Euro. Nahezu 80 Prozent der Umsätze sind Herstellern von Anlagen und Komponenten zuzuordnen, auf die Dienstleistungsunternehmen entfällt somit ein Anteil von etwas mehr als 20 Prozent. Für die Beschäftigten bei den identifizierten Unternehmen wurde eine Größenordnung von 940 Arbeitsplätzen abgeschätzt. Bezogen auf die gesamte Zahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten (am Arbeitsort) in der Lausitz im Jahr 2018 (Statistische Ämter des Bundes und der

Länder 2022) entspricht dies einem Anteil von rund 0,2 Prozent. Rund 75 Prozent sind bei Herstellern beschäftigt und knapp 25 Prozent bei Dienstleistern im Zusammenhang mit der Planung, Installation, Betriebsführung und Wartung von Anlagen tätig.

| | Herstellung von Anlagen und Komponenten | Planung & Installation | Anlagenbetrieb & Wartung |
|----------------|---|---|--|
| Unternehmen 1 | Herstellung von Solarglas | | |
| Unternehmen 2 | | Netzanschluss | |
| Unternehmen 3 | | Planung, Projektierung und Installation | |
| Unternehmen 4 | | Vertrieb von Photovoltaik-Produkten; Planung, Montage und Netzanschluss | |
| Unternehmen 5 | | Planung und Installation | technische und kaufmännische Betriebsführung |
| Unternehmen 6 | | Planung, Projektierung, Installation | technische und kaufmännische Betriebsführung |
| Unternehmen 7 | | Planung, Installation | technische Betriebsführung |
| Unternehmen 8 | | Planung, Projektierung | |
| Unternehmen 9 | | Projektierung und Installation | technische Betriebsführung, Wartung |
| Unternehmen 10 | | Planung, Installation | |
| Unternehmen 11 | | Planung und Installation | |
| Unternehmen 12 | | Planung, Installation | technische und kaufmännische Betriebsführung |

Abb. 3-3: Aktivitäten der Hersteller und Dienstleister im Bereich PV-Freiflächenanlagen in der Lausitz (Status quo 2018 ohne Handwerk)

Quelle: eigene Darstellung

| | Herstellung von Anlagen und Komponenten | Planung & Installation | Anlagenbetrieb & Wartung |
|----------------|---|---|--|
| Unternehmen 1 | Herstellung von Solarglas | | |
| Unternehmen 2 | | Netzanschluss | |
| Unternehmen 3 | | Planung, Projektierung und Installation | |
| Unternehmen 4 | | Vertrieb von Photovoltaik-Produkten | Planung, Montage und Netzanschluss |
| Unternehmen 5 | | Planung und Installation | technische und kaufmännische Betriebsführung |
| Unternehmen 6 | | Planung, Projektierung, Installation | technische und kaufmännische Betriebsführung |
| Unternehmen 7 | | Planung, Installation und Netzanschluss | technische Betriebsführung |
| Unternehmen 8 | | Planung und Installation | Wartung |
| Unternehmen 9 | | Planung und Installation | technische Betriebsführung, Wartung |
| Unternehmen 10 | | Planung und Installation | |

Abb. 3-4: Aktivitäten der Hersteller und Dienstleister im Bereich PV-Dachanlagen in der Lausitz (Status quo 2018 ohne Handwerk)

Quelle: eigene Darstellung

3.2 Methodische Vorgehensweise und Eingangsdaten

3.2.1 Begriffsabgrenzung „regionale Wertschöpfung“

Grundsätzlich ist die regionale Wertschöpfung eine Teilmenge der gesamten globalen Wertschöpfung. Nach Abzug der Vorleistungen (d. h. bezogene Waren und Dienstleistungen), die aus dem Ausland kommen, verbleibt die Wertschöpfung, die dem nationalen Bezugsraum zuzurechnen ist. Bei der Betrachtung einzelner Regionen oder Kommunen müssen weitere Vorleistungen aus anderen Regionen abgezogen werden. Diese rechnerische Vorgehensweise zeigt jedoch weder die Verteilung auf die beteiligten Akteure auf, noch ist sie aufgrund einer unzulänglichen statistischen Erfassung der notwendigen Daten auf regionaler Ebene praktikabel.

Die regionale Wertschöpfung kann, vereinfacht gesehen, auch als Summe der Einkommen und Einnahmen der beteiligten Akteure in einer Region verstanden werden. Auf diese Weise wird nicht nur die Höhe, sondern auch die Verteilung der regionalen Wertschöpfungseffekte auf die beteiligten Akteure abgebildet. Die Wertschöpfung setzt sich dann aus den Einkommensanteilen der Beschäftigten (Löhne und Gehälter) in der Kommune, den Kapitalgebenden (Zinsaufwendungen) mit Sitz in der Kommune, dem Staat bzw. der Kommune als Gebietskörperschaft (Steuern und Abgaben) und den lokalen Unternehmen (Gewinn) zusammen (vgl. Haller 1997; Hirschl et al. 2010). Bei den Steuern und Abgaben kann zwischen Einnahmen der Kommune, der Länder und des Bundes unterschieden werden. Auf regionaler Ebene sind die Steuereinnahmen relevant, die direkt den

kommunalen Haushalten zufließen. Die Kommunen erhalten beispielsweise den größten Teil der Gewerbesteuer, von der sie eine Umlage an den Bund und die Länder entrichten.⁹⁰ Daneben partizipieren die Kommunen anteilig an der veranlagten Einkommen- (15 Prozent) sowie der Abgeltungssteuer (12 Prozent). Die Einkommen der Beschäftigten bei den beteiligten Unternehmen tragen darüber hinaus zu einer Erhöhung der Kaufkraft der Bürgerinnen und Bürger in der Kommune bei. Dies gilt ebenso für die Unternehmensgewinne, welche an die Gesellschafterinnen und Gesellschafter ausgeschüttet oder für Neuinvestitionen genutzt werden.

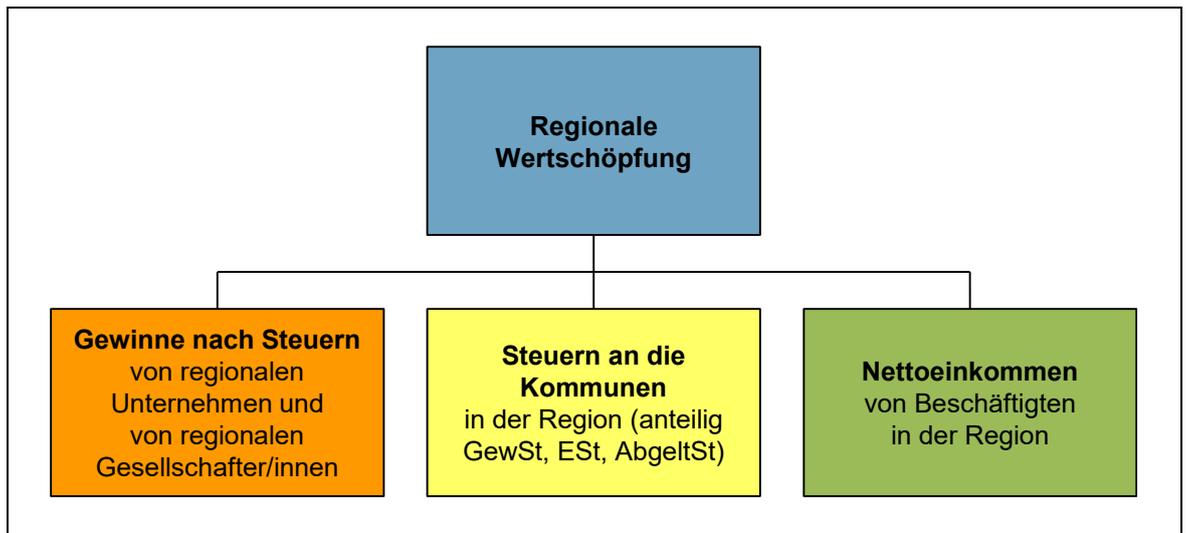


Abb. 3-5: Bestandteile der Wertschöpfung auf regionaler Ebene nach der Wertschöpfungsdefinition in den Modellen des IÖW

Quelle: eigene Darstellung

Die regionale Wertschöpfung setzt sich somit aus folgenden Bestandteilen zusammen: den Gewinnen nach Steuern der Unternehmen sowie Gesellschafterinnen und Gesellschafter mit Sitz in der Region, den Nettoeinkommen der Beschäftigten, welche in der Region wohnhaft sind, sowie den Steuereinnahmen der Kommunen in der Region (siehe Abb. 3-5). Bei der Wertschöpfung handelt es sich um die Nettowertschöpfung, d. h. die Bruttowertschöpfung abzüglich Abschreibungen.

Für die Ermittlung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte durch EE-Technologien und die energetische Gebäudesanierung kann das IÖW auf zwei seit mehreren Jahren bestehenden und in einer Vielzahl an Forschungsvorhaben angewandten und weiterentwickelten Modelle zurückgreifen:

- Modell zur Ermittlung von Wertschöpfung und Beschäftigung durch erneuerbare Energien (WeBEE)
- Modell zur Ermittlung von Wertschöpfung und Beschäftigung durch energetische Gebäudesanierungsmaßnahmen (WeBEG).

⁹⁰ Aktuell im Umfang von weniger als 20 %.

Beide Modelle basieren auf einem bottom-up-Ansatz und ermöglichen eine Quantifizierung der Wertschöpfungseffekte für verschiedene Ebenen (kommunale, Landes- und Bundesebene), einzelne Technologien beziehungsweise Maßnahmen als auch Bestandteile der Wertschöpfung. Der methodische Ansatz basiert auf der Additionsmethode zur Berechnung der Wertschöpfung, die im Rahmen der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) auch als Verteilungsrechnung bezeichnet wird. Zudem werden mit den Modellen auch die mit den Beschäftigteneinkommen verbundenen Arbeitsplätze in Form von Vollzeitäquivalenten (VZÄ)⁹¹ ermittelt.

Bei der Analyse mit den beiden Modellen werden die Wertschöpfungsketten auf die direkt mit der Herstellung, Errichtung und dem Betrieb der EE-Anlagen sowie der Durchführung von Bauleistungen energetischer Sanierungsmaßnahmen verbundenen Umsätze begrenzt. Weiter vorgelagerte Umsätze und damit verbundene Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte sind indirekte Effekte. Für die Abschätzung dieser indirekten Effekte ist der bottom-up-Ansatz der Modelle aufgrund der sehr hohen Verflechtungskomplexität der direkten Produktions- und Wertschöpfungsschritten vorgelagerten Prozesse nicht geeignet. Abhängig von den regionalen Gegebenheiten können die Energiewendetechnologien und -maßnahmen auch zu einer Substitution fossil-basierter Wertschöpfungsketten oder – insbesondere im Zusammenhang mit der Bioenergienutzung – zu einer Verdrängung bestehender Flächennutzungen führen. Mit den Modellen des IÖW werden Brutto-Effekte berechnet und somit keine derartigen Netto-Effekte unter Berücksichtigung verdrängter Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte in fossilen oder nuklearen Wertschöpfungsketten der Energieerzeugung oder Wertschöpfungsketten einer alternativen Flächenbewirtschaftung ermittelt.⁹²

Nachfolgend werden die hier verwendeten Modelle des IÖW und die jeweilige Vorgehensweise bei der Hochrechnung der regionalökonomischen Effekte für das Jahr 2040 beschrieben sowie die zentralen Eingangsdaten und Annahmen für die Berechnungen dargestellt.

3.2.2 Erneuerbare Energien

3.2.2.1 Modell zur Ermittlung von Wertschöpfung und Beschäftigung durch EE-Technologien

Zentrale Grundlage für die Ermittlung der Wertschöpfung und Beschäftigung durch erneuerbare Energien mit dem Modell des IÖW bildet die Analyse der spezifischen Umsätze bezogen auf die installierte Anlagenleistung⁹³ entlang der Wertschöpfungskette einer EE-Technologie. Die Ketten werden dabei auf die direkt EE-relevanten Umsätze begrenzt, die aus den Anlageherstellungs-, Installations- und Betriebskosten abgeleitet werden. Die Umsätze weiter vorgelagerter Zuliefererunternehmen und die sich daraus ergebenden Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte werden nicht berücksichtigt, da im Regelfall eine regionale Zuordnung nicht plausibel vorgenommen werden kann.

⁹¹ Ein Vollzeitäquivalent ist eine Maßeinheit für die Arbeitszeit einer/eines Erwerbstätigen in Vollzeit.

⁹² Derartige Substitutionsbeziehungen können jedoch im Einzelfall separat (außerhalb des Modells) abgeschätzt werden.

⁹³ Abweichend davon ist bei der Biogasaufbereitung die Bezugsgröße die Produktionskapazität Nm^3/h .

Die Wertschöpfungsketten werden einheitlich in vier Wertschöpfungsstufen unterteilt, die die verschiedenen Phasen der Lebensdauer einer EE-Anlage widerspiegeln:

- Anlagenherstellung
- Planung und Installation
- Anlagenbetrieb und Wartung
- Betreibergewinne.

In den Stufen Anlagenherstellung sowie Planung und Installation werden einmalige Effekte ermittelt, welche vor der Inbetriebnahme der Anlage anfallen. Die Stufen Anlagenbetrieb und Wartung sowie Betreibergewinne beinhalten jährlich wiederkehrende Effekte über die gesamte Laufzeit der Anlagen. Die vier Stufen werden wiederum in verschiedene Wertschöpfungsschritte untergliedert, die bei jeder Technologie bzw. bei jeder der ausdifferenzierten Wertschöpfungsketten unterschiedlich sein können. Bei der Anlagenproduktion wird die Herstellung der verschiedenen Anlagenkomponenten berücksichtigt, während im Anlagenbetrieb Positionen wie Wartungsarbeiten, Pachtzahlungen sowie Versicherung zu finden sind. Die Stufe der Betreibergewinne beinhaltet bei gewerblich betriebenen Anlagen den mit der Energiebereitstellung generierten Gewinn und die damit verbundenen Steuereinnahmen. Diese verschiedenen Positionen der Investitions- und Betriebskosten einer EE-Technologie bilden jeweils einen Wertschöpfungsschritt und sind die Grundlage für die Umsätze der Betreibergesellschaft und ihrer Zulieferunternehmen, aus denen wiederum die oben beschriebene Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte mit Hilfe wirtschaftszweispesifischer statistischer Kennzahlen und geltender Steuer- und Abgabensätze ermittelt werden. Detaillierte Informationen zur Vorgehensweise bei der Berechnung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte durch erneuerbare Energien können u. a. Heinbach et al. (2014), Hirschl et al. (2015) und Rupp et al. (2017) entnommen werden.

3.2.2.2 Vorgehensweise bei der Hochrechnung der regionalökonomischen Effekte durch EE-Technologien im Jahr 2040

Wie oben beschrieben, werden mit dem WeBEE-Modell für jede der betrachteten Wertschöpfungsketten die spezifischen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte, bezogen auf eine Einheit installierte EE-Leistung bzw. die Produktionskapazität bei Biogasaufbereitungsanlagen, berechnet. Für die Wertschöpfungsstufen der Planung und Installation, den Anlagenbetrieb und die Wartung sowie die Betreibergewinne ermöglicht dies eine Hochrechnung der Effekte für den Anlagenbestand und die Zubauaktivitäten in der Lausitz im Betrachtungsjahr 2040. Da im WeBEE-Modell zum Zeitpunkt der Berechnungen die Wertschöpfungskette Agri-Photovoltaik noch nicht abgebildet war, wurden die Effekte mit der Wertschöpfungskette für PV-Freiflächenanlagen vereinfacht abgeschätzt. Es ist davon auszugehen, dass Agri-Photovoltaik aufgrund konstruktionstechnischer Unterschiede mit höheren Investitions- und Betriebskosten verbunden sind als PV-Freiflächenanlagen ohne landwirtschaftliche Nutzung (vgl. Bundesverband Solarwirtschaft e.V. 2022). Aus diesem Grund ist anzunehmen, dass die Effekte aus dieser Weise eher unter- als überschätzt werden. Zudem werden die entsprechenden landwirtschaftlichen Flächen doppelt genutzt, so dass hier keine Verdrängung landwirtschaftlicher Wertschöpfung vorliegt und die Gesamteffekte daher nur konservativ niedrig abgeschätzt werden.

Die wirtschaftlichen Aktivitäten der Hersteller von EE-Anlagen- und Komponenten sind im Regelfall unabhängig von der in einer Region zugebauten und installierten Leistung und demgegenüber in hohem Maße abhängig von der Situation auf dem nationalen bzw. internationalen Markt. Dies zeigt sich in der Lausitz am Beispiel des Unternehmens Vestas, welches zu Ende 2021 die Fertigung

von (Onshore-)Rotorblättern an seinem Standort Lauchhammer in der Lausitz eingestellt hat, da es sich zukünftig stärker auf Offshore-Windkraftanlagen konzentrieren möchte. Aktuell ist noch unklar, ob und durch welches Unternehmen es gegebenenfalls eine Übernahme geben wird (Handelsblatt 2021; rbb 2022). Auch ist die zukünftige Entwicklung der Auslastung und Ansiedelung von Produktionsstätten nur schwer einzuschätzen. Aktivitäten von Anlagenherstellern in der Lausitz und Dienstleistungsexporte von EE-Unternehmen mit Unternehmenssitz in der Region können daher aufgrund des fehlenden direkten Zusammenhangs zwischen Produktionskapazitäten und regionalem EE-Ausbau und der Datenunsicherheit bei der Berechnung der regionalökonomischen Effekte nicht berücksichtigt werden.

Für die Wertschöpfungsstufe Planung und Installation erfolgt die Hochrechnung der Effekte auf Basis der im Betrachtungsjahr 2040 in der Lausitz zugebauten Anlagenleistung. Die Ermittlung der Beschäftigungs- und Wertschöpfungseffekte durch den Betrieb der EE-Anlagen erfolgt auf der Grundlage des regionalen EE-Anlagenbestands im Betrachtungsjahr 2040. Da der Zubau im Betrachtungsjahr über das Jahr verteilt stattfindet, würden die Effekte überschätzt, wenn für die Ermittlung der betriebsbezogenen Effekte der gesamte Zubau miteinbezogen wird. Deswegen setzt sich der Anlagenbestand, der den Berechnungen zugrunde liegt, aus dem Bestand im Jahr 2039 und der Hälfte des angenommenen Zubaus im Jahr 2040 zusammen.

3.2.2.3 Eingangsdaten

Bestand und Zubau bei den betrachteten EE-Technologien im Jahr 2040

Der Bestand und der Zubau im Jahr 2040 sind somit zentrale Eingangsdaten für die Berechnung der Wertschöpfung und Beschäftigung. Mit den erarbeiteten Szenarien für die zukünftige Entwicklung ausgewählter EE-Technologien in der Lausitz (*Current Policies* und *Klimaneutral 2045*, siehe Kapitel 2), ergibt sich der in Tab. 3-1 dargestellte Bestand und Zubau im Jahr 2040.

Tab. 3-1: Bestand und Zubau bei den betrachteten EE-Technologien im Jahr 2040

Quelle: eigene Zusammenstellung. Der Bestand 2040 entspricht dem Bestand Ende 2039 zzgl. der Hälfte des Zubaus im Jahr 2040

| EE-Technologie | | Current Policies | | Klimaneutral 2045 | |
|------------------------------|----------------------|------------------|------------|-------------------|------------|
| | | Bestand 2040 | Zubau 2040 | Bestand 2040 | Zubau 2040 |
| Windenergie onshore | [MW _{el}] | 3.388 | 198 | 3.772 | 409 |
| Photovoltaik Dachanlagen | [MW _{el}] | 1.987 | 62 | 6.012 | 246 |
| Photovoltaik Freiflächen | [MW _{el}] | 2.932 | 48 | 4.160 | 129 |
| Agri-PV-Anlagen | [MW _{el}] | 0 | 0 | 2.288 | 112 |
| Biogas (Vor-Ort-Verstromung) | [MW _{el}] | 47 | 0 | 59 | 0 |
| Holz-Heizkraftwerke | [MW _{el}] | 5 | 0 | 70 | 3 |
| Wärmepumpen (klein) | [MW _{th}] | 909 | 67 | 1.876 | 113 |
| Holz-Zentralheizungsanlagen | [MW _{th}] | 20 | 0 | 298 | 15 |
| Biogasaufbereitung | [Nm ³ /h] | 3.940 | 0 | 11.890 | 300 |

Annahmen zur regionalen Ansässigkeit in den Szenarien zum Ausbau der EE-Technologien bis 2040

Die regionalökonomischen Effekte durch erneuerbare Energien werden zu einem überwiegenden Anteil durch die in der Lausitz ansässigen Unternehmen, ihre Beschäftigten und die Gesellschafterinnen und Gesellschafter der EE-Anlagen generiert. Das bedeutet, dass nur die Kenntnis der zukünftig vor Ort installierten Leistung der Anlagen nicht ausreicht, um die Wertschöpfung und Beschäftigung in der Region zu ermitteln. Vielmehr spielt die regionale Ansässigkeit von Akteuren entlang der Wertschöpfungskette – insbesondere der Betreibergesellschaften und der Eigenkapitalgebenden, aber auch der Unternehmen, welche die betrachteten EE-Anlagen planen, installieren und warten – eine zentrale Rolle bei der Bestimmung des Wertschöpfungsanteils, der in der Lausitz verbleibt.

Aufbauend auf der Bestandsaufnahme zur Energiewendewirtschaft in der Lausitz (siehe Abschnitt 3.1), einer Recherche zum Status quo bei bereits in Betrieb befindlichen EE-Anlagen in der Lausitz sowie Erfahrungswerten aus früheren Regionalstudien (u. a. Rupp et al. 2017; Brand et al. 2017; Richwien et al. 2018), wurden für die Quantifizierung der regionalökonomischen Effekte für beide Szenarien Annahmen für die Ansässigkeit regionaler Akteure entlang der ausgewählten Wertschöpfungsketten abgeleitet. Das bedeutet, es wurden Annahmen dazu getroffen, an welcher Stelle und in welchem Umfang zukünftig regionale Unternehmen und Eigenkapitalgebende aus der Region in die Finanzierung, Planung, Installation und den Betrieb der EE-Technologien eingebunden werden können. Diese werden nachfolgend kurz dargestellt, eine detaillierte Auflistung der Annahmen zur regionalen Ansässigkeit je Wertschöpfungsschritt findet sich im Anhang (siehe Abschnitt 0).

Mit Blick auf das Ausmaß der **zukünftigen Beteiligung regionaler Unternehmen an der Projektierung, Montage, Wartung und Betriebsführung von EE-Anlagen** wurden spezifische Annahmen für die beiden Ausbauszenarien auf Basis der heutigen Aktivität von regionalen Unternehmen (siehe Abschnitt 3.1), dem bis 2040 vorgesehenen Ausbau an installierter Leistung und dem angenommenen Potenzial für zukünftige Kapazitätserweiterungen abgeleitet. Grundsätzlich ist der Ausbau erneuerbarer Energien in beiden Szenarien mit zusätzlichen Aufträgen und damit potenziell höheren Umsätzen für Unternehmen in der Region verbunden. Für das Szenario *Klimaneutral 2045* wurde je nach Technologie angenommen, dass es durch die deutlich höheren Ausbauaktivitäten in der Lausitz für die Unternehmen vor Ort zukünftig eine sehr gute Auftragslage gibt. Und damit verbunden auch ein sehr hohes Potenzial dafür, dass bestehende Unternehmen ihre Kapazitäten erweitern und möglicherweise auch ein zusätzlicher Aufbau von Kompetenzen, bspw. durch die Ansiedlung von Unternehmen in der Region, stattfindet. Im Szenario *Current Policies* wurde das Potenzial für Kapazitätserweiterungen bis 2040 dementsprechend geringer angesetzt. Dies gilt insbesondere für Windenergieanlagen, Solarparks und größere PV-Dachanlagen. Bei Biogasanlagen mit Vor-Ort-Verstromung findet demgegenüber in beiden Szenarien ein Abbau von Erzeugungskapazitäten statt (siehe Abschnitt 2.4.4). Über die bisherigen Aktivitäten regionaler Unternehmen hinaus ist hier somit kein zusätzlicher Aus- und Aufbau von Kompetenzen zu erwarten. Bei kleinen PV-Dachanlagen, holzbefeuerten Zentralheizungsanlagen und kleinen Wärmepumpen wurde davon ausgegangen, dass die Planung, Installation, Wartung und die Betriebsführung auch zukünftig maßgeblich durch das regionale Handwerk sowie auch weitere lokal ansässige Unternehmen erfolgen.

Auch bezüglich der **Eigenkapitalfinanzierung** wurden für jedes der Ausbauszenarien unterschiedliche Annahmen getroffen. Wie die Auswertung von Richwien et al. (2018) gezeigt hat, ist davon auszugehen, dass die finanzielle Beteiligung von regionalen Akteuren an Solar- und Windparkprojekten aktuell sehr gering ist. Entsprechend wurde im Szenario *Current Policies* angenommen,

dass mit fünf Prozent nur ein geringer Anteil der Investorinnen und Investoren in der Lausitz ansässig ist. Im Szenario *Klimaneutral 2045* wurde unterstellt, dass bei zukünftigen Projekten mit entsprechenden Instrumenten sichergestellt wird, dass eine höhere finanzielle Beteiligung von lokalen Bürgerinnen und Bürgern, regionalen Unternehmen und Kommunen erreicht wird (50 Prozent). Bei PV-Dachanlagen sind die Eigenkapitalgeberinnen und -Geber überwiegend regional zu verorten (u. a. Eigenheimbesitzerinnen und -besitzer, Kommunen, Gewerbe und Bürgerenergiegesellschaften). Im Szenario *Klimaneutral 2045* wurde der regionale Anteil etwas höher angesetzt, da unterstellt wurde, dass Maßnahmen und Instrumente eingeführt werden, welche die Bedingungen u. a. für Bürgerenergieanlagen aber auch PV-Projekte von Kommunen und lokalen Unternehmen verbessern. Bei den Bioenergieanlagen orientieren sich die Festlegungen zum lokalen Anteil an der Eigenkapitalfinanzierung im Wesentlichen an der Situation bei den heutigen Projekten. Betreffend der Beteiligung unterschiedlicher Akteursgruppen wurde angenommen, dass der Eigenkapitalanteil an der Investitionssumme über alle Anlagen einer Technologie hinweg zu jeweils einem Drittel von Privatpersonen, Unternehmen und Kommunen eingebracht wird. Dies gilt nicht für kleine PV-Dachanlagen, kleine Biogasanlagen und die wärmeerzeugenden Anlagen, da hier davon auszugehen ist, dass die jeweiligen Hauseigentümerinnen und Hauseigentümer bzw. der landwirtschaftliche Betrieb die Investition tätigen.

Bei der **Fremdkapitalfinanzierung** wurde berücksichtigt, dass regionale Banken angesichts der hohen Kreditvolumina pro Projekt und der zukünftig hohen Zahl an Projekten nur einen gewissen Anteil der Finanzierung abdecken können. Bei Windenergievorhaben und großen Solarparks kann die Finanzierung in der Regel nicht allein durch regionale Finanzdienstleister erfolgen, sondern nur in Zusammenarbeit mit überregionalen Partnern (vgl. Richwien et al. 2018).

Bei der Windenergie ermöglicht seit dem 01.01.2021 § 36k EEG 2021 bzw. nach erneuter Novelle nun § 6 EEG 2021 Zahlungen an betroffene Kommunen. Am 01.08.2021 ist § 6 EEG 2021 auch für PV-Freiflächenanlagen in Kraft getreten. Mit Blick auf die **finanzielle Beteiligung der Kommunen am Ausbau von Windenergieanlagen und Freiflächenanlagen** bis 2040 in der Lausitz wurden folgende Annahmen getroffen: Bei der Windenergie wird § 6 EEG 2021 bei einem Anlagenzubau ab Mitte 2021 wirksam, bei PV-Anlagen ab Anfang 2022. Für das *Current Policies*-Szenario wurde unterstellt, dass 95 Prozent der Anlagenbetreiber entsprechende Angebote an die betroffenen Kommunen unterbreiten. Da sich die Betreibergesellschaften die Zahlungen erstatten lassen können und der Aufwand für die Vertragslegung durch einen Mustervertrag von der Fachagentur Windenergie an Land (2022) erheblich gesenkt wird, gibt es aus Sicht der Betreiber kaum Gründe gegen eine finanzielle Beteiligung der Kommunen. Im Szenario *Klimaneutral 2045* wurde angenommen, dass dies auf alle neu installierten Anlagen zutrifft. Zudem wurde festgelegt, dass die Regelung auch von der Hälfte der Bestandsanlagen umgesetzt wird, da der Koalitionsvertrag der seit Dezember 2021 im Amt befindlichen Regierungskoalition vorsieht, dass die bislang freiwillige Regelung zur finanziellen Beteiligung von Kommunen an Solar- und Windparks im EEG 2021 verpflichtend ausgestaltet und zudem auf Bestandsanlagen ausgedehnt wird (SPD et al. 2021).

3.2.3 Energetische Sanierung / Energieeffizienzmaßnahmen

3.2.3.1 Modell zur Ermittlung von Wertschöpfung und Beschäftigung durch energetische Gebäudesanierungsmaßnahmen

Im Modell zur Ermittlung von Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten durch die energetische Gebäudesanierung sind die Wertschöpfungsketten unterschiedlicher energetischer Sanierungs-

maßnahmen abgebildet. Dazu gehören sowohl verschiedene Dämmmaßnahmen an der Gebäudehülle als auch der Austausch von Heizungssystemen, wobei letztere bereits mit dem oben beschriebenen WeBEE-Modell abgedeckt und daher hier nicht mehr bewertet werden. Ähnlich wie im WeBEE-Modell ist auch bei diesem Modell die Analyse der spezifischen Kosten verschiedener Effizienzmaßnahmen bezogen auf die Wohn- beziehungsweise Nutzfläche die zentrale Grundlage für die Wertschöpfungs- und Beschäftigungsermittlung. Für die beteiligten Unternehmen beziehungsweise Gewerke stellen die Kosten der einzelnen Bauleistungen Umsätze dar. Die Analyse beschränkt sich dabei auf die handwerkliche Umsetzung der Sanierungsmaßnahmen am Gebäude. Da es sich hierbei um einmalige Tätigkeiten handelt und im Gegensatz zum Betrieb einer EE-Anlage keine Betriebskosten anfallen, werden also nur einmalige Effekte im Jahr der Durchführung der Sanierungsmaßnahmen bewertet.

Die zu bewertenden Effizienzmaßnahmen werden nach der Gebäudehüllfläche folgendermaßen differenziert:

- Außenwand: Wärmedämmverbundsystem (WDVS) oder innenseitige Dämmschicht (beispielsweise bei denkmalgeschützten Fassaden),
- Oberer Gebäudeabschluss: Zwischensparrendämmung oder oberseitige Dämmung der obersten Geschossdecke (bei unbeheizten Dachgeschossen),
- Unterer Gebäudeabschluss: unterseitige Dämmung der Kellerdecke,
- Fenster: Austausch der Fenster, komplett mit neuem Kunststoffrahmen, zwei- oder dreiglasig.

Zudem wird für jede Dämmmaßnahme ein Standard- und ein ambitioniertes Sanierungsniveau festgelegt, welche sich vor allem hinsichtlich der Stärke der eingesetzten Dämmstoffe unterscheiden. Das Standardniveau ist vergleichbar mit dem aktuellen Mindeststandard nach den BEG-Anforderungen. Das ambitionierte Niveau geht darüber hinaus und entspricht in etwa dem KfW-55-Niveau.

Die Kosten der einzelnen Bauleistungen für jede Dämmmaßnahme und das jeweilige Sanierungsniveau wurden mit Stand Januar 2021 aus dem Baupreislexikon (F:DATA GmbH 2020) entnommen. Entsprechend der so zusammengetragenen Kostenstrukturen wird jeder Kostenposition ein Gewerk zugeordnet. So entfallen einige der Bauleistungen der Außenwandsanierung auf die Gewerke des Gerüstbaus, auf Stuck- oder Zimmererarbeiten. An der Dachflächendämmung sind zusätzlich Dachdeckereien beteiligt und am Fenstertausch Tischlereien. Auch diese Gewerkezuordnung entstammt dem Baupreislexikon. Auf Basis der aktuellsten Betriebsvergleiche der einzelnen Gewerke können aus den Umsätzen, welche die ausführenden Handwerksbetriebe mit den Sanierungsmaßnahmen machen, die einzelnen Wertschöpfungsbestandteile Beschäftigteneinkommen, Unternehmensgewinne und kommunale Steuereinnahmen ermittelt werden. Damit sind die berechneten Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte durch die energetische Gebäudesanierung anschlussfähig an die regionalökonomischen Effekte, die mit dem WeBEE-Modell für die EE-Anlagen ermittelt werden (vgl. Abschnitt 3.2.2).

3.2.3.2 Vorgehensweise bei der Hochrechnung der regionalökonomischen Effekte durch energetische Sanierung im Jahr 2040

Die Hochrechnung der regionalökonomischen Effekte durch die energetische Gebäudesanierung erfolgt analog zum Vorgehen bei den EE-Anlagen durch eine Abschätzung der wirtschaftlichen Tätigkeiten im Betrachtungsjahr 2040. Anders als bei den EE-Anlagen werden hier aber nur einmaligen Effekte durch die Ausführung der Effizienzmaßnahmen im Betrachtungsjahr bewertet und keine laufenden Effekte durch Betriebstätigkeiten (siehe oben).

Wie in Abschnitt 2.5 beschrieben werden also auf Basis des Bestands an Wohngebäuden in den einzelnen Landkreisen und Städten der Lausitz und literaturbasiert abgeschätzten Sanierungsraten entsprechende Umfänge der oben vorgestellten Sanierungsmaßnahmen abgeschätzt. Dabei werden ein *Current Policies*- und ein *Klimaneutral 2045*-Szenario ausgestaltet und hinsichtlich der regionalökonomischen Effekte durch die Sanierungsmaßnahmen bewertet. Das *Current Policies*-Szenario beschreibt dabei tendenziell die Fortführung der aktuellen Sanierungsaktivitäten mit entsprechenden Rahmenbedingungen hinsichtlich der Dämmvorschriften und der Fördermöglichkeiten. Das ambitioniertere *Klimaneutral 2045*-Szenario weist dagegen eine höhere Sanierungsrate auf, welche das Sektorziel bis 2030 und das Klimaneutralitätsziel bis 2045 im Bereich der Wohngebäudeeffizienz unterstützen soll. Entsprechend gibt es hier einen höheren Anteil ambitioniert sanierter Gebäude mit höheren Dämmstärken und geringeren Wärmetransmissionsverlusten nach der Sanierung. Das Ziel der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung der Wohngebäude wird hier also mit höheren Effizienzstandards verfolgt, während im *Current Policies*-Szenario der höhere verbleibende Energiebedarf aus erneuerbaren Quellen bereitgestellt werden muss (vgl. die Ausführungen zu den Wärmepumpenszenarien in Abschnitt 2.6).

3.2.3.3 Eingangsdaten

Die in Abschnitt 2.6.3 erarbeiteten Sanierungsszenarien ergeben aus dem gesamten Wohngebäudebestand in der Lausitz Sanierungsaktivitäten, die in 2040 umgesetzt und in diesem Betrachtungsjahr entsprechend zu Wertschöpfung und Beschäftigung führen können. Die oben ausgewiesene Anzahl an Gebäuden, die im Betrachtungsjahr saniert wird, ist in Tab. 3-2 auf den Umfang der jeweiligen Gebäudehüllflächen umgerechnet, da diese der grundlegende Modellinput sind. Die Verteilung der Werte spiegelt das durchschnittliche Gebäudehüllenprofil wider, mit einem großen Anteil der Außenwandfläche gefolgt von der Dachfläche und der Kellerdeckenfläche. Da letztere aber mit relativ geringen flächenspezifischen Dämmkosten verbunden ist, lässt diese Verteilung noch keine endgültigen Rückschlüsse auf die Verteilung der Sanierungskosten bzw. der Umsätze der ausführenden Handwerksunternehmen und ihre Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte zu.

Tab. 3-2: Im Jahr 2040 sanierte Gebäudehüllflächen im *Current Policies*-Szenario und im *Klimaneutral 2045*-Szenario

in m² der jeweiligen Gebäudehüllfläche; Quelle: eigene Berechnung

| Sanierungsszenario | Dach | OG | Außenwand | Kellerdecke | Fenster |
|-----------------------------------|---------|---------|-----------|-------------|---------|
| Current Policies | 344.941 | 103.822 | 665.966 | 302.671 | 134.850 |
| ... davon nach GEG Standard | 231.801 | 69.768 | 447.530 | 207.758 | 90.619 |
| ... davon nach KfW-55 oder besser | 113.140 | 34.053 | 218.436 | 101.405 | 44.231 |
| Klimaneutral 2045 | 754.546 | 212.151 | 1.425.759 | 660.857 | 287.293 |
| ... davon nach GEG Standard | 75.455 | 21.215 | 142.576 | 66.086 | 28.729 |
| ... davon nach KfW-55 oder besser | 679.091 | 190.936 | 1.283.183 | 594.772 | 258.564 |

Es wird deutlich, dass die Sanierungsaktivitäten im Szenario *Klimaneutral 2045* je nach Gebäudehüllfläche um mehr als 100 Prozent über dem Niveau des *Current Policies*-Szenarios liegen. Auch die höheren Anteile ambitionierter sanierter Flächen erreichen im Szenario *Klimaneutral 2045* sehr hohe Werte im Vergleich zu den im *Current Policies*-Szenario insgesamt sanierten Flächen.

Diese Sanierungsumfänge als zentraler Modellinput lösen Umsätze bei den ausführenden Handwerksunternehmen aus. Grundsätzlich können die damit generierten Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte nur dann der Lausitz als Untersuchungsregion zugerechnet werden, wenn diese Unternehmen auch in der Lausitz ansässig sind, Löhne an regional ansässige Beschäftigte auszahlen und auch ihre Steuern in der Lausitz abführen. In kleineren Untersuchungsregionen wäre daher genauer festzulegen, welcher Anteil der Sanierungstätigkeiten durch regional ansässige Handwerksunternehmen abgedeckt werden können. Wie in Abschnitt 0 noch gezeigt wird, bedürfen die Sanierungstätigkeiten je nach Sanierungsszenario ca. 1 Prozent bis 2 Prozent der personellen Handwerkskapazitäten. Daher wird für die Zuordnung der berechneten Wertschöpfung und Beschäftigung zur Region der Lausitz grundsätzlich angenommen, dass sämtliche Sanierungstätigkeiten im Betrachtungsjahr 2040 von regionalen Unternehmen durchgeführt werden können. Diese Annahme kann auch mit Blick auf die demografische Entwicklung beibehalten werden, sofern allgemeine Maßnahmen zur Begegnung des Strukturwandels, sowie zur Steigerung der Attraktivität handwerklicher Berufe erfolgreich umgesetzt werden (vgl. Abschnitt 2.5.4). In der Ergebnisdarstellung in Abschnitt 0 wird dabei auch auf einzelne Gewerke eingegangen.

3.3 Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte

3.3.1 Gesamteffekte im Überblick

Mit den erarbeiteten Szenarien (siehe Kapitel 2) und den Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Akteuren entlang der Wertschöpfungsketten (siehe Abschnitt 3.2.2.3) ergeben sich für die Lausitz und das Betrachtungsjahr 2040 folgende Ergebnisse für die **regionale Wertschöpfung und Beschäftigung**: im Szenario *Current Policies* beträgt die regionale Wertschöpfung durch die hier betrachteten EE-Technologien und energetische Sanierungsmaßnahmen insgesamt knapp 185 Mio. Euro. Damit verbunden sind rund 1.630 Vollzeitbeschäftigte. Im Szenario *Klimaneutral 2045* ergibt sich demgegenüber eine regionale Wertschöpfung und Beschäftigung von insgesamt rund 433 Mio. Euro und knapp 3.560 Vollzeitäquivalenten. Die deutlich höheren Effekte im Szenario *Klimaneutral 2045* sind sowohl auf den ambitionierteren Ausbau bei den EE-Technologien und die höhere Sanierungsrate als auch auf die höhere regionale Ansässigkeit von Akteuren zurückzuführen.

Bei beiden Entwicklungspfaden entfällt ein Großteil der regionalen Wertschöpfung (rund 80 Prozent) auf jährliche Effekte durch den Betrieb und die Wartung von Anlagen zur Energieerzeugung. Einmalige Effekte durch den Handel mit Anlagenkomponenten, die Projektierung und Installation von EE-Anlagen bzw. die Planung und Ausführung von Sanierungsmaßnahmen umfassen damit rund 20 Prozent der für 2040 berechneten Effekte. Da die Planung und Montage von EE-Anlagen bzw. die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen vergleichsweise beschäftigungsintensiv sind, sieht das Bild bei den Beschäftigten etwas anders aus: 80 Prozent (*Current Policies*) bzw. knapp 70 Prozent (*Klimaneutral 2045*) der ermittelten Vollzeitbeitsplätze sind hier einmalige Effekte im Jahr 2040 – die jedoch bei vergleichbarem EE-Zubau und Sanierungsumfang in den vorhergehenden und nachfolgenden Jahren in ähnlicher Höhe anfallen.

Tab. 3-3 und Abb. 3-6 zeigen die Ergebnisse der Berechnungen für beide Szenarien im Jahr 2040 für die betrachteten Energiewendebereiche. Wie aus der Tabelle ersichtlich wird, entfallen in beiden Szenarien die Wertschöpfungseffekte überwiegend auf die Technologien Windenergie und Photovoltaik (Dach- und Freiflächen) sowie die energetische Gebäudesanierung. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den Arbeitsplätzen, im Unterschied zur Wertschöpfung steht hier jedoch klar die Beschäftigungswirkung durch die energetische Gebäudesanierung im Vordergrund.

Tab. 3-3: Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung durch ausgewählte Energiewendebereiche im Jahr 2040 in der Lausitz (Szenarien *Current Policies* und *Klimaneutral 2045*)

Quelle: eigene Berechnungen

| | regionale Wertschöpfung [Mio. Euro] | | Beschäftigung [VZÄ] | |
|-------------------------------|--|-------------------|------------------------|-------------------|
| | Current Policies | Klimaneutral 2045 | Current Policies | Klimaneutral 2045 |
| energetische Gebäudesanierung | 31,4 | 50,5 | 1.004 | 1.620 |
| Windenergie | 77,9 | 125,1 | 178 | 396 |
| Photovoltaik Dachanlagen | 39,5 | 132,7 | 205 | 761 |
| Photovoltaik Freiflächen | 18,7 | 87,9 | 65 | 221 |
| Wärmepumpen (klein) | 7,0 | 13,4 | 128 | 241 |
| Biogas (Vor-Ort-Verstromung) | 8,8 | 11,0 | 26 | 32 |
| Biogasaufbereitung | 0,5 | 2,4 | 11 | 40 |
| Holz-Heizkraftwerke | 0,5 | 7,9 | 12 | 189 |
| Holz-Zentralheizungen | 0,1 | 2,4 | 3 | 56 |
| Summe | 184,5 | 433,3 | 1.632 | 3.556 |

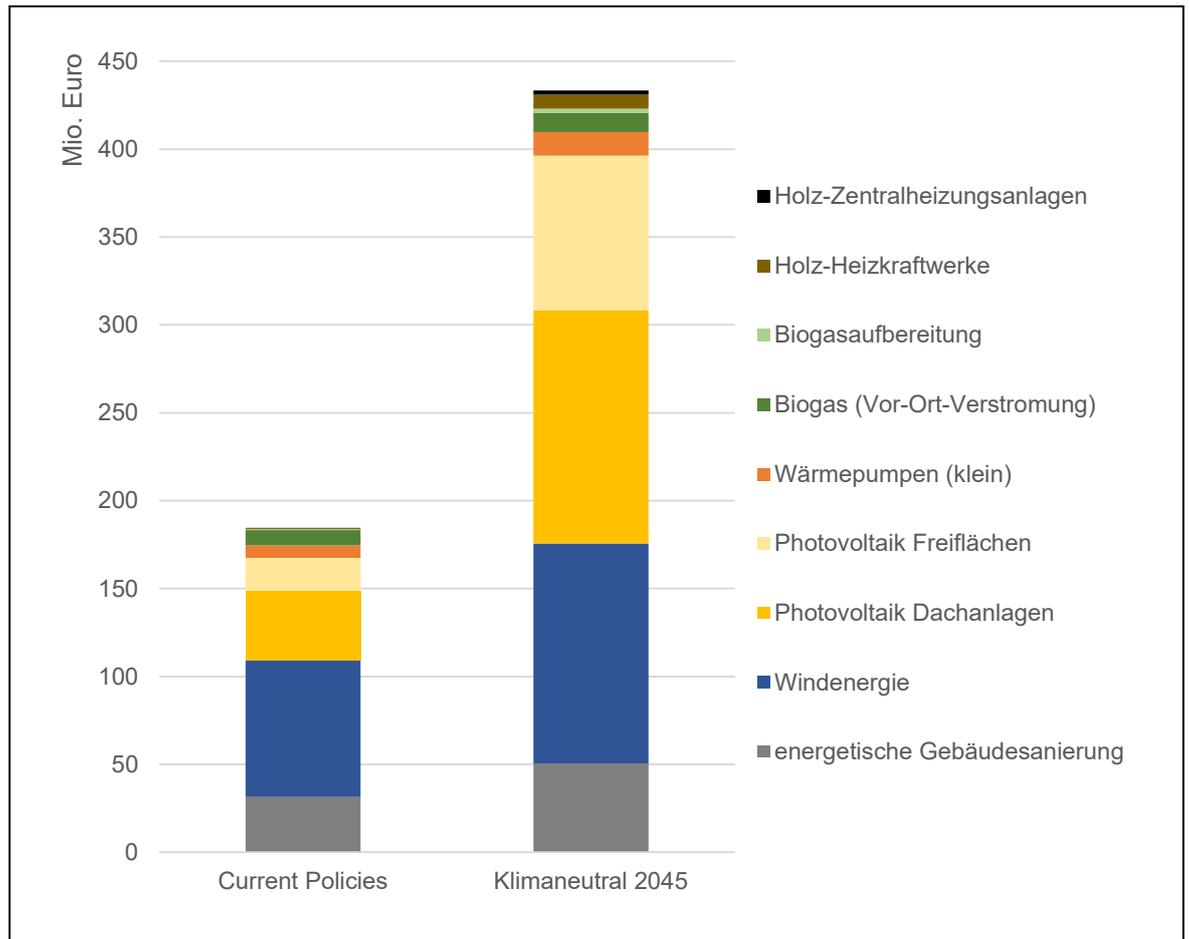


Abb. 3-6: Regionale Wertschöpfung im Jahr 2040 in der Lausitz gemäß der Szenarien *Current Policies* und *Klimaneutral 2045*, nach Energiewendebereichen

Quelle: eigene Darstellung

Wie sich die insgesamt für die Lausitz in den beiden Szenarien ermittelte regionale Wertschöpfung auf die einzelnen **Bestandteile der Wertschöpfung** verteilt, zeigen Tab. 3-4 und Abb. 3-7. Im Szenario *Current Policies* betragen die Gewinne nach Steuern 50 Prozent der regionalen Wertschöpfung, 21 Prozent sind Nettoeinkommen der Beschäftigten und rund 29 Prozent entfallen auf die Steuern sowie Zahlungen nach § 6 EEG 2021 an die Kommunen in der Lausitz. Im Szenario *Klimaneutral 2045* entfallen rund 59 Prozent auf die Gewinne nach Steuern, knapp 21 Prozent auf Nettoeinkommen der Beschäftigten und nochmals knapp 21 Prozent auf die Steuern sowie Zahlungen nach § 6 EEG 2021 an die Kommunen.

Die Aktivitäten im Zusammenhang mit der Errichtung der EE-Anlagen und der energetischen Gebäudesanierung generieren auch Steuern auf Landes- und Bundesebene. Mit den eingesetzten Modellen (siehe Abschnitt 3.2.2.1 und 3.2.3.1) werden auf Landesebene Einnahmen aus der Körperschaft-, Einkommen-, Abgeltung- und Gewerbesteuer berücksichtigt. Auf Bundesebene werden die jeweiligen Anteile an der Körperschaft-, Einkommen-, Abgeltung- und Gewerbesteuer sowie Einnahmen durch den Solidaritätszuschlag und die Sozialabgaben der Arbeitnehmenden und Arbeitgebenden miteinbezogen. Für die hier betrachtete Region Lausitz bedeutet dies, dass der Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugung und die energetische Gebäudesanierung u. a. auch mit Steuereinnahmen für die Bundesländer Brandenburg und Sachsen verbunden sind. Im Szenario *Current Policies* wurden für das Jahr 2040 bei den Steuern auf Landesebene 16,3 Mio. Euro und

im *Klimaneutral 2045*-Szenario 38 Mio. Euro berechnet. Das Handeln der Bundesländer hat neben der Bundesebene einen maßgeblichen Einfluss auf die Umsetzung der Energiewende auf kommunaler und regionaler Ebene. Beispielhaft können hier Klimaschutzgesetze und -strategien der Länder genannt werden, welche die Leitlinien für Ziele und Maßnahmen auf regionaler Ebene vorgeben sowie die Regionalplanung und damit u. a. die Ausweisung von Vorranggebieten für die Windnutzung. Die Ergebnisse zeigen, dass auch die Bundesländer durch die Steuereinnahmen auch von einer ambitionierten Umsetzung der Energiewende profitieren können.

Tab. 3-4: Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung durch ausgewählte Energiewendebereiche im Jahr 2040 in der Lausitz nach Wertschöpfungsbestandteilen

Quelle: eigene Berechnungen

| [Mio. Euro] | Current Policies | Klimaneutral 2045 |
|---|------------------|-------------------|
| Gewinne nach Steuern | 92,6 | 253,8 |
| Nettoeinkommen der Beschäftigten | 38,8 | 89,1 |
| Steuern und Zahlungen nach § 6 EEG 2021 an die Kommunen | 53,1 | 90,4 |
| Summe | 184,5 | 433,3 |

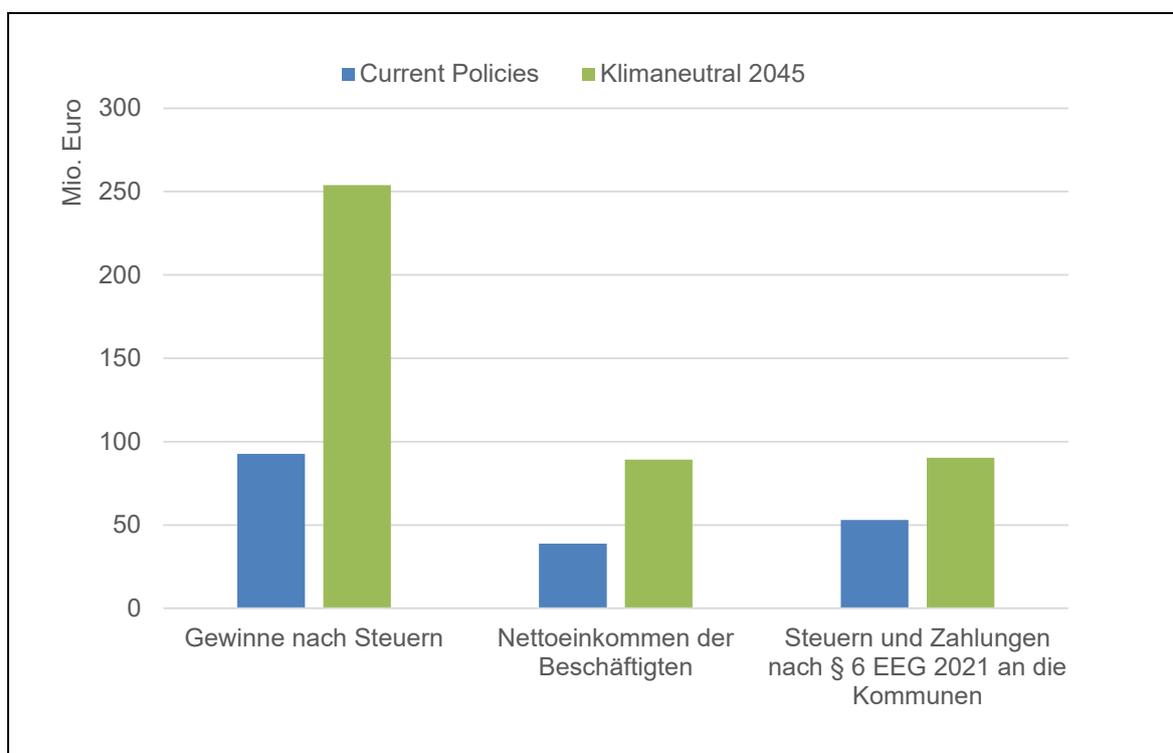


Abb. 3-7: Regionale Wertschöpfung durch ausgewählte Energiewendebereiche im Jahr 2040 in der Lausitz nach Wertschöpfungsbestandteilen

Quelle: eigene Darstellung

Neben der gesamten regionalen Wertschöpfung durch ausgewählte Energiewendebereiche ist auch von Interesse, welcher Anteil der Effekte den Kommunen in der Lausitz zufließt. Der kommunale Anteil an der regionalen Wertschöpfung beinhaltet natürlich zum einen die Steuern an die Kommunen, d. h. die anteiligen Einnahmen der Kommunen aus Gewerbesteuer, Einkommensteuer und Abgeltungssteuer. Zum anderen wurde in den Szenarien angenommen, dass bei den ab Mitte 2021 errichteten Windparks und den ab 2022 zugebauten PV-Freiflächen-Projekten eine finanzielle Beteiligung der Kommunen am Ausbau gemäß § 6 EEG 2021 stattfindet (siehe Abschnitt 3.2.2.3). Auch diese Zahlungen fließen den betroffenen Gemeinden und damit dem kommunalen Haushalt zu. Befinden sich die Grundstücke oder Dachflächen, auf denen die EE-Anlagen errichtet werden, in kommunaler Hand, so erhält die Gemeinde oder Stadt in der Regel Pachtzahlungen. Ob dies der Fall ist und in welcher Höhe sowie über welchen Zeitraum die Pacht gezahlt wird, ist dabei abhängig von den vertraglichen Vereinbarungen. Schließlich haben die Kommunen grundsätzlich die Möglichkeit, sich mit Eigenkapital finanziell an den EE-Projekten vor Ort zu beteiligen. So kann die Kommune beispielsweise PV-Anlagen auf eigenen Liegenschaften umsetzen und den erzeugten Strom (anteilig) selbst verbrauchen. Zudem kann sie selbst oder über kommunale Unternehmen Projekte wie Windparks oder PV-Freiflächenanlagen in Eigenregie errichten oder anteilig Eigenkapital in EE-Anlagen, die von Dritten errichtet werden, einbringen. Die (Mit-)Eigentümerschaft an EE-Projekten ist jedoch insbesondere für finanzschwache Kommunen oftmals mit großen Hindernissen verbunden. Welche Möglichkeiten verschuldete Kommunen haben, Investitionen in Anlagen zur erneuerbaren Energieerzeugung zu tätigen, ist u. a. abhängig von den haushaltsrechtlichen Regelungen der Bundesländer (für eine Übersicht der Regelungen in den Bundesländern bezüglich der Rentabilität kommunaler Investitionen siehe Heinbach et al. (2020)). Hierin liegt demzufolge auch ein Handlungsbedarf, wenn Kommunen eine stärkere aktive und finanzielle Beteiligung am ökonomischen Nutzen der Energiewende ermöglicht werden soll, da dies als ein maßgeblicher Schlüssel für die Akzeptanz vor Ort anzusehen ist (Hübner et al. 2020a; Salecki und Hirschl 2021).

Im *Current Policies*-Szenario beträgt der kommunale Anteil an der regionalen Wertschöpfung in der Lausitz im Jahr 2040 knapp 94 Mio. Euro und damit 51 Prozent der gesamten Wertschöpfung (siehe Tab. 3-5 und Abb. 3-8). Mit rund 53 Mio. Euro entfällt auf die Steuern an die Kommunen der größte Teil. Aber auch Zahlungen nach § 6 EEG 2021, die bei Windpark- und PV-Freiflächenprojekten anfallen, tragen mit rund 21 Mio. Euro erheblich zum kommunalen Anteil an der regionalen Wertschöpfung bei. Die Einnahmen der Kommunen aus Eigenkapitalbeteiligungen an EE-Projekten fallen mit knapp acht Mio. Euro vergleichsweise gering aus. Dies liegt darin begründet, dass der Anteil regional ansässiger Gesellschafterinnen und Gesellschafter und damit auch die Zahl der Eigenkapitalbeteiligungen der Kommunen an EE-Vorhaben in diesem Szenario gering ist.

Im Szenario *Klimaneutral 2045* wurde dagegen angenommen, dass zukünftig mit entsprechenden Maßnahmen und Instrumenten eine deutlich höhere finanzielle Beteiligung regionaler Akteure und damit auch Kommunen erreicht werden kann (siehe 3.2.2.3). Zwar betragen auch hier die kommunalen Steuereinnahmen 49 Prozent der insgesamt für 2040 berechneten regionalen Wertschöpfung von rund 185 Mio. Euro. Ein Viertel sind in diesem Szenario jedoch die Einnahmen der Kommunen aus Eigenkapitalbeteiligung. Die Zahlungen nach § 6 EEG 2021 summieren sich auf 34 Mio. Euro und die Pachtzahlungen an die Kommune auf rund 15 Mio. Euro (siehe Tab. 3-5).

Tab. 3-5: Kommunalen Anteil an der regionalen Wertschöpfung durch ausgewählte Energiewendebereiche im Jahr 2040 in der Lausitz

Quelle: eigene Berechnungen

| [Mio. Euro] | Current Policies | Klimaneutral 2045 |
|--|------------------|-------------------|
| Regionale Wertschöpfung insgesamt | 184,5 | 433,3 |
| kommunaler Anteil an der regionalen Wertschöpfung | 93,7 | 185,4 |
| davon Steuern an die Kommunen | 53,1 | 90,4 |
| davon Zahlungen nach § 6 EEG 2021 | 21,3 | 34,0 |
| davon Pachtzahlungen an die Kommunen | 11,5 | 15,3 |
| davon Einnahmen der Kommunen aus Eigenkapitalbeteiligung | 7,8 | 45,8 |

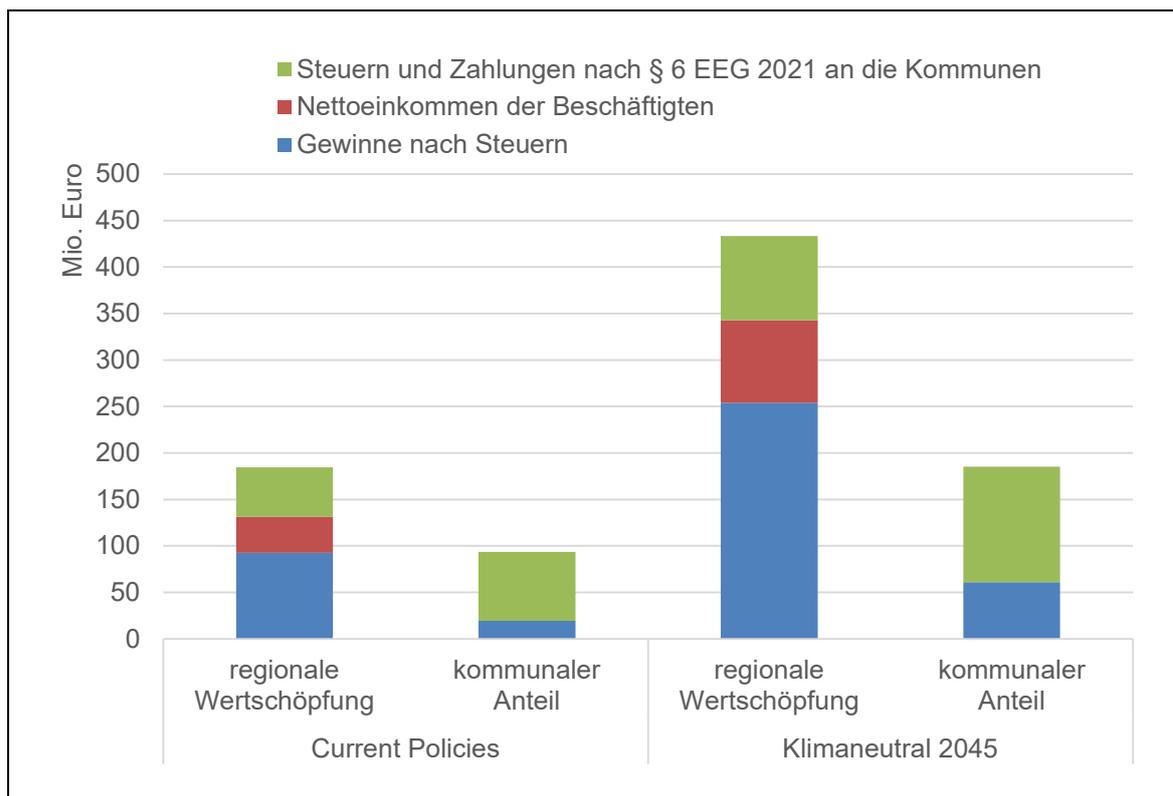


Abb. 3-8: Kommunalen Anteil an der regionalen Wertschöpfung durch ausgewählte Energiewendebereiche im Jahr 2040 in der Lausitz nach Wertschöpfungsbestandteilen

Quelle: eigene Darstellung

3.3.2 Spezifische Effekte erneuerbarer Energien

Die regionale Wertschöpfung und Beschäftigung durch die hier betrachteten Technologien für die erneuerbare Energieerzeugung summieren sich im Szenario *Current Policies* auf 153 Mio. Euro und 628 Vollzeitäquivalente. Im Szenario *Klimaneutral 2045* sind die Wertschöpfungseffekte mit 383 Mio. Euro um den Faktor 2,5 höher, bei den Beschäftigten sogar um den Faktor 3 (1.940 Vollzeitäquivalente). Wie oben bereits erläutert, ist die Differenz zwischen den Szenarien einerseits auf den ambitionierteren Ausbau der EE-Technologien bis 2040 und andererseits auf die höhere Beteiligung von regionalen Akteuren entlang der EE-Wertschöpfungsketten zurückzuführen.

Um einordnen zu können, welche der Effekte im Betrachtungsjahr 2040 einmalig auftreten und welche der Effekte jährlich anfallen, ist eine Betrachtung nach den einzelnen **Wertschöpfungsstufen** vorzunehmen. Wie in Abschnitt 3.2.2.1 erläutert, unterscheiden wir hier die Stufen Planung und Installation, Anlagenbetrieb und Wartung, Betreibergewinne sowie die Anlagenherstellung. Bei letzterer wird nur der Handel mit Anlagen und -komponenten betrachtet. Bei den Effekten auf der Stufe Planung und Installation handelt es sich um einmalige Effekte durch den Zubau von EE-Anlagen im Betrachtungsjahr 2040. Auch der Handel mit Anlagenkomponenten ist den einmaligen Effekten zuzurechnen. Die Effekte auf den Stufen Anlagenbetrieb und Wartung sowie Betreibergewinne sind dagegen jährliche Effekte durch den Betrieb der Anlagen und nehmen folglich mit zunehmendem Anlagenbestand zu.

Abb. 3-9 sowie Tab. 3-6 und Tab. 3-7 zeigen die Ergebnisse der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte durch die betrachteten EE-Technologien differenziert nach den Wertschöpfungsstufen. Im Szenario *Current Policies* entfallen im Jahr 2040 rund acht Prozent der regionalen Wertschöpfung auf einmalige Effekte durch den Zubau der hier betrachteten EE-Technologien. Mit sechs Prozent fällt dabei v. a. die Planung und Installation von EE-Anlagen ins Gewicht. Bei den jährlichen Effekten sind 51 Prozent der Wertschöpfungseffekte in der Wertschöpfungsstufe Anlagenbetrieb und Wartung zu verorten, 42 Prozent entfallen auf die Betreibergewinne. Die ermittelten Vollzeitäquivalente im Jahr 2040 sind zum Großteil auf die Planung und Installation (39 Prozent) sowie auf den Anlagenbetrieb und die Wartung (53 Prozent) zurückzuführen (siehe Tab. 3-6).

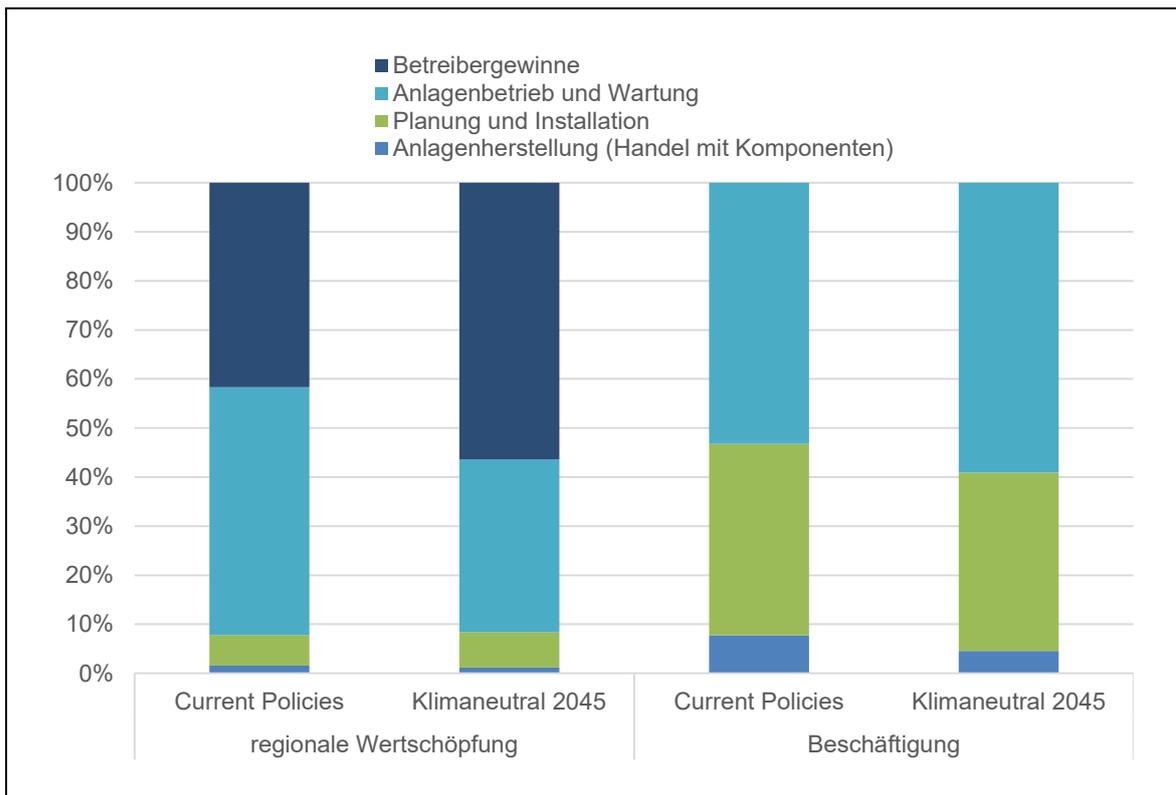


Abb. 3-9: Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung durch ausgewählte EE-Technologien im Jahr 2040 in der Lausitz nach Wertschöpfungsstufen

Quelle: eigene Darstellung

Im Szenario *Klimaneutral 2045* zeigt sich mit Blick auf einmalige und jährliche Effekte eine ähnliche Situation wie im *Current Policies*-Szenario. Auch hier sind 92 Prozent jährliche Wertschöpfungseffekte. Aufgrund der hier deutlich höher angesetzten regionalen Ansässigkeit von Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern ist der Anteil der regionalen Wertschöpfung durch die Betreibergerwinne mit 56 Prozent in diesem Szenario noch etwas höher. Auf den Anlagenbetrieb und die Wartung entfallen 35 Prozent. Eine ähnliche Verteilung zeigt sich auch bei den Vollzeitbeschäftigten (siehe Tab. 3-7).

Bei den **Windenergieanlagen** sind für die einmaligen Effekte insbesondere die Arbeiten im Zusammenhang mit der Projektierung, der Erschließung und den Fundamenten relevant. Bei den jährlichen Effekten tragen auf der Stufe Anlagenbetrieb und Wartung v. a. die Pachtzahlungen und die finanzielle Beteiligung der Kommunen gemäß § 6 EEG 2021 zur regionalen Wertschöpfung bei. In der Stufe der Betreibergerwinne sind die Gewinne aus dem Anlagenbetrieb sowie der kommunale Anteil darauf gezahlter Gewinnsteuern ausgewiesen. Im Szenario *Current Policies* betragen diese 20 Prozent der regionalen Wertschöpfung, im Szenario *Klimaneutral 2045* 37 Prozent. Die Beschäftigungseffekte in der Stufe Anlagenbetrieb und Wartung sind nahezu ausschließlich auf die Betriebsführung zurückzuführen.

Bei den **PV-Freiflächenanlagen** sind bei den einmaligen Effekten, ähnlich wie bei Wind, vor allem die Planung und die Erschließung von Bedeutung. Bei den Wertschöpfungseffekten durch Anlagenbetrieb und Wartung sind insbesondere die Pacht, die Zahlungen an die Kommunen gemäß § 6 EEG 2021 sowie die technische und kaufmännische Betriebsführung zu nennen. Mit letzterer sind auch die meisten Beschäftigungseffekte verbunden. Auf die Betreibergerwinne entfallen im

Szenario *Current Policies* 60 Prozent der regionalen Wertschöpfung, im Szenario *Klimaneutral 2045* 73 Prozent.

Ähnlich ist 2040 auch die Situation bei den **PV-Dachanlagen**. Hier entfallen 72 Prozent (*Current Policies*) bzw. 71 Prozent (*Klimaneutral 2045*) auf die Betreibergewinne. In beiden Szenarien wurde davon ausgegangen, dass ein Großteil der Gesellschafterinnen und Gesellschafter in der Region ansässig ist, da anzunehmen ist, dass überwiegend regionale Unternehmen (Gewerbe, Landwirtschaft), Genossenschaften, Kommunen aber auch Bürgerinnen und Bürger in die bis 2040 in Betrieb befindlichen PV-Anlagen investieren. 22 Prozent der regionalen Wertschöpfung ist in beiden Szenarien dem Anlagenbetrieb und der Wartung zuzuordnen, wobei vor allem die Wartung hervorzuheben ist, auch mit Blick auf die damit verbundenen Arbeitsplätze.

Bei den **Wärmepumpen** sind rund 40 Prozent der regionalen Wertschöpfung und Beschäftigung als einmalige Effekte im Jahr 2040 auf den Handel mit Anlagenkomponenten sowie die Planung und Installation der Wärmepumpen zurückzuführen. Etwa 60 Prozent der Effekte entfällt in beiden Szenarien auf den Anlagenbetrieb und die Wartung. Da es sich bei den hier betrachteten kleinen Wärmepumpen in der Regel nicht um gewerblich betriebene Anlagen handelt, fallen bei dieser Technologie keine Gewinne durch die Wärmebereitstellung an.

Der Anlagenbestand bei den **Biogasanlagen** mit Vor-Ort-Verstromung ist in beiden Szenarien rückläufig, demzufolge gibt es im Jahr 2040 keine Effekte durch den Zubau von Anlagenleistung. In beiden Szenarien betragen die Gewinne aus dem Anlagenbetrieb und dem kommunalen Anteil darauf gezahlter Gewinnsteuern knapp 90 Prozent der regionalen Wertschöpfung. Die Beschäftigungseffekte sind überwiegend auf das Personal für den Anlagenbetrieb und die Wartung zurückzuführen.

Auch bei den **Biogasaufbereitungsanlagen** findet im *Current Policies*-Szenario kein Zubau von Anlagenleistung bis 2040 statt, so dass im Betrachtungsjahr nur Effekte durch die Betreibergewinne (43 Prozent) sowie den Anlagenbetrieb und die Wartung (57 Prozent) zu verzeichnen sind. Bei letzterer Stufe sind mit Blick auf regionale Wertschöpfung und Beschäftigung vor allem die Netzeinspeisung des erzeugten Biomethans und das Personal für den Anlagenbetrieb relevant. Im Szenario *Klimaneutral 2045* gibt es durch den Zubau an Produktionskapazität auch Effekte in der Stufe Planung und Installation. Zudem fallen die Betreibergewinne aufgrund der etwas höheren Quote regionaler Eigenkapitalgeberinnen und -Geber etwas mehr ins Gewicht.

Ähnlich wie bei der Biogasaufbereitung stellt sich die Situation bei den **Holzheizkraftwerken** dar. Auch hier findet 2040 im *Current Policies*-Szenario kein Zubau statt. Aufgrund des geringen Anteils regionaler Akteure am Eigenkapital sind zudem die Wertschöpfungseffekte auf Ebene der Betreibergewinne in der Lausitz vergleichsweise gering. Im Szenario *Klimaneutral 2045* ist der regionale Anteil an der Investitionssumme etwas höher und damit auch die Wertschöpfung auf der Stufe Betreibergewinne. Darüber hinaus generiert der Zubau an Anlagenleistung 2040 regionale Wertschöpfung und Beschäftigung auf der Stufe Planung und Installation. Im Zusammenhang mit dem Anlagenbetrieb sind vor allem das Personal für den Anlagenbetrieb und die Wartung der Holzheizkraftwerke von Bedeutung.

Bei den hier betrachteten Leistungsklassen der **Holz-Zentralheizungsanlagen** handelt es sich in der Regel nicht um gewerblich betriebene Anlagen, so dass hier – wie auch bei den Wärmepumpen – keine Gewinne durch die Wärmebereitstellung anfallen. Im Szenario *Current Policies* findet auch hier bis 2040 ein Abbau von Anlagenleistung statt, so dass nur vergleichsweise geringe Effekte durch Aktivitäten im Zusammenhang mit dem Betrieb der Anlagen (unter anderem Wartung, Reinigung, Emissionsmessungen) zu verzeichnen sind. Im Szenario *Klimaneutral 2045* generiert

der Zubau an thermischer Leistung im Jahr 2040 auch Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte durch die Installation der Heizungsanlagen. Dies umfasst rund 25 Prozent der gesamten regionalen Wertschöpfung und Beschäftigung, 75 Prozent entfallen in diesem Szenario auf den Anlagenbetrieb und die Wartung.

Tab. 3-6: Current Policies-Szenario: Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung durch ausgewählte EE-Technologien im Jahr 2040 in der Lausitz nach Wertschöpfungsstufen

Quelle: eigene Berechnungen

| Wertschöpfungsstufen EE-Technologien | Handel mit Anlagen und -komponenten | Planung und Installation | Anlagenbetrieb und Wartung | Betreiber-gewinne | regionale Effekte gesamt |
|---|-------------------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------|--------------------------|
| Regionale Wertschöpfung [Tsd. Euro] | | | | | |
| Windenergie | 0 | 5.877 | 56.057 | 15.929 | 77.862 |
| Photovoltaik Dachanlagen | 189 | 2.252 | 8.642 | 28.414 | 39.498 |
| Photovoltaik Freiflächen | 0 | 822 | 6.626 | 11.293 | 18.741 |
| Wärmepumpen (klein) | 2.254 | 578 | 4.172 | 0 | 7.004 |
| Biogas (Vor-Ort-Verstromung) | 0 | 0 | 1.048 | 7.772 | 8.820 |
| Biogasaufbereitung | 0 | 0 | 282 | 214 | 496 |
| Holz-Heizkraftwerke | 0 | 0 | 395 | 75 | 470 |
| Holz-Zentralheizungen | 0 | 0 | 121 | 0 | 121 |
| Summe | 2.443 | 9.528 | 77.343 | 63.697 | 153.011 |
| Beschäftigung [VZÄ] | | | | | |
| Windenergie | 0 | 156 | 22 | - | 178 |
| Photovoltaik Dachanlagen | 4 | 54 | 147 | - | 205 |
| Photovoltaik Freiflächen | 0 | 20 | 45 | - | 65 |
| Wärmepumpen (klein) | 45 | 15 | 68 | - | 128 |
| Biogas (Vor-Ort-Verstromung) | 0 | 0 | 26 | - | 26 |
| Biogasaufbereitung | 0 | 0 | 11 | - | 11 |
| Holz-Heizkraftwerke | 0 | 0 | 12 | - | 12 |
| Holz-Zentralheizungen | 0 | 0 | 3 | - | 3 |
| Summe | 49 | 245 | 334 | - | 628 |

Tab. 3-7: Szenario Klimaneutral 2045: Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung durch ausgewählte EE-Technologien 2040 in der Lausitz nach Wertschöpfungsstufen

Quelle: eigene Berechnungen

| Wertschöpfungsstufen EE-Technologien | Handel mit Anlagen und -komponenten | Planung und Installation | Anlagenbetrieb und Wartung | Betreibergewinne | regionale Effekte gesamt |
|---|-------------------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------|--------------------------|
| Regionale Wertschöpfung [Tsd. Euro] | | | | | |
| Windenergie | 0 | 13.102 | 66.091 | 45.903 | 125.096 |
| Photovoltaik Dachanlagen | 629 | 9.497 | 28.915 | 93.688 | 132.729 |
| Photovoltaik Freiflächen | 0 | 3.140 | 20.960 | 63.845 | 87.945 |
| Wärmepumpen (klein) | 3.792 | 972 | 8.611 | 0 | 13.375 |
| Biogas (Vor-Ort-Verstromung) | 0 | 0 | 1.310 | 9.715 | 11.025 |
| Biogasaufbereitung | 0 | 362 | 882 | 1.107 | 2.350 |
| Holz-Heizkraftwerke | 0 | 100 | 6.157 | 1.650 | 7.907 |
| Holz-Zentralheizungen | 0 | 603 | 1.784 | 0 | 2.386 |
| Summe | 4.421 | 27.776 | 134.710 | 215.907 | 382.814 |
| Beschäftigung [VZÄ] | | | | | |
| Windenergie | 0 | 345 | 50 | - | 396 |
| Photovoltaik Dachanlagen | 13 | 235 | 514 | - | 761 |
| Photovoltaik Freiflächen | 0 | 79 | 142 | - | 221 |
| Wärmepumpen (klein) | 75 | 24 | 141 | - | 241 |
| Biogas (Vor-Ort-Verstromung) | 0 | 0 | 32 | - | 32 |
| Biogasaufbereitung | 0 | 6 | 34 | - | 40 |
| Holz-Heizkraftwerke | 0 | 0 | 189 | - | 189 |
| Holz-Zentralheizungen | 0 | 14 | 42 | - | 56 |
| Summe | 88 | 704 | 1.144 | - | 1.936 |

3.3.3 Spezifische Effekte energetischer Gebäudesanierung

Die modellbasierten regionalen Hochrechnungen der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte ergeben für das *Current Policies*-Szenario eine Wertschöpfung von 31,4 Mio. Euro im Betrachtungsjahr 2040 und für das *Klimaneutral 2045*-Szenario 50,5 Mio. Euro sowie Beschäftigungseffekte in Höhe von 1.004 bzw. 1.620 Vollzeitarbeitsplätzen. Wie die Aufteilung der Wertschöpfungseffekte auf die verschiedenen Wertschöpfungsbestandteile in Tab. 3-8 und Abb. 3-10 zeigt, entfallen in beiden Szenarien ca. zwei Drittel der Wertschöpfungseffekte auf die Nettoeinkommen der Beschäftigten in den ausführenden Handwerksunternehmen, während die Gewinne dieser Unternehmen ca. ein Viertel und die kommunalen Steuereinnahmen unter 10 Prozent einnehmen. Dieses Verhältnis liegt in der hohen Arbeitsintensität der Sanierungsaktivitäten begründet sowie in der Begrenzung auf die Bewertung der handwerklichen Ausführungen, während beispielsweise die Herstellung der Dämmmaterialien hier unberücksichtigt bleibt.⁹⁴ Entsprechend hoch fallen auch die Beschäftigungseffekte aus, die in direktem Zusammenhang mit den an diese Beschäftigten ausgezahlten Nettoeinkommen stehen.

Durch die höhere **Sanierungsrate** im *Klimaneutral 2045*-Szenario gegenüber dem *Current Policies*-Szenario steigen die Umsätze für die Sanierungstätigkeiten und damit auch die daraus ermittelten Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte. So werden im *Klimaneutral 2045*-Szenario um ca. 60 Prozent höhere Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte gegenüber dem *Current Policies*-Szenario erreicht. Verglichen mit dem sich aus den Sanierungsraten ergebenden Sanierungsumfängen der beiden Szenarien, die sich um den Faktor 217 Prozent unterscheiden (vgl. Abschnitt 2.5.3), erscheint die Differenz bei den berechneten regionalökonomischen Effekten relativ gering. Dabei ist jedoch zu beachten, dass im *Klimaneutral 2045*-Szenario nicht nur eine höhere Sanierungsrate festgelegt wurde, die den Sanierungsumfang erhöht, sondern auch ein höherer Anteil einer ambitionierter Sanierungstiefe am Sanierungsumfang. Eine höhere Effizienz wird vor allem durch höhere Dämmstärken erreicht, weshalb der dadurch erhöhte Umsatz gegenüber der geringeren Sanierungstiefe größtenteils auf Materialkosten entfällt. Da die ausführenden Handwerksunternehmen das Material jedoch als Vorleistung von Dämmstoffherstellern beziehen, ist es kein Teil ihrer eigenen Wertschöpfung. Somit werden die Auswirkungen der höheren Sanierungsumfänge im *Klimaneutral 2045*-Szenario gemindert und ein demgegenüber geringfügig niedrigeres Verhältnis der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte erreicht.

⁹⁴ Zur inhaltlichen und methodischen Begründung der Nicht-Berücksichtigung der Anlagenherstellung siehe die Ausführungen in Abschnitt 3.2.

Tab. 3-8: Regionale Wertschöpfung nach Wertschöpfungsbestandteilen sowie Beschäftigung durch energetische Sanierung von Wohngebäuden im Jahr 2040 in der Lausitz

Quelle: eigene Berechnungen

| | Current Policies | Klimaneutral 2045 |
|---|------------------|-------------------|
| Gewinne nach Steuern [Mio. Euro] | 8,4 | 13,5 |
| Nettoeinkommen der Beschäftigten [Mio. Euro] | 20,9 | 33,6 |
| Steuern an die Kommunen [Mio. Euro] | 2,2 | 3,5 |
| Gesamte monetäre Wertschöpfung [Mio. Euro] | 31,4 | 50,5 |
| Beschäftigungseffekte [VZÄ] | 1.004 | 1.620 |

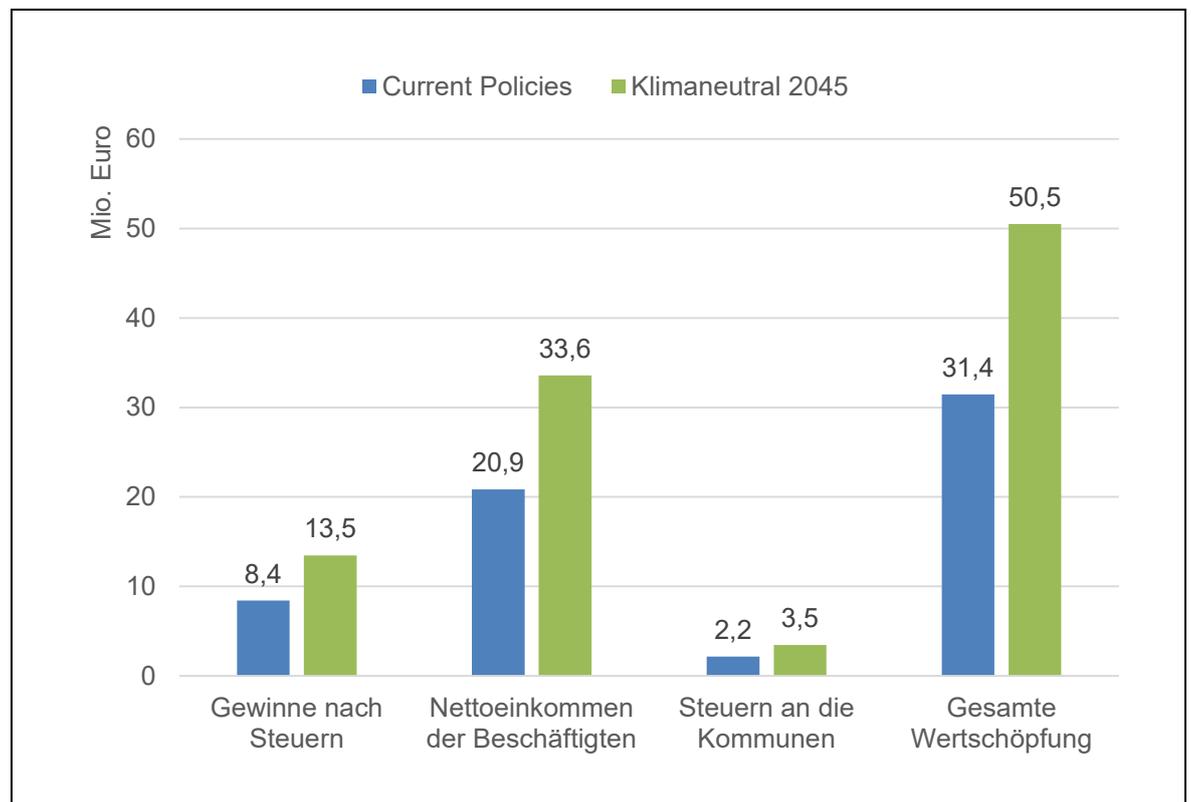


Abb. 3-10: Regionale Wertschöpfung die energetische Sanierung von Wohngebäuden im Jahr 2040 in der Lausitz nach Wertschöpfungsbestandteilen und Sanierungsszenarien

Quelle: eigene Darstellung

Ein Blick auf die **Landkreise bzw. kreisfreien Städte** der Lausitz entfallenden Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte (Tab. 3-9 und Abb. 3-11) macht deutlich, dass fast die Hälfte auf die bevölkerungsreicheren sächsischen Landkreise Bautzen und Görlitz entfällt – so hat auch in den brandenburgischen Landkreisen der bevölkerungsreichste Kreis Dahme-Spreewald den größten Anteil. Die Proportionalität der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte zur Bevölkerungszahl ergibt sich aus dem engen Zusammenhang zum Wohngebäudebestand. Lediglich die Stadt Cottbus weist bezogen auf die Einwohnendenzahl geringere regionalökonomische Effekte auf, was sich durch den im urbanen Kontext größeren Anteil an Mehrfamiliengebäuden ergibt, die ein geringeres Verhältnis an dämmbarer Gebäudehüllfläche zur Wohnfläche haben als Ein- und Zweifamiliengebäude.

Tab. 3-9: Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung durch die energetische Sanierung von Wohngebäuden im Jahr 2040 in der Lausitz nach Landkreisen

Quelle: eigene Berechnungen

| Landkreise bzw. kreisfreie Städte | Current Policies | Klimaneutral 2045 | Current Policies | Klimaneutral 2045 |
|-----------------------------------|---------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| | Wertschöpfung [Mio. Euro] | | Beschäftigung [VZÄ] | |
| Dahme-Spreewald | 4,8 | 8,3 | 153 | 267 |
| Spree-Neiße | 3,4 | 6,0 | 110 | 192 |
| Oberspreewald-Lausitz | 3,0 | 4,6 | 97 | 147 |
| Elbe-Elster | 3,1 | 5,5 | 100 | 176 |
| Cottbus | 1,9 | 2,3 | 60 | 74 |
| Bautzen | 8,0 | 12,7 | 257 | 408 |
| Görlitz | 7,1 | 11,1 | 227 | 357 |
| Summe | 31,4 | 50,5 | 1.004 | 1.620 |

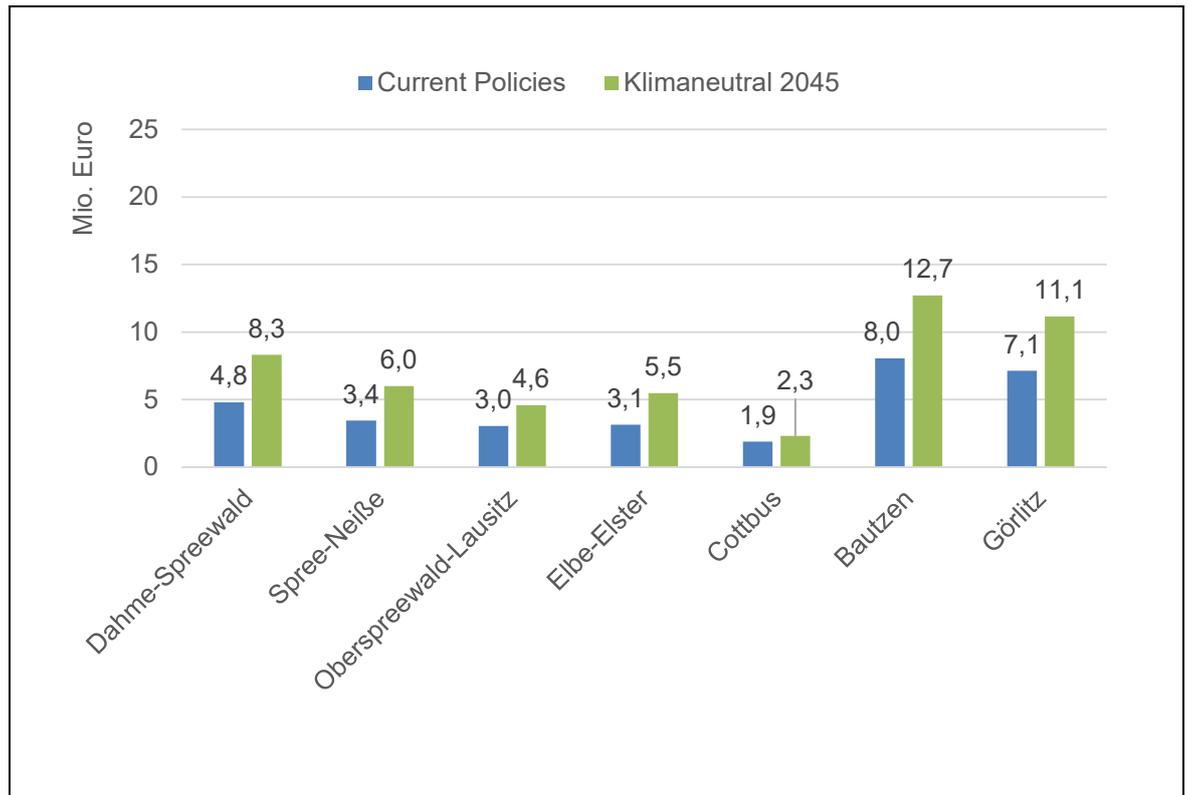


Abb. 3-11: Regionale Wertschöpfung durch die energetische Sanierung von Wohngebäuden im Jahr 2040 in der Lausitz nach Landkreisen und Sanierungsszenarien

Quelle: eigene Darstellung

Weiterhin können die ermittelten Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte nach den beteiligten Gewerken unterschieden werden (vgl. Tab. 3-10 und Abb. 3-12). Dabei wird die in den Beschäftigtenstatistiken und Handwerksauswertungen übliche Gewerkeabgrenzung genutzt, die auch aus dem Baupreislexikon (2020) als Datenquelle für die Verteilung der Kosten der einzelnen Bauleistungen auf die beteiligten Gewerke genutzt wurde. Dabei fällt auf, dass die Stuckarbeiten mit über 70 Prozent den deutlich größten Teil der gesamten Effekte einnehmen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei den Sanierungstätigkeiten an der Außenwand und am unteren Gebäudeabschluss ein signifikanter Anteil der untergeordneten Bauleistungen diesem Gewerk zugeordnet wurde. Gerade die Anbringung eines WDVS an der Außenwand, mit dem bei allen Gebäudetypen größten Anteil an der gesamten Gebäudehüllfläche, führt zu einem eindeutigen Übergewicht dieses Gewerkes. Dabei ist zu beachten, dass diese Bauleistungen in der Praxis keineswegs nur durch Stuckateure und Stuckateurinnen umgesetzt werden. Viele andere Gewerke, wie beispielsweise Malereien sowie allgemein der Hochbau (Massiv-Bau), Malereien oder Zimmereien können teilweise ebenfalls derartige Bauleistungen umsetzen. In der WDVS-Sanierungsmaßnahme sind noch weitere Bauleistungen für die Anbringung von Kanten- und anderen Profilen, Putzträgern und dem abschließenden Verputzen enthalten, daher wurde der Stuckateurbetrieb als maßgeblich unterstellt. Weitere relevante Gewerke sind der Gerüstbau, welcher begleitende Bauleistungen bei der Außenwand- und Dachdämmung umsetzt, sowie der allgemeine Hochbau (Massiv-Bau), dessen Beteiligung bei der Dachdämmung angenommen wird.

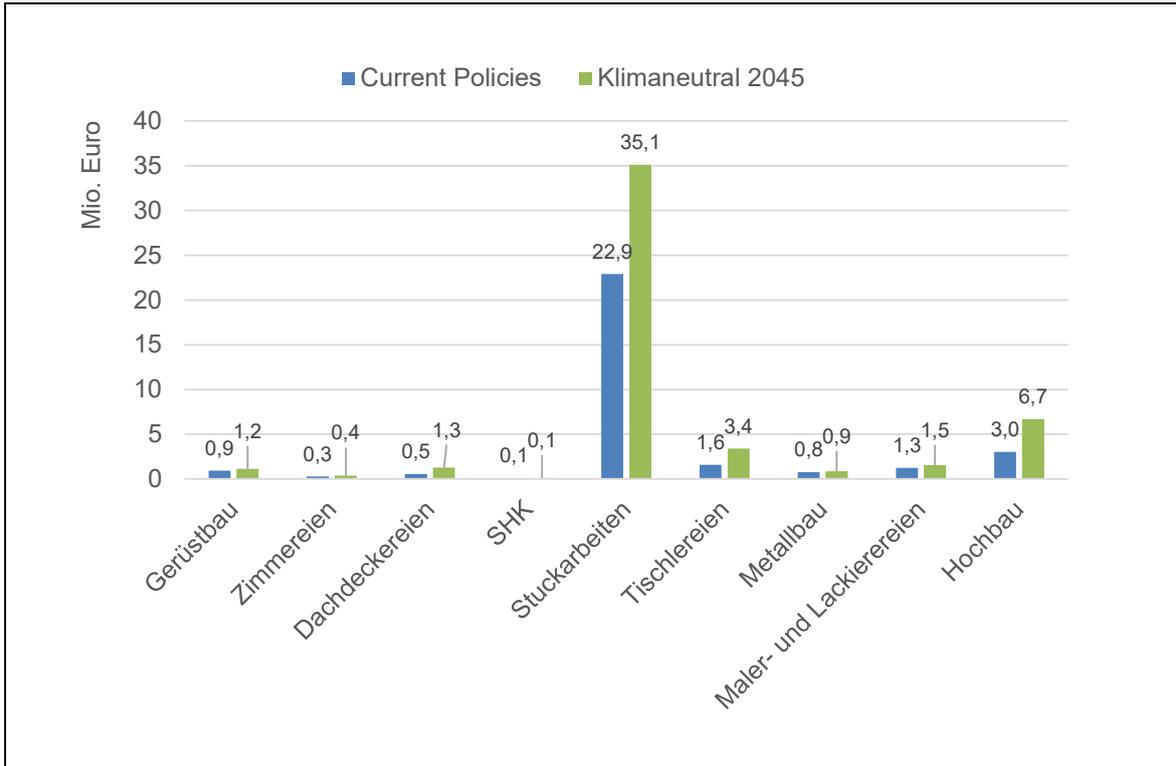


Abb. 3-12: Regionale Wertschöpfung durch die energetische Sanierung von Wohngebäuden im Jahr 2040 in der Lausitz nach Gewerken und Sanierungsszenarien

Quelle: eigene Darstellung

Tab. 3-10: Regionale Wertschöpfung und Beschäftigung durch die energetische Sanierung von Wohngebäuden im Jahr 2040 in der Lausitz nach Gewerken

in Mio. Euro, Beschäftigung in Vollzeitäquivalenten (VZÄ); Quelle: eigene Berechnungen

| Landkreise bzw. kreisfreie Städte | Current Policies | Klimaneutral 2045 | Current Policies | Klimaneutral 2045 |
|-----------------------------------|---------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| | Wertschöpfung [Mio. Euro] | | Beschäftigung [VZÄ] | |
| Gerüstbau | 0,9 | 1,2 | 29 | 36 |
| Zimmerer | 0,3 | 0,4 | 9 | 12 |
| Dachdecker | 0,5 | 1,3 | 19 | 43 |
| Sanitär-Heizung-Klima | 0,1 | 0,1 | 3 | 4 |
| Stuckateure | 22,9 | 35,1 | 725 | 1.115 |
| Tischler | 1,6 | 3,4 | 51 | 109 |
| Metallbau | 0,8 | 0,9 | 25 | 28 |
| Maler und Lackierer | 1,3 | 1,3 | 43 | 52 |
| Hochbau (Massiv-Bau) | 3,0 | 3,0 | 100 | 221 |
| Summe | 31,4 | 31,4 | 1.004 | 1.620 |

Einen ähnlich hohen Anteil haben Stuckateurbetriebe demzufolge an den ermittelten Beschäftigungseffekten (vgl. Tab. 3-10). Um die ermittelten absoluten Beschäftigtenzahlen vor dem Hintergrund der heutigen Beschäftigtensituation im Handwerk einzuordnen, wurden sie mit statistischen Daten der Handwerkszählungen in Brandenburg (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2021) und in Sachsen (Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen 2020) abgeglichen. In Brandenburg nehmen die für das Betrachtungsjahr ermittelten Vollzeitarbeitsplätze über alle Gewerke hinweg, die zur Umsetzung der bewerteten Sanierungsmaßnahmen notwendig wären, ca. 1,1 Prozent (*Current Policies*) bzw. 1,9 Prozent (*Klimaneutral 2045*) der aktuell verfügbaren sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten ein, während es in Sachsen ca. 0,6 bzw. 0,9 Prozent sind. Mit Blick auf die einzelnen Gewerke bleiben diese Anteile regelmäßig unter diesen Durchschnittswerten, außer bei den Stuckateuren und Stuckateurinnen, die aufgrund ihres hohen Anteils an den Gesamteffekten den Durchschnitt deutlich beeinflussen. In Brandenburg würden mit den in 2040 benötigten Beschäftigten ca. 9 bzw. 14 Prozent der heute verfügbaren Kapazitäten belegt, wenn dafür nur Stuckateure und Maler beansprucht würden. In der Praxis dürften diese Anteile aufgrund der breiteren Verteilung von Wärmedämmarbeiten auf weitere Gewerke geringer ausfallen. In der sächsischen Handwerkszählung werden Wärme-, Kälte- und Schallschutzisolierer gesondert ausgewiesen. Deren heutigen Kapazitäten würden allerdings zu 74 bzw. 111 Prozent mit den Bedarfen im Jahr 2040 ausgeschöpft, wenn die übrigen Gewerke nicht hinzugerechnet werden. Alles in allem kann von ausreichend Fachkräftekapazitäten ausgegangen werden, sofern die demografische Entwicklung die Fachkräftesituation nicht maßgeblich verschärft. Bei den spezifischen Arbeiten an Wärmedämmverbundsystemen für die Außenwanddämmung muss sichergestellt werden, dass über verschiedenste Gewerke hinweg die Kapazitäten und Qualifikationen zur Deckung der notwendigen Arbeitskräfte sichergestellt werden. Hierfür ist möglicherweise eine Intensivierung von Umschulungs- bzw. Weiterbildungsmaßnahmen in der Region erforderlich.

3.4 Kontextualisierung und Diskussion der Ergebnisse

An dieser Stelle erfolgen eine Sensitivitätsbetrachtung sowie eine Einordnung und Diskussion der Ergebnisse mit Blick auf die Wirtschaftsleistung der Lausitz insgesamt, weitere Potenziale und indirekte Effekte im Kontext der Energiewende.

3.4.1 Ergebnisse und weitere Potenziale im Kontext der Energiewende

Einordnung in Bezug zur regionalen Wirtschaftsleistung insgesamt

Welche Bedeutung den regionalökonomischen Effekten durch die ausgewählten Energiewendebereiche mit Blick auf die Wirtschaftsleistung der Lausitz insgesamt zukommt, kann ein Vergleich der ermittelten Effekte mit der gesamten Wertschöpfung bzw. Beschäftigung in der Region sowie mit ausgewählten Wirtschaftsbereichen veranschaulichen. Auch eine Gegenüberstellung der ermittelten Steuereinnahmen für die Kommunen mit der Steuereinnahmekraft der Lausitz kann bei der Kontextualisierung der Ergebnisse hilfreich sein. Dafür werden die berechneten Effekte vereinfachend der aktuellen Situation gegenübergestellt (zum Zeitpunkt der Studie bezogen auf die Jahre 2019 oder 2020). Um die Vergleichbarkeit zu den in der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) ermittelten Wertschöpfungsdaten zu gewährleisten, muss diesen die Wertschöpfung durch EE-Technologien und energetische Gebäudesanierung inklusive der Steuern und sonstigen Abgaben an den Bund und das Land gegenübergestellt werden.

Zu der ermittelten regionalen Wertschöpfung in Höhe von 185 Mio. Euro (*Current Policies*) bzw. 433 Mio. Euro (*Klimaneutral 2045*) sind demnach noch die Steuern auf Ebene der Länder (16 bzw.

38 Mio. Euro) sowie die Steuern und sonstigen Abgaben an den Bund (40 bzw. 94 Mio. Euro) zu berücksichtigen, da diese beiden politisch-administrativen Einheiten ebenfalls Einnahmen durch die Aktivitäten in der Lausitz erfahren. Damit ergibt sich durch die betrachteten Energiewendebereiche eine Wertschöpfung auf allen drei politisch-administrativen Ebenen in Höhe von 241 Mio. Euro (*Current Policies*) und 565 Mio. Euro (*Klimaneutral 2045*). Stellt man diese Effekte der gesamten **Wertschöpfung** (nach Abschreibungen) der Lausitz im Jahr 2019 (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2021b) gegenüber, so ergibt sich ein Anteil von rund 1,0 Prozent im Szenario *Current Policies* und ein Anteil von 2,3 Prozent im Szenario *Klimaneutral 2045*. Die meisten der bewerteten Energiewendetätigkeiten lassen sich dem sekundären volkswirtschaftlichen Sektor bzw. dem Bereich „Produzierendes Gewerbe ohne Baugewerbe“ zuordnen. Gemessen an der Wertschöpfung (nach Abschreibungen) 2019 in diesem Bereich umfasste die Wertschöpfung durch ausgewählte Bereiche der Energiewende einen Anteil von 3,7 Prozent (*Current Policies*) und 8,8 Prozent (*Klimaneutral 2045*).

Interessant ist auch ein Blick auf die **Steuereinnahmekraft** der Lausitzer Landkreise und der Stadt Cottbus sowie ein Vergleich mit den Einnahmen der Gemeinden und Städte durch die kommunalen Steuern im Zusammenhang mit den betrachteten Energiewendebereichen sowie den Zahlungen im Rahmen der finanziellen Beteiligung von Kommunen gemäß § 6 EEG 2021. Die gesamte Steuerkraft lag 2018 in der Lausitz bei 1,1 Mrd. Euro (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2021d). Die Steuern an die Kommunen und Zahlungen nach § 6 EEG 2021 betragen 2040 im Szenario *Current Policies* knapp 51 Mio. Euro, was einem Anteil von fünf Prozent entspricht. Im *Klimaneutral 2045*-Szenario sind es knapp 87 Mio. Euro, d. h. acht Prozent an der gesamten Steuerkraft.

Der Vergleich der ermittelten **Vollzeitbeschäftigten** durch ausgewählte Energiewendebereiche im Jahr 2040 im Vergleich mit der gesamten Zahl an sozialversicherungspflichtig Beschäftigten (am Arbeitsort) im Jahr 2020 in der Lausitz (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2021e) ergibt einen Anteil von 0,4 Prozent im *Current Policies*-Szenario und von 0,9 Prozent im *Klimaneutral 2045*-Szenario. Bei der Statistik zu den sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten insgesamt handelt es sich um Kopffzahlen; im Rahmen der modellbasierten Hochrechnung wurden Vollzeitarbeitsplätze ermittelt. Deswegen ist davon auszugehen, dass der Anteil noch höher liegt, da nicht jede Arbeitnehmerin und jeder Arbeitnehmer eine Vollzeitstelle hat.⁹⁵

Weitere Potenziale im Kontext der Energiewende

Wie in Abschnitt 2.1.1 erläutert, fokussiert das Vorhaben auf ausgewählte EE-Technologien und Energieeffizienzmaßnahmen, die quantitativ eine sehr große Bedeutung für die Region haben werden. Neben diesen gibt es jedoch viele weitere Energiewende- und Klimaschutz-Technologien und -Dienstleistungen, die in Summe ebenfalls hohe Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte in der Lausitz generieren können. Dazu zählen unter anderem

- weitere erneuerbare Energien-Technologien wie beispielsweise Solarthermie oder Groß-Wärmepumpen,
- Effizienztechnologien und –Dienstleistungen (Abwärmenutzung, Contracting etc.),
- elektrische oder mechanische Energiespeicher,

⁹⁵ Im Durchschnitt über die relevanten Wirtschaftszweige liegt das Verhältnis bei ca. 0,95 VZÄ/Kopf, allerdings in einer Bandbreite von 0,92 bis 0,99 VZÄ/Kopf (Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung 2021).

- die Erzeugung von Wasserstoff und grünen synthetischen Brennstoffen oder
- Power-to-Heat (PtH).

Im Projekt „Erneuerbare-Energien-Vorhaben in den Tagebauregionen“ wurden Potenziale für ausgewählte **PtX-Vorhaben**⁹⁶ in der Lausitz untersucht. Dies waren die Wasserstofferzeugung und -abnahme sowie die anteilige Bereitstellung von Fernwärme via PtH-Anwendungen. Aus den in der Studie für das Jahr 2030 angenommenen Umsetzungsraten dieser Technologien ergab sich in Verbindung mit einer Analyse zur regionalen Ansässigkeit eine regionale Wertschöpfung im Umfang von etwa 13 Mio. Euro für Power-to-Gas und rund 1 Mio. Euro für Power-to-Heat sowie eine Zahl von 111 und 18 Vollzeitäquivalenten als regionale Beschäftigungseffekte (Richwien et al. 2018).

Im Bereich **EE-Wärme** spielen große und kleine solarthermische Anlagen eine Rolle, diverse Formen der Abwärmenutzung (beispielsweise aus Abwasser, aus Fertigungsprozessen sowie Lüftungsabwärme) sowie der Einsatz von Großwärmepumpen, wobei hier unter anderem Wärme aus dem Untergrund oder von stehenden und fließenden Gewässern genutzt werden kann. Auch die Wärmedistribution über Nah- und Fernwärmenetze birgt regionalökonomische Potenziale. Bei der Bioenergie kommen weitere technologische Anwendungen wie die thermochemische Vergasung sowie die Bereitstellung und der Handel mit biogenen Brennstoffen wie Holzpellets, Scheitholz und Hackschnitzel hinzu.

Im Bereich **Energieeffizienz** konnten aufgrund der unzureichenden Datengrundlage in diesem Vorhaben nur Wohngebäude betrachtet werden. Die regionalökonomischen Effekte durch die energetische Sanierung des öffentlichen Gebäudebestands und der Ausschöpfung von Energieeffizienzpotenzialen in Industrie und Gewerbe sind somit noch nicht berücksichtigt. Im Rahmen der Studie „Erneuerbare-Energien-Vorhaben in den Tagebauregionen“ erfolgte eine grobe Abschätzung möglicher Beschäftigungseffekte durch die Planung und Ausführung von Energieeffizienzmaßnahmen anhand der Energieeinsparpotenziale im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen im sächsischen Teil der Lausitz (Landkreise Görlitz und Bautzen). Diese ergab einen Beschäftigungseffekt von rund 350 Vollzeitäquivalenten für ein durchschnittliches Jahr (Richwien et al. 2018). Zudem führen auch Effizienzmaßnahmen in der Industrie zu weiteren Wertschöpfungseffekten.

Zusätzlich zum Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugung und Energieeffizienzmaßnahmen kommt die Umsetzung der **Mobilitätswende** mit Bausteinen wie ÖPNV, Car-Sharing, E-Mobilität und synthetischen Kraftstoffen, die auch wichtige Bezugspunkte zur regionalen EE-Erzeugung aufweisen und die regionalen Wertschöpfungsketten verlängern und stärken können. In dem Projekt „Erneuerbare-Energien-Vorhaben in den Tagebauregionen“ wurde ein Bestand an Elektro-PKW sowie die damit verbundenen Investitionskosten bis 2030 in der Lausitz für 2030 abgeschätzt. Interpretiert man die jährlichen Investitionen bis 2030 als Umsatzerlöse des KfZ-Handels, so entspricht dies rund fünf Prozent der jährlichen Umsätze dieser Branche (inkl. Reparaturtätigkeiten) im brandenburgischen Teil der Lausitz (Richwien et al. 2018). In der Studie ergab sich eine benötigte Anzahl von rund 2.600 Ladestationen in der Region, mit einem Investitionsbedarf in Höhe von ca. 26 Mio. Euro (ebda.). Bei der Installation und dem Betrieb dieser Ladesäulen können überwiegend regionale Akteure (u. a. Handwerksunternehmen und Stromversorger) beteiligt werden. Mit dem abgeschätzten Strombedarf für den Betrieb der Elektro-PKW im Jahr 2030 ergeben sich Umsätze

⁹⁶ Power-to-X steht für strombasierte neue Anwendungen, in der Regel unter Nutzung von grünem Überschussstrom, die diesen Strom in andere Energieträger oder -Nutzungen umwandeln.

der Stromlieferanten für die Ladestationen in Höhe von ca. 49 Mio. Euro. Diese können regional wirksam werden, sofern die benötigten Strommengen vor Ort erzeugt werden und mit entsprechenden Lieferverträgen die Ladeinfrastruktur der Elektromobilität bedienen (ebda.)

Indirekte Effekte durch Energiewendetechnologien und -maßnahmen

Wie in Abschnitt 3.2 beschrieben, handelt es sich bei der berechneten Wertschöpfung und Beschäftigung durch ausgewählte Energiewendebereiche um Effekte, die direkt mit der Errichtung und dem Betrieb der EE-Anlagen sowie der Durchführung von Bauleistungen im Zusammenhang mit energetischen Sanierungsmaßnahmen verbunden sind. Bei weiter vorgelagerten Umsätzen und damit verbundenen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten handelt es sich um sogenannte indirekte Effekte. Grundsätzlich ist das Verhältnis der direkten zur indirekten Wertschöpfung und Beschäftigung abhängig von der Wirtschaftsstruktur einer Region, d. h. welche Wirtschaftsbereiche in einer Region mit welcher Ausprägung vertreten sind. Ergebnisse früherer Forschungsprojekte des IÖW zeigen, dass das Verhältnis je nach Region unterschiedlich sein kann. So lag beispielsweise in drei untersuchten Bioenergie-Regionen der Anteil indirekt Beschäftigter an der direkten Beschäftigung zwischen 20 Prozent und knapp 80 Prozent (Rupp et al. 2017). Im Allgemeinen gilt, dass umso mehr Vorleistungen importiert werden, je kleiner die betrachtete Region ist und damit auch der Anteil indirekter Effekte niedriger ausfällt.

Auf Basis der oben genannten Erkenntnisse aus früheren Studien, ist zu erwarten, dass mit der ermittelten direkten Wertschöpfung und Beschäftigung (siehe Abschnitt 3.3) auch Effekte bei Zuliefererunternehmen in einer Größenordnung von nochmals 20 bis 80 Prozent der direkten Effekte verbunden sind. Gleiches gilt für die vom Strukturwandel betroffene Braunkohleindustrie. Gemäß einer Studie zur regionalwirtschaftlichen Bedeutung der Braunkohle in Ostdeutschland kann den direkt in der Braunkohleindustrie Beschäftigten eine Größenordnung indirekter Arbeitsplätze von 50 bis 80 Prozent der direkten Beschäftigung hinzugerechnet werden (Hobohm et al. 2011). Laut den Autoren ist ein Großteil dieser Arbeitsplätze in den Bereichen „Handel und Reparaturdienstleistungen, Bau, unternehmensbezogene Dienstleistungen und Maschinen- und Fahrzeugbau sowie elektrotechnisches Gerät“ verortet. Diese Wirtschaftsbereiche treten jedoch auch als Zulieferer für die Energiewendebbranche auf. Den auch vom Strukturwandel betroffenen Zuliefererunternehmen der Braunkohleindustrie stehen somit potenziell alternative Absatz- und Geschäftsmöglichkeiten in den neuen Energiewendefeldern zur Verfügung stehen (vgl. hierzu auch die Ergebnisse einer Unternehmensbefragung in der Lausitz von Markwardt et al. 2016).

3.4.2 Sensitivitätsbetrachtungen

Um die Bedeutung des Anteils regionalen Eigenkapitals (EK) für die Höhe der erzielbaren regionalen Wertschöpfung und Beschäftigung in der Lausitz deutlich zu machen, wurden für jedes der Szenarien zwei Varianten mit unterschiedlichen Annahmen zur regionalen Ansässigkeit der Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern zusätzlich zu den Basisvarianten (vgl. Abschnitt 3.2.2.3) definiert und berechnet. Dies gilt für alle betrachteten Technologien mit Ausnahme von kleinen PV-Dachanlagen und kleinen Biogasanlagen, da bei diesen angenommen werden kann, dass die jeweiligen Hauseigentümerinnen und Hauseigentümer bzw. der landwirtschaftliche Betrieb die Investition selbst tätigen:

- **Variante „V 0% EK“:** Annahme von 0 Prozent regionaler Ansässigkeit für die Eigenkapitalgeberinnen und -Geber bei den gewerblich betriebenen EE-Anlagen,

- **Variante „V 100% EK“:** Annahme von 100 Prozent regionaler Ansässigkeit für die Eigenkapitalgeberinnen und -Geber bei den gewerblich betriebenen EE-Anlagen.

Die regionale Ansässigkeit der Eigenkapitalgeber und -Geberinnen ist oftmals ein zentraler, wenn auch nicht der einzige Einflussfaktor auf den regional verbleibenden Anteil der Wertschöpfung. Daher wurde zudem für beide Szenarien eine **Variante „V 100%“** berechnet, bei dem für die Tätigkeiten Planung, Installation, Wartung und technischer Anlagenbetrieb als auch für die Eigenkapitalgebenden sowie den steuerrechtlichen Sitz der Betreibergesellschaften eine 100-prozentige regionale Ansässigkeit unterstellt wurde. Hierbei ist wichtig zu betonen, dass es sich um einen hypothetischen Fall handelt, da es im Regelfall nicht vorkommt, dass es für alle Aktivitäten entsprechend qualifizierte Unternehmen in der Region gibt bzw. geben wird. Auch ist es nicht wahrscheinlich, dass die Finanzierung mit Eigen- als auch Fremdkapital bei den erforderlichen Investitionsvolumina gänzlich über regionale Akteure abgedeckt werden kann. Dennoch können die Ergebnisse dieser Variante hilfreich sein für die Einordnung der für 2040 berechneten regional verbleibenden Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte.

Abb. zeigt zum einen die regionale Wertschöpfung im Betrachtungsjahr 2040, welche über die modellbasierte Hochrechnung mit den in Abschnitt 3.2.2.3 und 6.1 im Anhang dargestellten Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Akteuren entlang der Wertschöpfungsketten in den beiden Szenarien ermittelt wurde (2040). Für jedes Szenario ist daneben die Variante mit 100 Prozent Ansässigkeit (V 100%) und die beiden Varianten, bei denen jeweils nur der Anteil des aus der Region

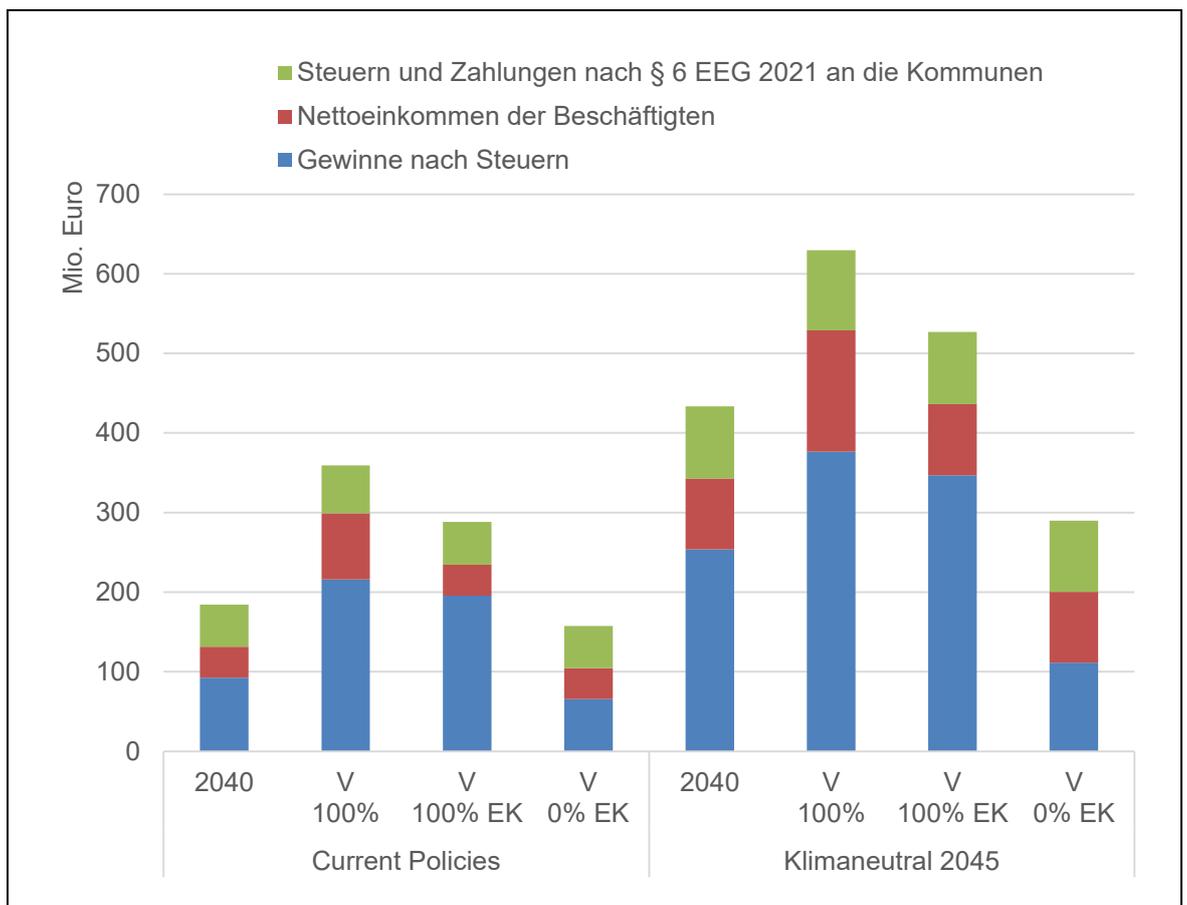


Abb. 3-13: Regionale Wertschöpfung durch ausgewählte Energiewendebereiche in der Lausitz im Jahr 2040 und für die Varianten „V 100%“, „V 0% EK“ und „V 100% EK“

Quelle: eigene Darstellung

eingebrauchten Eigenkapitals unterschieden wurde (V 0% EK, V 100% EK) abgebildet. In Abb. 3-14 sind die ermittelten Vollzeitarbeitsplätze der Hochrechnung für 2040 sowie diejenigen der Variante „V 100%“ dargestellt.

In der Variante „V 100%“ fällt die Wertschöpfung im *Current Policies*-Szenario nahezu doppelt so hoch aus, bei den Beschäftigten zeigen sich um 85 Prozent höhere Effekte. Im Szenario *Klimaneutral 2045* fällt die Differenz der Variante gegenüber den Berechnungen für 2040 in den beiden Szenarien deutlich geringer aus. Die Wertschöpfung ist bei der Variante „V 100%“ um 45 Prozent und die Zahl der Vollzeitäquivalente um rund 55 Prozent höher. Die Erklärung dafür ist der insgesamt höhere Grad der Einbindung regionaler Akteure entlang der Wertschöpfungskette in der Basisvariante des Szenarios *Klimaneutral 2045* (siehe Abschnitt 3.2.2.3 und 0 im Anhang).

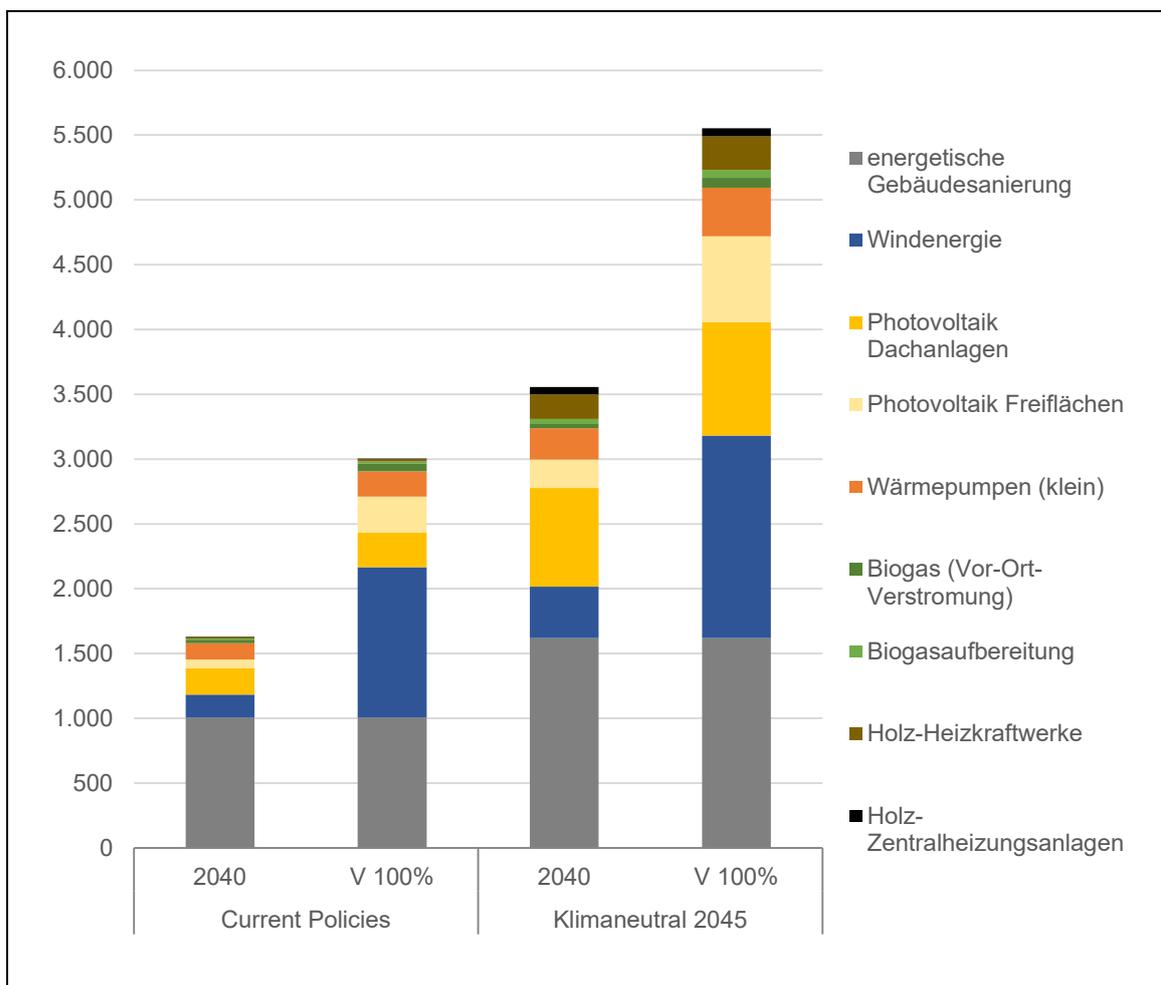


Abb. 3-14: Beschäftigung durch ausgewählte Energiewendebereiche in der Lausitz im Jahr 2040 und für die Varianten „V 100%“, „V 0% EK“ und „V 100% EK“

Quelle: eigene Darstellung

Die Ergebnisse für die beiden entgegengesetzten Eigenkapital-Varianten (V 0% EK, V 100% EK) machen deutlich, dass die finanzielle Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern, Unternehmen und Kommunen in der Region einen erheblichen Einfluss auf die Höhe der regionalen Wertschöpfung hat. Da sich die Varianten lediglich auf die Höhe der Betreibergewinne und die damit verbundenen Steuerzahlungen auswirken, zeigt sich hier kein Effekt auf die mit der Wertschöpfung verbundenen

Arbeitsplätze. Würde die Eigenkapitalfinanzierung der EE-Projekte gänzlich über regional ansässige Investorinnen und Investoren erfolgen, hätte dies eine Steigerung der regional verbleibenden und wirksamen Wertschöpfung um rund 55 Prozent (*Current Policies*) bzw. 22 Prozent (*Klimaneutral 2045*) zur Folge. In dem Fall, dass gar keine Eigenkapitalgeberinnen und -Geber aus der Lausitz an der Finanzierung der EE-Vorhaben beteiligt sind, fällt die regionale Wertschöpfung um 15 Prozent (*Current Policies*) bzw. mehr als 30 Prozent (*Klimaneutral 2045*) niedriger gegenüber den jeweiligen Basisvarianten aus. Wie oben beschrieben, ist auch bei der Eigenkapitalfinanzierung ein 100 Prozent-Szenario in der Regel nicht gegeben. Dennoch kann die Berechnung der Varianten die Wertschöpfungspotenziale aufzeigen und deutlich machen, inwieweit diese bei den beiden Szenarien bereits ausgeschöpft werden.

3.5 Fazit und Empfehlungen

In diesem Kapitel wurden die potenziellen regionalökonomischen Effekte durch die Wertschöpfungsschritte in den zuvor ausgewählten Energiewendebereichen in der Lausitz im Jahr 2040 berechnet. Mögliche Effekte durch die Herstellung von EE-Anlagen und -komponenten oder Dämmstoffen wurden dabei bewusst nicht mit abgebildet, da diese weniger von den Aktivitäten in der Region, sondern vielmehr von den Entwicklungen der nationalen und internationalen Märkte abhängig sind und zudem für einzelne Unternehmen über den Zeitraum bis 2040 nur schwer seriös abgeschätzt werden können. Weitere Effekte durch andere erneuerbare Energien wurden ebenso ausgeblendet wie der Bereich der Energieeffizienz bei Nichtwohngebäuden und die Mobilität. Das Spektrum der Energiewende und die damit einhergehenden Potenziale und Effekte sind somit breiter und größer, als die berechneten und in den vorangehenden Abschnitten dargestellten Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte.

Die Errichtung und der Betrieb von EE-Anlagen sowie die Umsetzung von energetischen Sanierungsmaßnahmen erhöhen nicht per se die Wertschöpfung in der Lausitz in großem Umfang bzw. schaffen oder erhalten dort Arbeitsplätze. Die regionalökonomischen Effekte durch den Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugung und die energetische Sanierung werden maßgeblich durch die in der Region ansässigen Unternehmen, ihre Beschäftigten und (im Fall von EE-Anlagen) die regionalen Investorinnen und Investoren generiert. Damit die Lausitz von den Energiewendeaktivitäten auch ökonomisch profitiert, muss bei der Umsetzung von Energiewendevorhaben somit sichergestellt werden, dass entlang der jeweiligen Wertschöpfungsketten in hohem Maße regionale Akteure eingebunden werden, welche die einzelnen Wertschöpfungsbestandteile als Einkommen beziehen. Dazu zählen beispielweise die Unternehmen, die die Anlagen planen, errichten und warten, die Betreibergesellschaften und Eigenkapitalgeberinnen und -geber der EE-Projekte aber auch regionale Banken, die Fremdkapital für die Finanzierung der Anlagen bereitstellen. Nur in diesem Fall verbleibt die Wertschöpfung – und damit der ökonomische Nutzen – auch in der Region: in Form von Gewinnen der Unternehmen und Gesellschafterinnen und Gesellschafter, Einkommen von Beschäftigten sowie der kommunale Anteil der darauf gezahlten Steuern.

Zur Berechnung der möglichen regionalökonomischen Effekte im Jahr 2040 der beiden betrachteten Szenarien wurden differenzierte Annahmen für die verschiedenen Wertschöpfungsketten und -schritte getroffen, die grundsätzlich in der Region angesiedelt werden bzw. erfolgen können. Übergreifend kann dazu festgehalten werden, dass die Einbindung regionaler Akteure im Szenario *Klimaneutral 2045* höher angesetzt wurde. Hier wurde angenommen, dass die umfangreicheren Ausbauaktivitäten in der Lausitz auch für Unternehmen vor Ort mit einer deutlich höheren Auftragslage verbunden sind, sodass bestehende Unternehmen ihre Kapazitäten erweitern und möglicherweise auch ein zusätzlicher Aufbau von Kompetenzen durch die Ansiedlung von Unternehmen in der Re-

gion stattfindet. Dies gilt vor allem für Windenergieanlagen, Solarparks und größere PV-Dachanlagen. Für kleine PV-Dachanlagen, Wärmeerzeugungsanlagen im unteren Leistungsbereich und die energetische Sanierung von Wohngebäuden wurde angenommen, dass diese Aktivitäten auch zukünftig maßgeblich vom regionalen Handwerk sowie weiteren lokal ansässigen Unternehmen durchgeführt werden können. Bei der Eigenkapitalfinanzierung wurde unterstellt, dass bei zukünftigen Projekten mit entsprechenden Instrumenten sichergestellt wird, dass gegenüber der heutigen Situation mit einem noch sehr geringen Anteil regionalen Eigenkapitals insbesondere bei Windenergieanlagen, Solarparks und größeren PV-Dachanlagen eine höhere finanzielle Beteiligung von lokalen Bürgerinnen und Bürgern, regionalen Unternehmen und Kommunen erreicht wird. Die Ergebnisse für die beiden Szenarien und der Sensitivitätsbetrachtungen zeigen, dass die Differenz bei der ermittelten Wertschöpfung und Beschäftigung nicht nur auf die unterschiedlichen Ausbaupfade bei den EE-Technologien und die Unterschiede bei der Sanierungsrate zurückzuführen sind, sondern maßgeblich auch auf das Ausmaß der **ökonomischen Teilhabe der Akteure in der Lausitz**.

Mit Blick auf die **finanzielle Beteiligung der Standortkommunen** bei EE-Projekten wurden in der Vergangenheit bereits erste Maßnahmen ergriffen, um die Situation zu verbessern. So wurde zum einen der Zerlegungsmaßstab bei der Gewerbesteuer geändert, so dass ab 2021 90 Prozent statt 70 Prozent der Gewerbesteuer an die Standortkommunen fließen und nur noch 10 Prozent an den steuerrechtlichen Sitz der Betreibergesellschaft und damit der Betriebsstätte, bei der die Arbeitnehmer beschäftigt sind. Auch wurde der Bemessungsmaßstab geändert, was bedeutet, dass nicht mehr der Buchwert der EE-Anlagen, sondern die installierte Leistung entscheidend ist (§ 29 GewStG und Böhlmann-Balan und Dziemballa 2021). Somit fließt auch nach der Abschreibung der Anlagen, also wenn auch tatsächlich Gewerbeerträge anfallen, weiterhin Gewerbesteuer in die Standortkommune. Seit dem 01.01.2021 ermöglicht zudem § 6 EEG2021 die finanzielle Beteiligung der Kommunen am Ausbau von Windenergieanlagen an Land durch Zahlungen in Höhe von insgesamt 0,2 Cent pro Kilowattstunde für die eingespeiste Strommenge an die betroffenen Gemeinden. Am 01.08.2021 ist die Regelung des § 6 EEG 2021 auch für PV-Freiflächen in Kraft getreten (MASLATON Rechtsanwaltsgesellschaft mbH 2021). Diese Regelung für eine freiwillige Beteiligung gilt bisher jedoch nur für Neuanlagen. Im Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und der FDP ist das Vorhaben formuliert, diese Regelung auf Bestandsanlagen auszuweiten und für Neuanlagen verpflichtend zu machen (SPD et al. 2021)⁹⁷. Auch die Verpachtung von Flächen im Eigentum der Kommune bzw. von Dächern kommunaler Liegenschaften für die erneuerbare Energieerzeugung kann eine Einnahmequelle für die Kommunen sein. Dies erfordert eine Flächenbereitstellung und -sicherung durch die Kommunen und bei den kommunalen Liegenschaften nach Möglichkeit die Bildung eines Dachflächenpools, da damit Aktivitäten gebündelt und Personalaufwand sowie organisatorischer Aufwand reduziert werden können. Bei den Dachflächen kann es jedoch sinnvoll sein, diese nicht nur zu verpachten, sondern diese gleich selbst für die Eigenversorgung, z. B. mit PV-Strom, zu nutzen.

Einen hohen Anteil von ca. 40 Prozent bis über 50 Prozent an der gesamten regionalen Wertschöpfung in den beiden Szenarien nehmen die Gewinne der Betreibergesellschaften der EE-Anlagen zzgl. darauf gezahlter Steuern ein. Daher kann eine noch höhere Wertschöpfung durch die Energiewende in der Region Lausitz erzielt werden, wenn es gelingt, den **Anteil der Bürgerinnen**

⁹⁷ Ob bspw. die Sonderabgabe für Windenergieanlagen an Kommunen im Bundesland Brandenburg mit der Ergänzung einer verpflichtenden Zahlung im EEG parallel bestehen bleibt, ist dann noch durch den Landesgesetzgeber zu klären, der zumindest die freiwillige Regelung bisher nicht als gleichwertig erachtet (Landesregierung Brandenburg 2021, S. 8f.).

und Bürger, (privaten und öffentlichen) **Unternehmen** und der **Kommunen** aus der Region **an der Eigen- oder auch Fremdkapitalfinanzierung** von EE-Anlagen zu erhöhen. Um insbesondere die finanzielle Teilhabe von Bürgerinnen und Bürgern zu erhöhen, sind verschiedene Möglichkeiten denkbar. Hierzu zählt unter anderem die direkte wirtschaftliche Beteiligung an EE-Projekten mittels Eigenkapitalbeteiligung, beispielsweise in Bürgerenergiegesellschaften. Daher wird vorgeschlagen, insbesondere Bürgerenergieunternehmen zu fördern und in ihrer Professionalisierung zu unterstützen, da solche Unternehmen zu einer vergleichsweise breiten und niedrigschwelligen Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern an der Investition in EE-Projekte und somit der Wertschöpfung vor Ort beitragen. Alternativ ist das Einbringen von Fremdkapital möglich, zum Beispiel über Darlehen von Bürgerinnen und Bürgern an die Betreibergesellschaft oder Sparverträge bei regionalen Finanzinstituten. Eine weitere Möglichkeit ist die indirekte Umverteilung von Betreibergewinnen durch vergünstigte Stromtarife für betroffene Anwohnerinnen und Anwohner. Alternativ könnte der Bundesgesetzgeber derartige EE-Regionalstromangebote auch in Bezug auf die Abgaben und Umlagen besserstellen, um eine solche Anreiz- und regionalökonomische Wirkung zu entfalten. Sämtliche Möglichkeiten zur finanziellen Beteiligung von Bürger*innen, der Kommune und auch allgemein die Stärkung der regionalen Wirtschaftskraft durch Energiewendeprojekte können dazu beitragen, die Einstellung der Bevölkerung hinsichtlich der regionalen Energiewendevorhaben zu verbessern und die Akzeptanz für konkrete Klimaschutzvorhaben in der Region somit zu fördern (vgl. bspw. Hübner et al. 2020a). Beteiligung - prozedural wie auch ökonomisch - muss daher ein wichtiger Baustein der Energiewendeprozesse selbst sein, um sie erfolgreich umzusetzen (Colell et al. 2022; Zuber und Krumm 2020).

Die Städte und Gemeinden in der Lausitz können neben Einnahmen durch Zahlungen nach § 6 EEG 2021, durch die **Verpachtung** von eigenen Flächen sowie durch kommunale Steuereinnahmen auch durch Erträge aus der Eigenkapitalbeteiligung an EE-Projekten profitieren. Wie die Ergebnisse des *Klimaneutral 2045*-Szenario zeigen, sind durch die (Mit-)Eigentümerschaft an EE-Technologien Einnahmen für die Kommunen in Höhe von 45,8 Mio. Euro pro Jahr erzielbar. Dies setzt jedoch voraus, dass die Kommunen in der Lage sind, eigene Vorhaben zur erneuerbaren Energieerzeugung (beispielsweise PV-Anlagen auf eigenen Liegenschaften) oder eine finanzielle Beteiligung an EE-Projekten wie Windparks oder PV-Freiflächenanlagen umzusetzen. Ob dies gelingt, ist von vielen Faktoren abhängig. Ein Hemmnis können beispielweise mangelnde Personalkapazitäten in der Kommunalverwaltung sein. Dies ist grundsätzlich ein Problem, finanzschwache aber auch kleine Städte und Gemeinden sind davon jedoch besonders betroffen (Heinbach et al. 2020). Auch der Mangel an entsprechend qualifiziertem Personal bzw. fehlendem Wissen in der Verwaltung kann eine Hürde sein.

Daneben sind die **haushaltsrechtlichen Regelungen** in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich und die Genehmigungspraxis wird teilweise auch regional unterschiedlich gehandhabt (ebda.). So haben auch finanzschwache Kommunen in Brandenburg größere Spielräume bei der Kreditaufnahme für die Umsetzung von EE-Projekten. In Sachsen gibt es dagegen für verschuldete Kommunen keine Sonderregelung für Investitionen in Klimaschutzmaßnahmen (ebda.). Somit wird eine Verbesserung bei den personellen Kapazitäten der Städte und Gemeinden empfohlen, sowie mehr Beratung und Unterstützung der Kommunen bei der Finanzierung und Umsetzung von EE-Anlagen sowie mehr Gestaltungsspielräume bei der Kreditfinanzierung von Investitionen in erneuerbare Energien auch für finanzschwache Kommunen, insbesondere im sächsischen Teil der Lau-

sitz. Als finanzielle Unterstützung können Kredite und Bürgschaften des Landes für derartige Investitionen dienen, ggf. kann auch der Erwerb bereits errichteter EE-Anlagen gezielt beispielsweise mit Hilfe von Vorkaufsrechten forciert werden.⁹⁸

Neben der direkten Beteiligung der Städte und Gemeinden an EE-Anlagen ist das Engagement **kommunaler Unternehmen** eine gute Möglichkeit, Energiewendeaktivitäten zu finanzieren und umzusetzen. Hier entfällt die Problematik der haushaltsrechtlichen Restriktionen; die Kommunen sind als Anteilseigner an den Unternehmen jedoch zumindest indirekt an den EE-Anlagen beteiligt (Dürr und Snurawa 2014).

Neben der finanziellen Beteiligung der Unternehmen, Kommunen sowie Bürgerinnen und Bürger an der Finanzierung von Energiewendeprojekten ist auch die **Einbindung von in der Lausitz ansässigen Unternehmen an vielen weiteren Wertschöpfungsschritten** wie der Planung, Montage und dem Betrieb der EE-Anlagen sowie der Planung und Umsetzung von energetischen Sanierungsmaßnahmen von hoher Bedeutung für die Höhe der regionalen Wertschöpfung und Beschäftigung. Hier gilt es, den Erhalt und den Ausbau der Kompetenzen bei den Unternehmen zu unterstützen. Grundsätzlich tragen auch die Hersteller von EE-Anlagen und Komponenten oder Dämmstoffen maßgeblich zu den regionalökonomischen Effekten durch die Energiewende bei. Dies hat die Erfassung des Status quo der Energiewendewirtschaft in der Lausitz für ausgewählte EE-Technologien deutlich gezeigt (siehe Abschnitt 3.1). Jedoch hat die Region nur begrenzt Einfluss auf die Standortentscheidungen von national und international agierenden Unternehmen. Kann ein Produktionsstandort in die Region geholt werden, so können damit – wie das Beispiel Tesla in Brandenburg aktuell eindrücklich zeigt - positive Effekte insbesondere auf das Angebot an Arbeitsplätzen verbunden sein, da die Herstellung in der Regel vergleichsweise beschäftigungsintensiv ist. Wie die Schließung des Vestas-Werkes in Lauchhammer (Brandenburg) und die bislang ungewisse Zukunft des Standortes gezeigt haben, ist die Lausitz damit jedoch gleichzeitig auch vulnerabel gegenüber nicht beeinflussbaren Entscheidungen und Entwicklungen des nationalen und insbesondere des internationalen Umfelds.

Die **Einflussmöglichkeiten regionaler politischer Entscheidungsträger** und ein aktives Eintreten für die Lausitz als nachhaltigen energiewirtschaftlichen Standort sind für eine proaktive Gestaltung dennoch von hoher Bedeutung. Erheblich größere Einflussmöglichkeiten auf regionaler Ebene bestehen dagegen bereits bei der Formulierung und Umsetzung ambitionierter Ziele für den Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugung und der energetischen Sanierung. Ein hoher Anlagenbestand und -zubau, wie im Szenario *Klimaneutral 2045* für 2040 unterstellt, schafft auch eine hohe Nachfrage nach Dienstleistungen im Zusammenhang mit der Projektierung, Installation, dem Betrieb und der Wartung der Anlagen. Gleiches gilt für die Aktivitäten im Zusammenhang mit der energetischen Sanierung. Auch hier schafft die Umsetzung eine Nachfrage nach Dienstleistungen in der Energieeffizienz-Branche. Diese kann von regionalen Unternehmen bedient werden, sofern hier die entsprechenden Kapazitäten und Kompetenzen vorhanden sind.

Um die **Förderung der Energie(wende)wirtschaft** in der Region fördern zu können, ist es zunächst wichtig, dass die Akteure auf regionaler und Bundeslandebene einen guten Überblick über die vorhandenen Unternehmen und ihrer Kompetenzen im Bereich der Energiewende haben. So

⁹⁸ Ein derartiges Vorkaufsrecht für in der eigenen Kommune errichtete EE-Anlagen (in Analogie zum Vorkaufsrecht im Immobilienbereich) würde eine vergleichsweise risikoarme Investition mit gesicherten Einnahmen darstellen, die auch von der Haushaltsaufsichtsbehörde leichter genehmigt werden könnte. Die Umsetzung eines solchen Vorkaufsrechts wäre juristisch zu prüfen.

können Lücken identifiziert und der weitere Auf- und Ausbau an Kompetenzen sowie Neuansiedlungen von Unternehmen gezielt gesteuert werden. Die vorliegende Studie gibt hier wertvolle Einblicke entlang der Wertschöpfungsketten ausgewählter EE-Technologiebereiche. Auch sollten Immobilienbesitzenden, Mietenden, Industrie- und Gewerbebetrieben sowie der öffentlichen Hand Informationsmöglichkeiten zur Umsetzung von EE-Projekten und Sanierungsmaßnahmen an die Hand gegeben werden, ebenso wie zu Unternehmen, die Dienstleistungen in diesem Bereich anbieten. Dazu gehören u. a. Beratungsangebote zu bestehenden Fördermöglichkeiten, welche die Betriebswirtschaftlichkeit einzelner Maßnahmen deutlich erhöhen und teilweise auch Themen wie die Sozialverträglichkeit der Maßnahmen adressieren (vgl. bspw. Bergmann et al. 2021).

Um die Nachfrage bedienen zu können, müssen die Unternehmen in der Region befähigt werden, die für die Energiewende erforderlichen Technologien und Dienstleistungen anzubieten. Der **Fachkräftemangel** stellt dabei übergreifend für nahezu alle Klimaschutzbereiche eine zentrale Herausforderung dar. Laut einer Untersuchung zur Fachkräftesituation in Deutschlands Kohleregionen (Jansen und Schirmer 2020), können im Durchschnitt acht von zehn Stellen über alle Berufsgruppen hinweg wegen Fachkräftemangels schwer besetzt werden. Engpässe gibt es laut der Autorin und dem Autor unter anderem in der Mechatronik, der Elektrotechnik und der Bauplanung und -überwachung. Ähnlich sieht die Situation auf dem Ausbildungsmarkt aus, hier hat die Anzahl der unbesetzten Ausbildungsstellen in den letzten Jahren zugenommen. Dies macht es für die Unternehmen schwieriger, dem Fachkräftemangel durch beruflichen Nachwuchs aus der Region entgegenzuwirken. Zu den Empfehlungen gehören die Erhöhung der Attraktivität der Berufe durch Gleichwertigkeit der Abschlüsse, Lohnerhöhungen sowie Intensivierung und Anpassung der Aus- und Weiterbildungsprogramme an die technologischen Anforderungen der Energiewende. In der Region Lausitz können Nachwuchs- und Umschulungsprogramme hilfreich sein, um den vom Strukturwandel betroffenen Beschäftigten eine Perspektive in Zukunftsbranchen zu ermöglichen.

Für die weitere Ansiedlung von Unternehmen, aber auch zur Attraktivitätssteigerung der Region für zuziehende Einwohnende und Beschäftigte braucht es eine **Verbesserung der infrastrukturellen Anbindung**. Diese ist in der Lausitz regional unterschiedlich ausgeprägt. So braucht es in den strukturschwachen Teilen der Lausitz außerhalb des bereits gut erschlossenen Ballungsgebiets Cottbus eine Verbesserung der Verkehrsanbindung sowie der Mobilitätsoptionen. Auch die zuverlässige Versorgung mit schnellem, flächendeckendem Breitbandinternet ist noch nicht ausreichend gewährleistet.

Die Ausführungen machen deutlich, dass einerseits ein Mix an Maßnahmen und Instrumenten erforderlich ist, um die regionalökonomischen Potenziale durch die Energiewende zu heben. Diese sollten an unterschiedlichen Stellen der Wertschöpfungskette ansetzen und unterschiedliche Zielgruppen (Kommunen, Bürgerinnen und Bürger, Unternehmen) adressieren. Bei einigen Maßnahmen kann die regionale Ebene aktiv werden, andere müssen auf Ebene der Bundesländer und des Bundes angestoßen werden. Andererseits erscheint es von großer Bedeutung, den konsequenten Wandel in Richtung einer breit aufgestellten Energiewende(vorzeige)region aktiv und intensiv zu kommunizieren. Hierfür scheinen **ein entsprechendes Leitbild und eine Kampagne für die Region** hilfreich, die nicht nur auf einzelne Aspekte wie beispielsweise „Wasserstoff“ verkürzt wird. Maßgeblicher Bestandteil aller ergriffener Maßnahmen wie auch der Kommunikation sollte dabei die deutliche Erhöhung der Beteiligung von Akteuren aus der Region sein. „Unsere Energie für unsere Region“ muss – viel stärker noch als in Zeiten des überwiegend exportierten Braunkohlestroms – handlungsleitend für regionale Akteure und Aktivitäten werden.

4 Kurzfassung

In Folge des für den Klimaschutz unerlässlichen Kohleausstiegs steht die Lausitz als traditionelle Braunkohleregion vor einer umfassenden Transformation der regionalen Wirtschaft. Die vorliegende Studie untersuchte als Teil des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Verbundvorhabens „DecarbLau“ die endogenen Entwicklungspotenziale der sogenannten „Energiewendewirtschaft“ in der Region, das heißt die Potenziale ausgewählter erneuerbarer Energien und Energieeffizienzmaßnahmen. Als traditionelle Bergbauregion können vorhandene Infrastrukturen, eine differenzierte Energiewirtschaft, vorhandene Forschungs- und Ausbildungseinrichtungen sowie für die Energiewende nutzbare Flächen den **Umbau zur Energiewendewirtschaft** begünstigen. Gleichzeitig geschieht der Ausstieg aus der fossilen Energiewirtschaft in einer strukturschwachen Region mit seit langem im bundesdeutschen Vergleich unterdurchschnittlichen Indikatoren für Wachstum, Beschäftigung und Pro-Kopf-Produktivität. Die übergeordnete Ausgangsthese dieser Studie war dabei, dass die anstehende Transformation für eine Region wie die Lausitz bei richtiger Ausgestaltung der – insbesondere finanziellen – Beteiligung an der Energiewende unter Ausnutzung von Kompetenzen und Kapazitäten **mehr Chancen als Risiken** birgt und der Wandel von einer „fossilen Energieregion“ in eine zukunftsfähige „Energiewenderegion“ auf diese Weise gelingen kann.

Da die Lausitz spezifische Voraussetzungen bezüglich Humankapital, Infrastrukturen und Flächen aufweist, die die Entwicklung zu einer zukunftsfähigen Energieregion beeinflussen, wurden zunächst **geeignete Energiewende-Technologien und Energieeffizienzmaßnahmen** für die Analyse ausgewählt. Kriterien hierbei waren die heutige oder perspektivische technische und ökonomische Relevanz für die Region Lausitz, aber auch die Datenverfügbarkeit und Modellierbarkeit. Eine eingehende Bestandsaufnahme des Status quo im Jahr 2018 erfolgte schließlich für die fünf Energiewendebereiche

- **Onshore-Windenergie**,
- **Photovoltaik** (gebäudeintegriert und auf der freien Fläche),
- **Bioenergie** (Biogas, Biomethan, Holz-Heizkraftwerke, Kleinfeuerungsanlagen),
- **energetische Gebäudesanierung** sowie
- **Wärmepumpen** zur dezentralen Wärmeversorgung in Gebäuden.

Für diese Technologiebereiche erfolgte im nächsten Schritt die Analyse von Entwicklungspotenzialen in der Lausitz. Dabei wurden Entwicklungspotenziale als technisch-ökonomische Potenziale aufgefasst, deren Erschließbarkeit vor dem Hintergrund aktuell bestehender (gesellschafts-)politischer Restriktionen diskutiert wurde.

Diese Vorarbeiten dienen der Entwicklung und Modellierung von jeweils **zwei Szenarien** für alle Technologiebereiche, um unterschiedliche langfristige Entwicklungen zu quantifizieren. Dabei wurde das zentrale Zieljahr der Szenarien auf 2040 festgelegt, da erstens zu Beginn des Vorhabens mit dem politisch vereinbarten Kohleausstieg im Jahr 2038 ein wichtiger Meilenstein vorlag, und zweitens die Vergleichbarkeit zu vielen anderen Szenariostudien, die sich im Regelfall an den Dekaden 2030 und 2040 orientieren, gegeben sein sollte. Das erste **Szenario Current Policies** bildet die Entwicklungen in der Lausitz basierend auf den zum Zeitpunkt der Berichterstellung energiepolitischen Rahmenbedingungen der Bundesländer Sachsen und Brandenburg ab. Dieser politische Rahmen war zum Zeitpunkt der Studiererstellung weder auf Klimaneutralität noch auf ein

Zieljahr 2045 ausgerichtet. Das **Szenario Klimaneutral 2045** stellt ein ambitionierteres Ausbauszenario dar und orientiert sich an bundesweiten Studien, die Szenarien für eine erfolgreiche Transformation zur Klimaneutralität bis 2045 entwickelt haben.

Ergebnisse der Szenarien für die ausgewählten Energiewendetechnologien – und Empfehlungen für die Umsetzung

Die Analyse für die fünf ausgewählten Technologiebereiche ergibt, dass die Flächenregion Lausitz über ein hohes Energiewendepotenzial verfügt. Im Bereich **Onshore-Wind** wird in beiden Szenarien bis 2040 ein starker Zuwachs der installierten Leistung um mehr als 150 Prozent erwartet (siehe Tab. 4-1). Im *Klimaneutral 2045*-Szenario können auf einer Windenergiefläche von 2,2 Prozent der Region etwa 3,6 GW installiert werden, im *Current Policies*-Szenario knapp 3,3 GW auf einer etwas kleineren Fläche von 2,0 Prozent. Die erzeugten Strommengen steigen im *Current Policies*-Szenario dadurch um knapp das Zweieinhalbfache und im *Klimaneutral 2045*-Szenario um knapp das Dreifache gegenüber der heutigen Produktion an, da angenommen wurde, dass bis 2040 deutlich leistungsstärkere Windenergieanlagen (insbesondere im *Klimaneutral 2045*-Szenario) gebaut werden. Die tatsächlichen Flächenbedarfswerte können jedoch nach Größe bzw. Leistung und räumlicher Anordnung der Anlagen auch anders ausfallen. Werden beispielsweise zukünftig aufgrund von Standortanforderungen (z. B. im Rahmen von Repowering oder aus Akzeptanzgründen) doch vermehrt kleinere Anlagen eingesetzt, dann steigt entsprechend der Flächenbedarf. Insbesondere in der sächsischen Region Oberlausitz-Niederschlesien muss der Windenergieausbau in den nächsten Jahren angetrieben werden, da hier bislang mit 0,2 Prozent der Fläche im Vergleich zum brandenburgischen Teil mit über 1,8 Prozent erst ein Bruchteil installiert wurde. Damit die Akzeptanz vor Ort geschaffen, erhalten oder gesteigert werden kann, braucht es eine Ausweitung der finanziellen und prozeduralen Beteiligungsmöglichkeiten sowie eine chancenbetonte Kommunikation mit der lokalen Bevölkerung. Ebenso wichtig ist die Steigerung der Verwaltungskapazitäten, um Planungsprozesse zu beschleunigen, sowie die verstärkte Nutzung der Tagebauflächen.

Photovoltaikanlagen können als größter regionaler Energiewendetreiber in der Lausitz betrachtet werden. Ihr zusätzliches Ausbaupotenzial von 13,3 GW im *Klimaneutral 2045*-Szenario war im Jahr 2018 mit rund 1,7 GW nur zu rund 13 Prozent ausgeschöpft (siehe Tab. 4-1). Da in diesem progressiveren Szenario nicht nur höhere Potenziale bei gebäudegebundenen Anlagen (sowohl auf den Dächern, als auch an Fassaden), sondern auch innovative PV-Anwendungen wie Agri- und Floating PV berücksichtigt wurden, ist das Ausbaupotenzial hier mit 15 GW fast dreimal Mal höher im Vergleich zum *Current Policies*-Szenario (rund 5 GW). Dabei tragen die gebäudebezogenen Anlagen rund 50 Prozent der Leistung bei, rund ein Drittel entfällt auf klassische Freiflächenanlagen, der Rest überwiegend auf die Agri-PV, die eine Mehrfachnutzung der knappen Flächen ermöglicht. Ein beschleunigter Ausbau benötigt bessere Rahmenbedingungen, aber auch verpflichtende Maßnahmen für Anwendungen, die eine wirtschaftliche Nutzung erlauben. Flächenschonende Ansätze müssen honoriert und gemeinschaftliche Energieerzeugung ermöglicht werden. Ebenso müssen die Planung, die Genehmigung, der Anschluss und der Betrieb in Bezug auf den bürokratischen Aufwand deutlich entschlackt werden, sowohl für Planer und Betreiber als auch für Prosumer und Mieterstrommodelle. Wie bei den Windenergieanlagen bieten auch hier die Tagebauflächen für die PV ein besonderes Potenzialgebiet, das hier noch nicht explizit berücksichtigt wurde. Insbesondere für die Umsetzung der hohen Ausbautzahlen des *Klimaneutral 2045*-Szenarios muss zudem eine Fachkräfteoffensive erfolgen, um dem Mangel in der Region zu begegnen.

Im Bereich der **Bioenergie** wird im *Current Policies*-Szenario aufgrund der Flächenkonkurrenz ein deutlicher Rückgang der energetischen Nutzung von Biomasse bis 2040 erwartet, während die

stoffliche Nutzung (der Bereich der Bioökonomie wurde hier nicht explizit betrachtet) wachsen wird. Das *Klimaneutral 2045*-Szenario sieht eine leichte Steigerung der energetischen Nutzung von Biomasse vor, wobei sich hier der Schwerpunkt von der Stromproduktion zum Wärme- und Transportsektor verlagert. Im Vergleich zu PV und Wind sind die Potenziale der Biomasse in der Lausitz bezogen auf den Status quo in 2018 allerdings weitergehend erschöpft. Der Beitrag fällt mit Blick auf die Leistung daher moderat aus, allerdings spielen die Anlagen mit Blick auf die mögliche Bereitstellung von Systemdienstleistungen oder/ und Brennstoffen für die Sektorkopplung eine wichtige Rolle für das Funktionieren des gesamten Energiewendesystems der Zukunft. Voraussetzung für eine moderate Ausweitung der Bioenergieproduktion ist die Priorisierung der kaskadischen Nutzung von Biomasse und der Fokus auf Rest- und Abfallstoffe. Zudem sollte der Biomasseanbau auf mehrfach, hybrid genutzten Flächen erfolgen, die idealerweise auch als THG-Senken dienen (z. B. im Rahmen von Wiedervernässung von Moorflächen) und/oder auf denen erneuerbare Energie beispielsweise mit Agri-PV-Anlagen erzeugt wird.

Zum Erreichen der klimapolitischen Ziele insgesamt sowie speziell im Gebäudesektor ist eine Ausweitung der **energetischen Gebäudesanierung** unabdingbar, denn nur mit signifikanten Energieeinsparungen können die knappen erneuerbaren Energiequellen zu einer vollständigen Transformation beitragen. Im *Current Policies*-Szenario wächst die Sanierungsrate von <1 Prozent in 2018 auf durchschnittlich 1,6 Prozent in 2040 (siehe Tab. 4-1). Mit einem Anteil ambitionierter Sanierungen an den Sanierungsaktivitäten von 33 Prozent kann im Jahr 2040 eine durchschnittliche Heizwärmereduktion von 50 Prozent erreicht werden. Dagegen ist die Sanierungsrate im *Klimaneutral 2045*-Szenario mit über 3,3 Prozent in 2040 deutlich höher. Hier liegt auch der Anteil ambitionierter Sanierungen an den Sanierungsaktivitäten mit 90 Prozent signifikant höher, wodurch eine durchschnittliche Heizwärmereduktion von 60 Prozent erreicht wird. Die höchsten Sanierungsaktivitäten sind im Ein- und Zweifamilienhaussegment zu erwarten. Um die derzeit unzureichenden Sanierungsraten zu erhöhen, ist eine Verstetigung der Fördermittel auf Bundesebene notwendig, welche sowohl für die Eigentümer und Eigentümerinnen der Gebäude als auch für die beteiligten Handwerksunternehmen die Planungssicherheit deutlich erhöht. Eine gestufte Sanierungspflicht ist aktuell über die EU-Ebene in Vorbereitung und kann mittelfristig folglich auch in Deutschland eingeführt werden. Die Förderkulisse sowie die Modernisierungsumlage sind dabei so zu gestalten, dass finanzielle Belastungen für Mieterinnen und Mieter begrenzt werden. Auch im Bereich der Gebäudesanierung ist der Fachkräftebedarf massiv zu adressieren sowie begleitend eine Qualifizierungsoffensive durchzuführen.

Im Kontext der Energieeffizienzmaßnahmen im Gebäudesektor verfügen auch **Wärmepumpen** für Heizung und Warmwasser über große Potenziale in der Lausitz. Während heute erdgekoppelte Wärmepumpen sowohl im Bestand als auch im Zubau dominieren, wird sich dieses Verhältnis analog zur bundesweiten Entwicklung voraussichtlich umkehren, sodass die in der Installation kosteneffizienteren Luft-Wärmepumpen bis 2040 voraussichtlich überwiegen. Im *Current Policies*-Szenario umfassen Luft-Wärmepumpen einen Anteil von etwa 60 Prozent, im *Klimaneutral 2045*-Szenario sogar knapp 80 Prozent der installierten Leistung (siehe Tab. 4-1). Dabei sind aus Effizienzgründen geothermische Anlagensysteme im Regelfall zu bevorzugen und stärker zu fördern, mit zunehmender Verbreitung auch in den verdichteteren Gebieten wird sich jedoch die Anzahl der günstigeren und einfacher zu installierenden Luft-Wärmepumpen voraussichtlich stärker erhöhen. In beiden Szenarien werden im Jahr 2040 überwiegend Anlagen in Leistungsklassen bis 20 kW_{th} installiert, wovon der Großteil der Anlagen in Ein- und Zweifamilienhäusern sowie in kleinen Mehrfamilienhäusern verbaut sein wird. Für den Einsatz in Wohngebäuden mit bis zu 13 Wohneinheiten erweisen sich Erdwärmepumpen, größtenteils in Leistungsklassen über 20 kW_{th}, aufgrund ihrer höheren Effizienz als sinnvoll. Wie im Bereich der Photovoltaik und der energetischen Gebäudesanierung ist es für einen Wärmepumpen-Boom unabdingbar, einerseits Fördermittel zu verstetigen und

andererseits Fachkräfte aus- und weiterzubilden, um eine signifikant höhere Nachfrage mit ausreichend Personal zu bewältigen. Neben den hier betrachteten kleineren, dezentralen Wärmepumpensystemen bietet diese Technologie auch im größeren Maßstab für den Einsatz in Wärmenetzen und in Industrie und Gewerbe große Potenziale, die hier nicht berücksichtigt wurden.

Tab. 4-1: Übersicht ausgewählter Energiewendepotenziale in der Lausitz: Status quo im Jahr 2018 und Szenarioergebnisse für das Betrachtungsjahr 2040

Gerundete Werte. Abweichungen der Summe aus Lausitz-Spreewald (L-S/ BB) und Oberlausitz-Niederschlesien (O-N/ SN) zu Lausitz gesamt (L gesamt) sind rundungsbedingt.

| Schlüsselindikator | Energiewende-Bereich | Region / Gebiet | Status quo | Szenario Current Policies | Szenario Klimaneutral 2045 | |
|-----------------------|--|-----------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Installierte Leistung | Windenergie | L gesamt | 2,1 GW _{el} | 3,3 GW _{el} | 3,6 GW _{el} | |
| | | L-S/ BB | 1,77 GW _{el} | 2,27 GW _{el} | 2,39 GW _{el} | |
| | | O-N/ SN | 0,34 GW _{el} | 1,02 GW _{el} | 1,18 GW _{el} | |
| | Photovoltaik gesamt | L gesamt | 1,7 GW _{el} | 4,9 GW _{el} | 15 GW _{el} | |
| | | L-S/ BB | 1,29 GW _{el} | 2,58 GW _{el} | 8,81 GW _{el} | |
| | | O-N/ SN | 0,45 GW _{el} | 2,29 GW _{el} | 6,24 GW _{el} | |
| | Davon Freiflächen-PV <small>[im Klimaneutral 2045 Szenario inklusive Agri- & Floating-PV]</small> | L gesamt | 1,27 GW _{el} | 3 GW _{el} | 7 GW _{el} | |
| | | L-S/ BB | 1 GW _{el} | 1,8 GW _{el} | 4,75 GW _{el} | |
| | | O-N/ SN | 0,27 GW _{el} | 1,12 GW _{el} | 2,26 GW _{el} | |
| | Bioenergie | L gesamt | L gesamt | 0,14 GW _{el} | 0,05 GW _{el} | 0,13 GW _{el} |
| | | | L-S/ BB | 0,21 GW _{th} | 0,02 GW _{th} | 0,32 GW _{th} |
| | | | L-S/ BB | 0,09 GW _{el} | 0,03 GW _{el} | 0,09 GW _{el} |
| | | | L-S/ BB | 0,10 GW _{th} | 0,01 GW _{th} | 0,15 GW _{th} |
| | | | O-N/ SN | 0,05 GW _{el} | 0,02 GW _{el} | 0,04 GW _{el} |
| | Wärmepumpen | L gesamt | L gesamt | 0,134 GW _{th} | 0,88 GW _{th} | 1,82 GW _{th} |
| | | | L-S/ BB | 0,075 GW _{th} | 0,46 GW _{th} | 0,95 GW _{th} |
| | Davon Luft-WP | L gesamt | O-N/ SN | 0,059 GW _{th} | 0,42 GW _{th} | 0,87 GW _{th} |
| | | | L gesamt | 0,048 GW _{th} | 0,69 GW _{th} | 1,43 GW _{th} |
| L-S/ BB | | | 0,024 GW _{th} | 0,36 GW _{th} | 0,74 GW _{th} | |
| Sanierungsrate | Energetische Gebäudesanierung | O-N/ SN | 0,025 GW _{th} | 0,33 GW _{th} | 0,69 GW _{th} | |
| | | L gesamt | < 1 % | 1,6 % | 3,3 % | |
| | | | | [davon 33 % Passivhausniveau] | [davon 90 % Passivhausniveau] | |

Aufgrund eines vermehrten Einsatzes von Strom in anderen Sektoren rechnen die Landesregierungen in Brandenburg und Sachsen langfristig mit einem **steigenden Stromverbrauch**. So wird davon ausgegangen, dass der Stromverbrauch im Land Brandenburg durch neue Industrie- und Gewerbeansiedlungen um knapp 10 Prozent von 16,6 TWh in 2018 auf 18,2 TWh in 2040 steigen wird. Diese Steigerungsrate würde, übertragen auf die Lausitz, einen regionalen Stromverbrauch von rund 6,3 TWh im Jahr 2040 bedeuten, ausgehend von einem geschätzten Stromverbrauch von 5.760 GWh im Jahr 2018. Bei der genaueren Betrachtung der Stromerzeugungspotenziale von Wind, PV und Bioenergie (siehe Tab. 4-2) wird deutlich, dass die hier ermittelten Stromerzeugungspotenziale der Region Lausitz in beiden Szenarien weit über dem zukünftig prognostizierten Strombedarf liegt. Damit verfügt die Region über erhebliche Kapazitäten etwa für die zusätzliche Produktion von Wasserstoff, für neue industrielle Ansiedlungen, oder für Stromexporte in die anliegenden Ballungszentren Berlin und Dresden. So würde bei einem großzügig geschätzten regionalen Stromverbrauch von 6,5 TWh in 2040 im *Current Policies*-Szenario etwa 55 Prozent des in der Lausitz erzeugten EE-Stroms aus Wind, PV und Biomasse (etwa 14,4 TWh) für Neuansiedlungen bzw. für die Stromversorgung anderer Regionen im Verbundnetz zur Verfügung stehen. Im *Klimaneutral 2045*-Szenario würden in Summe sogar mehr als 75 Prozent der erzeugten EE-Strommen in der Lausitz für neue (überregionale) Anwendungen und zusätzliche Stromexportbedarfe im Verbundnetz zur Verfügung stehen.

Tab. 4-2: Erneuerbare Stromerzeugung mit Windenergie- und Photovoltaikanlagen in der Lausitz in 2018 sowie in 2040 unter verschiedenen Szenariobedingungen

Quelle: Eigene Darstellung.

| | Status quo der EE-Stromerzeugung im Jahr 2018 [in GWh] | EE-Stromerzeugung im Szenario Current Policies im Jahr 2040 [in GWh] | EE-Stromerzeugung im Szenario Klimaneutral 2045 im Jahr 2040 [in GWh] |
|--|---|---|--|
| Wind an Land | 3.804 | 9.286 | 11.105 |
| Photovoltaik | 1.700 | 4.885 | 14.500 |
| Bioenergie (aus Holz-HKW und Biogasanlagen) | 920 | 215 | 559 |
| Kombi Wind, PV und Bioenergie | 6.424 | 14.386 | 26.164 |
| Stromverbrauch (geschätzt) | 5.760 | 6.315 | |

Ergebnisse der Analyse regionalökonomischer Effekte – und Empfehlungen für die Umsetzung

Die regionalökonomischen Effekte, die hier betrachtet werden, entstehen durch unterschiedliche Aktivitätsniveaus beteiligter regionaler Akteure entlang der Wertschöpfungsketten der hier untersuchten Energiewendetechnologien und -Dienstleistungen. Dabei wird für das hier im Vordergrund stehende Jahr 2040 auf den zuvor entwickelten technologiespezifischen Entwicklungsszenarien aufgebaut und diese jeweils mit **unterschiedlichen regionalen Beteiligungsgraden am Wertschöpfungsprozess** versehen. Für das *Current Policies*-Szenario wird ein konservativer Beteiligungsansatz gewählt, der in etwa dem heutigen Beteiligungsniveau entspricht, während für das progressivere Szenario Klimaneutralität 2045 ein ambitionierterer Beteiligungsansatz von der Planung über die Errichtung und die Investition angenommen wird. Damit wird im Ergebnis ein **regionalökonomischer Möglichkeitsraum** aufgespannt, der die **Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale** in der Region durch die hier betrachteten Technologien und Entwicklungen für das Jahr 2040 aufzeigt.

Mögliche Effekte durch die Herstellung von EE-Anlagen und -komponenten oder Dämmstoffen wurden dabei bewusst nicht mit abgebildet, da diese weniger von den Klimaschutz-Aktivitäten in der Region, sondern vielmehr von den Entwicklungen der nationalen und internationalen Märkte abhängig sind und zudem für einzelne Unternehmen über den Zeitraum bis 2040 nur schwer seriös abgeschätzt werden können. Die aktuellen Entwicklungen der Ansiedelung von Tesla in Grünheide auf der einen und der Stilllegung des Vestas-Werks in Lauchhammer auf der anderen Seite sind eindrucksvolle Beispiele. Weitere Effekte durch andere erneuerbare Energien wurden ebenso ausgeblendet wie der Bereich der Energieeffizienz bei Nichtwohngebäuden und der Verkehrssektor. Das Spektrum der Energiewende und die damit einhergehenden Potenziale und Effekte sind somit breiter und größer, als die berechneten und in den vorangehenden Abschnitten dargestellten Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte.

Die Errichtung und der Betrieb von EE-Anlagen sowie die Umsetzung von energetischen Sanierungsmaßnahmen erhöhen nicht per se die Wertschöpfung in der Lausitz in großem Umfang bzw. schaffen oder erhalten dort Arbeitsplätze. Die **regionalökonomischen Effekte** durch den Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugung und die energetische Sanierung werden maßgeblich durch die in der Region ansässigen Unternehmen, ihre Beschäftigten und (im Fall von EE-Anlagen) die regionalen Investorinnen und Investoren generiert. Damit die Lausitz von den Energiewendeaktivitäten auch ökonomisch profitiert, muss bei der Umsetzung von Energiewendevorhaben somit sichergestellt werden, dass entlang der jeweiligen Wertschöpfungsketten in hohem Maße regionale Akteure eingebunden werden, welche die einzelnen Wertschöpfungsbestandteile als **Einkommen** beziehen und somit im regionalen Wirtschaftskreislauf verbleiben und wirksam werden. Dazu zählen beispielweise die Unternehmen, welche die Anlagen planen, errichten und warten, die Betreibergesellschaften und Eigenkapitalgeberinnen und -Geber der EE-Projekte aber auch regionale Banken, die Fremdkapital für die Finanzierung der Anlagen bereitstellen. Nur in diesem Fall verbleibt die Wertschöpfung – und damit der ökonomische Nutzen - in Form von **Gewinnen** der Unternehmen und Gesellschafterinnen und Gesellschafter, Einkommen von Beschäftigten sowie der kommunale Anteil der darauf gezahlten **Steuern** auch in der Region.

Zur Berechnung der möglichen regionalökonomischen Effekte im Jahr 2040 der beiden betrachteten Szenarien wurden **differenzierte Annahmen für die verschiedenen Wertschöpfungsketten und -schritte** getroffen, die grundsätzlich in der Region angesiedelt werden bzw. erfolgen können. Übergreifend kann dazu festgehalten werden, dass die Einbindung regionaler Akteure im Szenario *Klimaneutral 2045* höher angesetzt wurde. Hier wurde angenommen, dass die umfangreicheren

Ausbauaktivitäten in der Lausitz auch für Unternehmen vor Ort mit einer deutlich höheren Auftragslage verbunden sind, sodass bestehende Unternehmen ihre Kapazitäten erweitern und möglicherweise auch ein zusätzlicher Aufbau von Kompetenzen durch die Ansiedlung von Unternehmen in der Region stattfindet. Dies gilt vor allem für Windenergieanlagen, Solarparks und größere PV-Dachanlagen. Für kleine PV-Dachanlagen, Wärmeerzeugungsanlagen im unteren Leistungsbereich und die energetische Sanierung von Wohngebäuden wurde angenommen, dass diese Aktivitäten auch zukünftig maßgeblich vom regionalen Handwerk sowie auch weiteren lokal ansässigen Unternehmen durchgeführt werden können. Bei der Eigenkapitalfinanzierung wurde unterstellt, dass bei zukünftigen Projekten mit entsprechenden Instrumenten sichergestellt wird, dass gegenüber der heutigen Situation mit einem noch sehr geringen Anteil regionalen Eigenkapitals insbesondere bei Windenergieanlagen, Solarparks und größeren PV-Dachanlagen eine höhere finanzielle Beteiligung von lokalen Bürgerinnen und Bürgern, regionalen Unternehmen und Kommunen erreicht wird. Zugleich werden dadurch zum Teil die höheren EE-Ausbauaktivitäten angereizt. Die Ergebnisse für die beiden Szenarien und der Sensitivitätsbetrachtungen zeigen, dass die Differenz bei der ermittelten Wertschöpfung und Beschäftigung nicht nur auf die unterschiedlichen Ausbaupfade bei den EE-Technologien und die Unterschiede bei der Sanierungsrate zurückzuführen sind, sondern auch auf das Ausmaß der ökonomischen Teilhabe der Akteure in der Lausitz.

Weiterhin zeigen die Ergebnisse deutlich: im Vergleich zu den Unterschieden in den installierten Leistungen der Szenarien **übersteigen die Wertschöpfungseffekte im Szenario *Klimaneutral 2045* diejenigen des *Current Policies*-Szenario in noch größerem Ausmaß**. Bei entsprechender Ausgestaltung kann hier insbesondere bei der Photovoltaik ein deutlich höherer regionaler Wertschöpfungsanteil generiert werden, aber auch die Windenergie weist große Potenziale auf, gefolgt von der energetischen Gebäudesanierung. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den Arbeitsplätzen, im Unterschied zur Wertschöpfung steht hier jedoch klar die Beschäftigungswirkung durch die energetische Gebäudesanierung im Vordergrund. In Summe können mit dem zweiten Szenario allein durch die hier betrachteten Technologien rund 450 Mio. Euro an Wertschöpfung im Jahr 2040 generiert werden, die als Steuern, Einkommen oder Gewinnen in der Region verbleiben, gegenüber rund 200 Mio. Euro Wertschöpfung im Szenario *Current Policies*. Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass es sich um die Wertschöpfung des Jahres 2040 und keinen kumulierten Wert handelt, dementsprechend können bei ähnlichen Zubau- und Beteiligungszahlen in den Jahren davor und danach eine ähnliche Größenordnung an stetig wachsender Wertschöpfung erzielt werden. Ein großer Teil entfällt dabei jeweils auf die Gewinne, aber (im Szenario *Klimaneutral 2045*) rund 100 Mio. Euro auf Steuern und die aktuelle finanzielle Leistung von Windenergie- und Photovoltaik-Freiflächenanlagen an Kommunen gemäß § 6 EEG, bei der wir davon ausgehen, dass es einen solchen Mechanismus auch in der Zukunft noch geben wird. Durch eine aktive Ausgestaltung und gezielte Unterstützung kann also eine Vielzahl von Akteuren in der Region wirtschaftlich beteiligt und die regionale Wirtschaftskraft gesteigert werden. Verstetigte und bestenfalls wachsende EE-Ausbaupfade und Gebäudesanierungen sichern dabei Wertschöpfungsanteile, sowohl für Unternehmen, Bürgerinnen und Bürger und die kommunalen Haushalte.

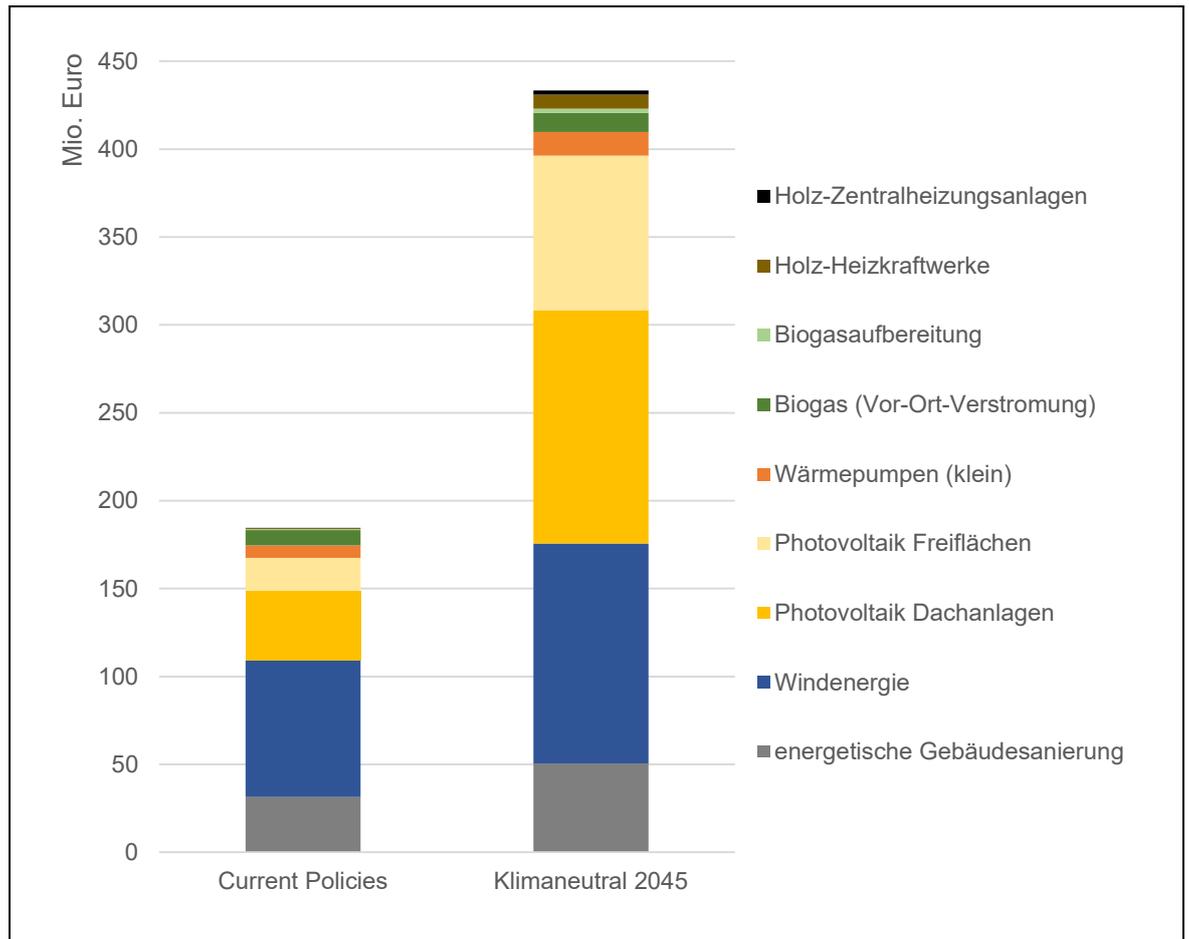


Abb. 4-1: Regionale Wertschöpfung im Jahr 2040 in der Lausitz gemäß der Szenarien *Current Policies* und *Klimaneutral 2045*, nach Energiewendebereichen

Quelle: eigene Darstellung

In der Analyse der Szenarioergebnisse wurde zudem ausgewiesen, welchen **Anteil** die **Kommunen** an der ermittelten Wertschöpfung haben können. Hier kommen neben den Steuern und Einnahmen nach § 6 EEG noch Einnahmen aus Pacht sowie aus Eigenkapitalbeteiligungen hinzu, die hier anteilig angenommen wurden. Damit ließe sich gemäß unserem ambitionierteren Szenario ein kommunaler Anteil von rund 200 Mio. Euro im Jahr 2040 generieren. Um dieses zu realisieren braucht es eine Reihe von Voraussetzungen. Dazu gehört zunächst, dass die bisher freiwillig ausgestalteten **Zahlungen an die Standortkommunen** für Wind- und PV-Anlagen auch sicher geleistet werden, was hier angenommen wurde. In dem Zusammenhang ist eine verpflichtende Regelung von Vorteil, die möglichst auch auf Bestandsanlagen auszuweiten ist. Auch die **finanzielle Beteiligung mit Eigenkapital** an den EE-Projekten vor Ort ist derzeit noch voraussetzungsvoll. Die Nutzung kommunaler Liegenschaften und Flächen ist ein erster wichtiger Ansatz, auch um Eigenverbrauchskonzepte zu realisieren. Aber auch die eigene Errichtung oder der Erwerb von EE-Anlagen sollte verstärkt in den Fokus rücken, weil hierüber die größten Einnahmen generiert werden können. Hierfür brauchen die Kommunen jedoch entsprechende Ressourcen (Kapital, Personal), die ggf. durch kommunale (Energie-)Unternehmen ermöglicht werden können. Insbesondere für finanzschwache Kommunen braucht es besondere Unterstützung und Anpassungen der haushaltsrechtlichen Regelungen, die solche Investitionen ggf. mit Bürgschaften unterstützen, falls es sich um risikoarme Investitionen mit gesicherter Einnahmeperspektive handelt. In einer möglichst

hohen finanziellen Beteiligung ist ein Schlüssel für die Akzeptanz vor Ort zu sehen. Die Perspektive der Machbarkeit mit den entsprechenden Unterstützungsinstrumenten sollte kurzfristig in den Ländern und gemeinsam mit dem Bund entwickelt werden, damit die anstehenden regionalplanerischen Schritte der Flächenausweisung für erneuerbare Energien mit einem positiven Narrativ und einer ökonomischen Perspektive verbunden werden können. Welches Ausmaß das hier skizzierte Wertschöpfungspotenzial umfasst, zeigt beispielsweise ein Vergleich mit den aktuellen Steuereinnahmen: die Einnahmen für die Kommunen aus dem Klimaneutral-Szenario (Steuern und § 6 EEG) entsprechen rund 8 Prozent des aktuellen Steueraufkommens der Lausitzer Kommunen (Landkreise und Stadt Cottbus).

Einen hohen Anteil von ca. 40 Prozent bis über 50 Prozent an der gesamten regionalen Wertschöpfung in den beiden Szenarien nehmen die **Gewinne der Betreibergesellschaften** der EE-Anlagen zzgl. darauf gezahlter Steuern ein. Daher kann eine höhere Wertschöpfung durch die Energiewende in der Region Lausitz erzielt werden, wenn es auch gelingt, neben den Kommunen auch den Anteil der Bürgerinnen und Bürger sowie der (privaten und öffentlichen) Unternehmen aus der Region an der Eigen- oder auch Fremdkapitalfinanzierung von EE-Anlagen zu erhöhen. Dies betrifft die direkte wirtschaftliche Beteiligung an EE-Projekten mittels Eigenkapitalbeteiligung, beispielsweise in Bürgerenergiegesellschaften, die stärker durch entsprechende Rahmenbedingungen des Bundes zu ermöglichen und zu fördern sind. Auf Länderebene ist hier entsprechende Beratung zu etablieren. Alternativ ist das Einbringen von Fremdkapital möglich, direkt über Nachrangdarlehen oder indirekt über verbrieft Sparprodukte zwischengeschalteter Intermediäre, wie bspw. regionaler Genossenschaftsbanken. Auch vergünstigte Stromtarife für betroffene Anwohnerinnen und Anwohner können (indirekt) die regionale Wertschöpfung erhöhen und positiv auf die Akzeptanz einzahlen.

Vor dem Hintergrund der aufgezeigten Ergebnisse und Effekte sollten sich regionale politische Entscheidungsträger zum einen für **ambitionierte Ausbauziele erneuerbarer Energien in der Lausitz** einsetzen, aber ebenso für eine **Stärkung der vielen kleinen und mittelständischen Unternehmen entlang des Energiewendewirtschafts-Clusters**, das es weiter zu entwickeln gilt, sowie für deutlich **verbesserte Rahmenbedingungen zur finanziellen Beteiligung von regionalen Akteuren** auf Landes- und Bundesebene. Hierfür sind vielfältige Beratungsstrukturen erforderlich, die von den beteiligten Ländern gemeinsam mit Akteuren der Wirtschaft längerfristig etabliert und finanziert werden müssen. Eine ebenso unabdingbare, kurzfristig zu beginnende Maßnahme betrifft die **Adressierung des Fachkräftemangels**, der in nahezu allen Klimaschutzbereichen derzeit eines der gravierendsten Hemmnisse darstellt - insbesondere mit Blick auf die erforderliche schnelle Ausbaudynamik. Zu den Empfehlungen gehören die Erhöhung der Attraktivität der Berufe durch Gleichwertigkeit der Abschlüsse, Lohnerhöhungen sowie Intensivierung und Anpassung der Aus- und Weiterbildungsprogramme an die technologischen Anforderungen der Energiewende. In der Region Lausitz können Nachwuchs- und Umschulungsprogramme hilfreich sein, um den vom Strukturwandel betroffenen Beschäftigten eine Perspektive in Zukunftsbranchen zu ermöglichen. Generell braucht es für die weitere Ansiedlung von Unternehmen und Fachkräften eine **Verbesserung der infrastrukturellen Anbindung**, die eine umweltverträgliche Mobilität (vor allem: Umweltverbund und Ladeinfrastruktur) und gute digitale Anbindung ermöglicht. Empfohlen wird zudem eine **Kommunikationsstrategie**, die einerseits notwendige Zusammenhänge verdeutlicht, aber andererseits auch den Nutzen für die Region einschließt. Hier können Slogans wie „Wirtschaft braucht Windenergie“, „Wasserstoff braucht Windenergie“, „Unsere Energie für unsere Region“, „Energierregion bleiben - Energiewenderegion werden“ o. ä. als Grundlage für eine Debatte über ein neues regionales Leitbild der zukünftigen Energiewenderegion Lausitz dienen.

Abschließend sei erneut darauf hingewiesen, dass wir in der Studie nur einen - wenn gleich hoch relevanten - **Ausschnitt der Wertschöpfungspotenziale der Energiewendewirtschaft** beleuchtet haben, da zum einen die **Wertschöpfungsstufe der Hersteller** und zum anderen viele **weitere Technologien** ausgeblendet wurden - von etablierten wie Solarthermie bis innovativen zukünftigen Massentechnologien der Wasserstoffwirtschaft oder der Batterien. Nicht explizit betrachtet und modelliert wurden zudem die spezifischen **erneuerbare Energien-Potenziale auf den Tagebauflächen**. Diese gilt es jedoch gezielt zu erschließen und hierfür die entsprechenden planerischen und bergrechtlichen Voraussetzungen zu schaffen. Die verantwortlichen Akteure in Bund, Land und Region sollten schnellstmöglich eine Strategie, besser noch eine umsetzungsorientierte Roadmap zur gezielten Nutzung der Tagebauflächen unter Berücksichtigung der anderen, bereits bestehenden Nutzungsansprüche und Belange erarbeiten. Zudem können die **Ergebnisse**, die hier für das Jahr 2040 berechnet wurden, **auch bereits früher eintreten bzw. realisiert werden** – wenn die entsprechenden Empfehlungen, die hier vorgeschlagen wurden, ebenfalls früher umgesetzt werden. Der aktuell politisch von der aktuellen Bundesregierung im Koalitionsvertrag intendierte frühere Ausstieg aus der Kohleverstromung („idealerweise 2030“) kann nur dann erfolgen, wenn die entsprechenden erneuerbaren Energien und Reservekapazitäten bis dahin errichtet werden. Dies ist nach unserer Einschätzung aus technischer Sicht vorstellbar – erfolgreich kann es jedoch nur umgesetzt werden, wenn die entsprechenden Voraussetzungen geschaffen und insbesondere die finanzielle Beteiligung ermöglicht wird.

Die Ergebnisse dieser Studie belegen in der Tendenz damit die eingangs aufgestellte These, dass der Wandel zur Energiewenderegion bei entsprechender Ausgestaltung für die finanzielle Beteiligung mehr Chancen als Risiken für die Region zu bieten hat. Dieses Fazit gilt auch vor dem Hintergrund des kurz nach dem Ende des Projekts einsetzenden Einmarsches der russischen Armee in die Ukraine. Nach gegenwärtiger Einschätzung sind die Ergebnisse des Berichts in ihren grundsätzlichen Aussagen trotz der aktuell dramatischen Entwicklungen in Bezug auf die Knappheiten und Preisanstiege insbesondere bei den fossilen Energien, aber auch anderen Produkten und Rohstoffen (in Verbindung mit globalen Lieferkettenproblemen durch die Corona-Pandemie) als robust einzuschätzen. Der Krieg offenbart grundsätzlich die Notwendigkeit, noch schneller und konsequenter aus den fossilen Energieträgern auszusteigen und in Richtung Klimaneutralität umzusteuern, auch wenn dafür kurz- bis ggf. mittelfristig der aktuell kritische Energieträger Erdgas durch Kohle und ggf. auch Biomasse ersetzt werden und es eine Reihe sozialer Ausgleichsmaßnahmen geben muss.

5 Literaturverzeichnis

- Adam, L., G. Barthelmes, A. Biertümpfel, C. von Buttlar, L. Böhm, M. Conrad, G. Ebel, B. Formowitz, H. Hanff, C. Hermann, et al. (2012): Energiepflanzen für Biogasanlagen Brandenburg. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). https://www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2021/Mediathek/fnr_energiepflanzen-brandenburg_web.pdf (Zugriff: 25. Juli 2022).
- AEE [Agentur für Erneuerbare Energien] (2013a): Potenzialatlas. Bioenergie in den Bundesländern. Teilkapitel Sachsen. Agentur für Erneuerbare Energien. https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/249.AEE_Potenzialatlas_Bioenergie_Sachsen_jan13.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- AEE [Agentur für Erneuerbare Energien] (2013b): Potenzialatlas. Bioenergie in den Bundesländern. Teilkapitel Brandenburg. Potenzialatlas. Agentur für Erneuerbare Energien. https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/237.AEE_Potenzialatlas_Bioenergie_Brandenburg_jan13.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- AEE [Agentur für Erneuerbare Energien] (2014): Holzenergie in Deutschland. Status quo und Potenziale. Agentur für Erneuerbare Energien e.V. https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/317.Renews_Spezial_Holzenergie_Japan_DE_Mar14.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- AEE [Agentur für Erneuerbare-Energien] (2021a): Installierte Leistung Photovoltaik pro 1000 Einwohner. *Föederal Erneuerbar*. Website: https://www.foederal-erneuerbar.de/landesinfo/kategorie/solar/auswahl/183-installierte_leistun/#goto_183 (Zugriff: 21. Juli 2022).
- AEE [Agentur für Erneuerbare Energien] (2021b): Landesinfo Bioenergie. Website: <https://www.foederal-erneuerbar.de/landesinfo/kategorie/bioenergie/bundesland/D> (Zugriff: 21. Juli 2022).
- AEE [Agentur für Erneuerbare Energien] (2022): Machbarkeitsstudie: Power-to-Gas mit Biogas ist aussichtsreiche Perspektive. 14. Februar. Website: <https://www.unendlich-viel-energie.de/presse/branchenmeldungen/machbarkeitsstudie-power-to-gas-mit-biogas-ist-aussichtsreiche-perspektive> (Zugriff: 15. Februar 2022).
- AGEE-Stat [Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik] (2021): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2020.pdf;jsessionid=F36AFA6E6B344D18BA57CBEA9384EC98?__blob=publicationFile&v=31 (Zugriff: 25. November 2021).
- Aichinger, Wolfgang, Rainer Baake, Matthias Buck, Benjamin Fischer, Andreas Graf, Patrick Graichen, Michaela Holl, Günter Hörmandinger, Mara M. Kleiner, Philipp Kosok, et al. (2021): Das Klimaschutz-Sofortprogramm - 22 Eckpunkte für die ersten 100 Tage der neuen Bundesregierung. Impulspapier. Berlin: Agora Energiewende, Agora Verkehrswende, Stiftung Klimaneutralität. https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_06_DE_100Tage_LP20/A-EW_229_Klimaschutz-Sofortprogramm_WEB.pdf (Zugriff: 3. Januar 2022).
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2018): Statistisches Jahrbuch 2018. https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/produkte/Jahrbuch/jb2018/JB_2018_BB.pdf.
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2019a): Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte im Land Berlin und im Land Brandenburg zum 30. Juni 2018. https://download.statistik-berlin-brandenburg.de/3ec53df781c7b8c0/5a31b48da38f/SB_A06-20-00_2018j01_BB.xlsx.
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg [Sozial] (2019b): Ernteberichterstattung über Feldfrüchte und Grünland im Land Brandenburg 2018 C II 2 – j / 18. Potsdam: statistik Berlin Brandenburg. https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/stat_berichte/2019/SB_C02-02-00_2018j01_BB.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2019c): Statistische Jahrbücher (2011-2019). https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/produkte/produkte_jahrbuch.asp.
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2019d): Statistischer Bericht F I 2 – 4j / 18. Ergebnisse des Mikrozensus im Land Brandenburg 2018. Wohnsituation. https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Statistiken/statistik_SB.asp?Ptyp=700&Sageb=12011&creg=BBB&anzwer=5 (Zugriff: 31. Juli 2020).
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2020): Gebiet und Bevölkerung, Tabelle 01.02 und Statistischer Bericht, Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung im Land Brandenburg 2019. statistik Berlin Brandenburg. Potsdam.

- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2021): Handwerkszählung im Land Brandenburg 2019. Potsdam: statistik Berlin Brandenburg. https://download.statistik-berlin-brandenburg.de/925d1293221f3404/d8d1290d75f7/SB_E05-01-00_2019j01_BB.pdf (Zugriff: 25. Januar 2022).
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2022a): Brandenburg Bevölkerungsstand Lange Reihe. *statistik Berlin Brandenburg*. Website: <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/bevoelkerung/demografie/bevoelkerungsstand> (Zugriff: 19. Oktober 2021).
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2022b): Neubaumonitor - Statistik der Baufertigstellungen. *Neubaumonitor*. 13. Januar. Website: <https://gis-hsl.hessen.de/portal/apps/webappviewer/index.html?id=15d703c52c2549b480bedef72c05e1b4> (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Baupreislexikon (2020): Baupreislexikon. *Baupreislexikon*. 20. Juni. Website: <https://www.baupreislexikon.de/Member/Constructions/contStructure.aspx?groupid=809&catalogId=DBD-KE2&groupType=B> (Zugriff: 20. Juni 2020).
- BDBe [Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft] (2021): Bioethanolproduktion in Deutschland seit 2005. *BDBe - Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft*. Website: <https://www.bdbe.de/biokraftstoff-bioethanol/zellulose-ethanol> (Zugriff: 24. April 2021).
- BDEW [Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.] (2020): Auf zu neuen Ufern. *bdew.de*. 4. März. Website: <https://www.bdew.de/verband/magazin-2050/was-kommt-nach-dem-braunkohletagebau-auf-zu-neuen-ufern/> (Zugriff: 10. Januar 2021).
- BDEW [Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.] (2021a): Die Energiewende braucht einen PV-Boom - Die Photovoltaik-Strategie des BDEW. Positionspapier. Berlin. https://www.bdew.de/media/documents/1000_Die_Energiewende_braucht_einen_PV-Boom.pdf (Zugriff: 11. November 2021).
- BDEW [Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.] (2021b): BDEW zu den Ausschreibungsergebnissen Windenergie an Land. *bdew.de*. 4. Oktober. Website: <https://www.bdew.de/presse/presseinformationen/bdew-zu-den-ausschreibungsergebnissen-windenergie-land/> (Zugriff: 1. Februar 2022).
- BDEW [Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.] (2021c): Höherer Strombedarf macht Beschleunigung des Erneuerbaren-Ausbaus notwendig. *bdew.de*. 16. November. Website: <https://www.bdew.de/presse/presseinformationen/hoeherer-strombedarf-macht-beschleunigung-des-erneuerbaren-ausbaus-notwendig/> (Zugriff: 6. Dezember 2021).
- Bentsen, Niclas Scott, Daniel Nilsson und Søren Larsen (2018): Agricultural residues for energy - A case study on the influence of resource availability, economy and policy on the use of straw for energy in Denmark and Sweden. *Biomass and Bioenergy*, Nr. 108 (2018): 278–288.
- Bergmann, Janis, Steven Salecki, Julika Weiß und Elisa Dunkelberg (2021): Energetische Sanierungen in Berlin. Wie sich Kosten und Nutzen ambitionierter Klimaschutzmaßnahmen zwischen Mieter*innen und Vermieter*innen verteilen. Berlin: IÖW – Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Forschungsverbund Ecornet Berlin. https://ecornet.berlin/sites/default/files/2021-10/EcornetBerlin_Report9_Energetische%20Sanierungen%20in%20Berlin.pdf (Zugriff: 8. November 2021).
- Bernath, Christiane, Tobias Bossmann, Gerda Deac, Rainer Elsland, Tobais Fleiter, André Kühn, Benjamin Pfluger, Mario Ragwitz, Matthias Rehfeldt, Frank Sensfuß, et al. (2017): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/B/berichtsmodul-3-referenzszenario-und-basiszenario.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (Zugriff: 12. Oktober 2021).
- Bett, Andreas W., Berit Erlach, Sebastian Gölz, Magdalena Gutnik, Anja Hentschel, Bernd Hirschl, Gundula Hübner, Volker Kienzlen, Ellen Matthies, Florian J. Y. Müller, et al. (2021): Vorschläge für einen klimagerechten Ausbau der Photovoltaik und Windenergie - Impuls des Akademienprojekts „Energiesysteme der Zukunft“. Akademienprojekt „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS). https://energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/PDFs/Impuls_Photovoltaik_Windenergie.pdf (Zugriff: 15. Januar 2022).
- Bioökonomierat (2015): Bioenergiepolitik in Deutschland und gesellschaftliche Herausforderungen. BÖRMEMO 04 | 1.11.2015. <https://www.biooekonomierat.de/media/pdf/archiv/boermemo-bioenergie-04.pdf?m=1637834177&> (Zugriff: 18. Januar 2022).
- Biowerk Sohland (2020): Biowerk Sohland. *Biodiesel*. Website: <https://biowerk-sohland.de/unser-angebot/> (Zugriff: 23. April 2021).
- BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung] (2021): Nationale Bioökonomiestrategie: Mit der Nationalen Bioökonomiestrategie legt die Bundesregierung die Leitlinien und Ziele ihrer Bioökonomie-Politik fest und benennt Maßnahmen für deren Umsetzung. *bioökonomie.de*. Website: <https://biooekonomie.de/themen/politikstrategie-deutschland> (Zugriff: 21. Oktober 2021).
- BMJ [Bundesministerium der Justiz] (2022): Bundesanzeiger. Website: <https://www.bundesanzeiger.de> (Zugriff: 2. Februar 2022).

- BMWi [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie] (2016): „Efficiency first“ – Energieeffizienz als zentrale Säule der Energiewende. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/H/hintergrundpapier-energieeffizienz.pdf?__blob=publicationFile&v=6.
- BMWi [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie] (2021): Bundesbericht Energieforschung 2021- Forschungsförderung für die Energiewende. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/bundesbericht-energieforschung-2021.pdf?__blob=publicationFile&v=6.
- BMWK [Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz] (2022): EEG: Erfahrungsberichte und Studien. *Informationsportal Erneuerbare Energien*. Website: https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Recht-Politik/Das_EEG/EEG-Erfahrungsberichte-und-Studien/eeg-erfahrungsberichte-und-studien.html (Zugriff: 21. Juli 2022).
- BMWK, BMUV und BMEL [Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz; Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2022): Ausbau der Photovoltaik auf Freiflächen im Einklang mit landwirtschaftlicher Nutzung und Naturschutz. Eckpunktepapier. Berlin. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/eckpunktepapier-ausbau-photovoltaik-freiflaechenanlagen.pdf?__blob=publicationFile&v=12 (Zugriff: 11. Februar 2022).
- bne [Bundesverband Neue Energiewirtschaft] (2021): 35 Maßnahmen für PPA und Photovoltaik - Vorschläge zur Beschleunigung des Ausbaus förderfreier und geförderter Solaranlagen und zur Stärkung des PPA-Segments. Positionspapier. Berlin. https://www.bne-online.de/fileadmin/bne/Dokumente/Positionspapiere/2021/21-10_bne-Positionspapier_35_Punkte_PPA_und_PhotoVoltaik.pdf (Zugriff: 15. November 2021).
- Böhlmann-Balan, Antje und Lena Dziemballa (2021): Kleine Änderung – große Wirkung? Akzeptanzsteigerung durch Reform des § 29 GewStG. *prometheus Rechtsanwalts-gesellschaft mbH*. Website: <https://www.prometheus-recht.de/akzeptanzsteigerung-durch-reform-des-%C2%A7-29-gewstg/> (Zugriff: 8. Februar 2022).
- Bons, Marian, Michael Döring, Corinna Klessmann, Jonas Knapp, Silvana Tiedemann, Carsten Pape, Daniel Horst, Klara Reder und Mirjam Stappel (2019): Analyse der kurz- und mittelfristigen Verfügbarkeit von Flächen für die Windenergienutzung an Land. Abschlussbericht. Climate Change. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Born, Holger, Stefan Schimpf-Willenbrink, Helen Lange, Gregor Bussmann und Rolf Bracke (2017): Analyse des deutschen Wärmepumpenmarktes - Bestandsaufnahme und Trends. Studie. Bochum: Internationales Geothermiezentrum. <http://docplayer.org/78079340-Analyse-des-deutschen-waermepumpenmarktes.html> (Zugriff: 4. Juni 2021).
- Brand, Urte, Bernd Giese, Arnim von Gleich, Katharina Heinbach, Ulrich Petschow, Christian Schnülle, Sönke Stührmann, Torben Stührmann, Pablo Thier, Jakob Wachsmuth, et al. (2017): Resystra - auf dem Weg zu Resilienten Energiesystemen! Resiliente Gestaltung der Energiesysteme am Beispiel der Transformationsoptionen „EE-Methan-System“ und „Regionale Selbstversorgung“. Schlussbericht des vom BMBF geförderten Projektes RESYSTRÄ (FKZ:01UN1219A-B). Bremen, Berlin. <http://www.resystra.de/files/publikationen/resystra-schlussbericht.master.pdf> (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Brandes, Julian, Markus Haun, Charlotte Senkpiel, Christoph Kost, Andreas Bett und Hans-Martin Henning (2020): Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem. Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen – Update für ein CO₂-Reduktionsziel von 65% in 2030 und 100% in 2050. Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/wege-zu-einem-klimaneutralen-energiesystem.html> (Zugriff: 21. Oktober 2021).
- Brosowski, André, Philipp Adler, Georgie Erdmann, Walter Stinner, Daniela Thrän, Udo Mantau, Christian Blanke, Bernd Mahro, Thomas Hering und Gerd Reinhold (2015): Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen Status quo in Deutschland. *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.* 36. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe. <https://mediathek.fnr.de/broschuren/bioenergie/band-36-biomassepotenziale-von-rest-und-abfallstoffen-status-quo-in-deutschland.html> (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Brosowski, André, Daniela Thrän, Udo Mantau, Mahro Mahro, Georgia Erdmann, Philipp Adler, Walter Stinner, Gerd Reinhold, Thomas Hering und Christian Blanke (2016): A review of biomass potential and current utilisation e Status quo for 93 biogenic wastes and residues in Germany. *Biomass and Bioenergy*, Nr. 95 (2016): 257–272.
- Bründlinger, Thomas, Julian Elizalde-König, Oliver Frank, Dietmar Gründig, Christoph Jugel, Patrizia Kraft, Oliver Krieger, Stefan Mischinger, Dr. Philipp Prein, Hannes Seidl, et al. (2018): dena-Leitstudie Integrierte Energiewende, Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf (Zugriff: 20. Mai 2021).
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2021): Allgemeines Merkblatt zur Antragstellung - Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen. https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/beg_merkblatt_allgemein_antragstellung.pdf?__blob=publicationFile&v=8 (Zugriff: 29. Juni 2021).

- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2016): Nationale Politikstrategie Bioökonomie. Fortschrittsbericht. Berlin. <https://biooekonomie.de/sites/default/files/files/2016-09/npsb.pdf> (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Bundesregierung (2021): § 4 EEG 2021 Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2021) Bundesrecht. https://www.lexsoft.de/cgi-bin/lexsoft/justizportal_nrw.cgi?xid=7103256,5.
- Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (2022): Solarwirtschaft warnt vor Solarturbo-Fehlzündung. *Bundesverband Solarwirtschaft e.V.* Website: <https://www.solarwirtschaft.de/2022/03/07/solarwirtschaft-warnt-vor-solarturbo-fehlzuendung/> (Zugriff: 15. März 2022).
- Burchardt, Jens, Katharina Franke, Patrick Herhold, Maria Hohaus, Henri Humpert, Joonas Päiväranta, Elisabeth Richenhagen, Daniel Ritter, Stefan Schönberger, Jonas Schröder, et al. (2021): Klimapfade 2.0 - Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft. Im Auftrag des BDI. <https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-2-0-ein-wirtschaftsprogramm-fuer-klima-und-zukunft/> (Zugriff: 20. November 2021).
- Burdack, Joachim, Michael Kriszan und Robert Nadler (2016): Networks of regional learning in rural Eastern Saxony. In: *Regional Resilience, Economy and Society: Globalising Rural Places*, hg. v. Christine Tamásy und Javier Revilla Diez, S. 18. 1. London: Routledge.
- Burg, V, Bowman, G., Erni, M., Lemm, R., und Thees, O. (2018): Analysing the potential of domestic biomass resources for the energy transition in Switzerland. *Biomass and Bioenergy*, Nr. 111(2018): 60–69.
- BWE [Bundesverband WindEnergie] (2021a): Windenergie in Deutschland - Zahlen und Fakten. *BWE - Bundesverband WindEnergie*. Website: <https://www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten/deutschland/> (Zugriff: 15. Oktober 2021).
- BWE [Bundesverband WindEnergie] (2021b): Die Bundesländer in Zahlen. *BWE - Bundesverband WindEnergie*. Website: <https://www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten/bundeslaender/> (Zugriff: 15. Oktober 2021).
- BWE [Bundesverband WindEnergie] (2021c): Kürzung der Ausschreibungsvolumen konterkariert Zielerreichung. *BWE - Bundesverband WindEnergie*. 16. April. Website: <https://www.wind-energie.de/presse/pressemitteilungen/detail/kuerzung-der-ausschreibungsvolumen-konterkariert-zielerreichung/> (Zugriff: 15. Oktober 2021).
- BWE [Bundesverband WindEnergie] (2022): Ausbauzahlen für das Gesamtjahr 2021 in Deutschland Windenergie an Land: Maßnahmen für beschleunigten Ausbau wirksam umsetzen. *BWE - Bundesverband WindEnergie*. 20. Januar. Website: <https://www.wind-energie.de/presse/pressemitteilungen/detail/ausbauzahlen-fuer-das-gesamtjahr-2021-in-deutschland-windenergie-an-land-massnahmen-fuer-beschleunigte/> (Zugriff: 1. Februar 2022).
- BWE BB und VKU BB [Bundesverband WindEnergie e. V. Landesverband Berlin-Brandenburg, Verband Kommunaler Unternehmen e. V. Landesgruppe Berlin-Brandenburg] (2021): Gemeinsames VKU-BWE-Positionspapier zur Stärkung des Windkraftausbaus. Positionspapier. https://windkraft-brandenburg.de/wp-content/uploads/2021/03/210322_VKU_BWE_Positionspapier_Windkraft_final.pdf (Zugriff: 14. Oktober 2021).
- BWP, Hrsg. [Bundesverband Wärmepumpen e. V.] (2018): Wärmepumpen in Deutschland - Bestand 2018. https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/Mediengalerie/Zahlen_und_Daten/Absatzzahlen_Marktanteile/619_WPinDeutschland_2018.PNG.
- BWP [Bundesverband Wärmepumpen e. V.] (2019): Absatzzahlen für Warmwasserwärmepumpen in Deutschland 2013 bis 2019. Website: https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/waermepumpe/05_Presse/Grafiken/Diagramm_Absatzzahlen-WWP_2013-2019.jpg (Zugriff: 21. Juli 2021).
- BWP [Bundesverband Wärmepumpen e. V.] (2020a): E-Mail-Anfrage zu Wärmepumpenbestand - Daten auf Landes-/Landkreisebene. 12. Mai.
- BWP [Bundesverband Wärmepumpen e. V.] (2020b): Branchenstudie 2021: Marktanalyse - Szenarien - Handlungsempfehlungen. Studie. Bundesverband Wärmepumpe e.V. https://www.waermepumpe.de/uploads/tx_bcpagflip/BWP_Branchenstudie2021_Update.pdf (Zugriff: 4. Juni 2021).
- BWP [Bundesverband Wärmepumpen e. V.] (2021a): Positives Signal für den Klimaschutz: 40 Prozent Wachstum bei Wärmepumpen. *bwp - Bundesverband Wärmepumpen e.V.* 19. Januar. Website: <https://www.waermepumpe.de/presse/pressemitteilungen/details/positives-signal-fuer-den-klimaschutz-40-prozent-wachstum-bei-waermepumpen/#content> (Zugriff: 4. Juni 2021).
- BWP [Bundesverband Wärmepumpen e. V.] (2021b): E-Mail-Anfrage zu Studienwerten aus Branchenstudie 2021. 10. September.
- Cischinsky, Holger und Nikolaus Diefenbach (2018): Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016. Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand. Darmstadt: Institut für Wohnen und Umwelt.

- Colell, Arwen, Michèle Knodt, Patricia Stoll, Jörg Kemmerzell, Sybille Reitz, Lauren Goshen und Dörte Ohlhorst (2022): Hintergrund: Konflikte und Akteure – Gesellschaftliche Herausforderungen bei der Umsetzung der Stromwende. Ariadne-Hintergrund. Potsdam: Kopernikus-Projekt Ariadne, PIK. <https://ariadneprojekt.de/publikation/hintergrund-konflikte-und-akteure/#4-ergebnis-und-empfehlungen> (Zugriff: 11. März 2022).
- Daniel-Gromke, J., Rensberg, N., Denysenko, V., Trommler, M., Reinholz, T., Völler, K., Beil, M., und Beyrich, W. (2017): Anlagenbestand Biogas und Biomethan – Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland. Broschüre. Schriftenreihe, Biogas, Biomethan, Anlagenbestand, Monitoring. DBFZ. <https://www.dbfz.de/pressemediathek/publikationsreihen-des-dbfz/dbfz-reports/dbfz-report-nr-30/>.
- Deilmann, Clemens, Martin Behnisch, Stefan Dirlich, Karin Gruhler, Ulrike Hagemann, Ralph Petereit, Christian Kunz und Katrin Petereit (2013): Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude – Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO₂-Minderungspotenzialen. Hg. v. Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS). https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/ministerien/BMVBS/Online/2013/DL_ON272013.pdf?__blob=publicationFile&v=4.
- dena [Deutsche Energie-Agentur GmbH] (2021): dena Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität - Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Abschlussbericht. Berlin. <https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/abschlussbericht-dena-leitstudie-aufbruch-klimaneutralitaet/> (Zugriff: 21. Oktober 2021).
- Deutsche WindGuard GmbH (2020a): Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland - Jahr 2020. Varel. https://www.windguard.de/jahr-2020.html?file=files/cto_layout/img/unternehmen/windenergiestatistik/2020/Status%20des%20Windenergieausbaus%20an%20Land%20-%20Jahr%202020.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Deutsche WindGuard GmbH (2020b): Status des Offshore-Windenergieausbaus in Deutschland - Jahr 2020. Varel. https://www.windguard.de/jahr-2020.html?file=files/cto_layout/img/unternehmen/windenergiestatistik/2020/Status%20des%20Offshore-Windenergieausbaus%20-%20Jahr%202020.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Deutsche WindGuard GmbH (2020c): Volllaststunden von Windenergieanlagen an Land - Entwicklung, Einflüsse, Auswirkungen. Varel. https://www.windguard.de/files/cto_layout/img/unternehmen/veroeffentlichungen/2020/Volllaststunden%20von%20Windenergieanlagen%20an%20Land%202020.pdf (Zugriff: 21. Oktober 2021).
- Deutsche WindGuard GmbH (2021a): Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland - Halbjahr 2021. Varel. https://www.windguard.de/id-1-halbjahr-2021.html?file=files/cto_layout/img/unternehmen/windenergiestatistik/2021/Halbjahr/Status%20des%20Windenergieausbaus%20an%20Land%20-%20Halbjahr%202021.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Deutsche WindGuard GmbH (2021b): Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland - Jahr 2021. Varel. https://www.windenergie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/06-zahlen-und-fakten/Factsheet_Status_Windenergieausbau_an_Land_2021.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Deutscher Bundestag (2020): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Julia Verlinden, Oliver Krischer, Dr. Ingrid Nestle, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN - Drucksache 19/20289 - Umgesetzte Maßnahmen für mehr Windkraft. Berlin: Deutscher Bundestag, 19. Wahlperiode.
- Deutscher Verband für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung e.V. (2021): Energetische Sanierungen in strukturschwachen Regionen - Sanierungskontexte und -hemmnisse vermietender Akteur:innen. https://www.deutscher-verband.org/fileadmin/user_upload/documents/Veranstaltungen/3_plus/Kurzstudie_Sanierungshemmnisse_Aug2021.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- dpa [Deutsche Presse Agentur] (2022): Kabinett beschließt Mindestabstand von 1.000 Metern zu Windrädern. *MDR Sachsen* (18. Januar). <https://www.mdr.de/nachrichten/sachsen/bauordnung-windkraft-energie-mindestabstand-100.html>.
- Dunkelberg, Elisa und Julika Weiß (2015): Energetischer Zustand von Wohngebäuden in zwei Regionen mit unterschiedlicher Wachstumsdynamik. https://www.gebaeude-energiewende.de/data/gebEner/user_upload/Dateien/GEW_Arbeitspapier_3_Wohngeb%C3%A4udebestand.pdf.
- Dürr, Sebastian und Ralf Snurawa (2014): *Bürgerfinanzierungsmodelle für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz*. Gräfenhainichen.
- Eckermann, Frauke (2016): Beschäftigung im Umweltschutz Entwicklung und gesamtwirtschaftliche Bedeutung Aktualisierte Ausgabe 2016. Umwelt, Innovation, Beschäftigung. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/beschaeftigung_im_umweltschutz_entwicklung_und_gesamtwirtschaftliche_bedeutung_aktualisierte_ausgabe_2016_0.pdf (Zugriff: 25. November 2021).

- eclareon GmbH (2022): Wärmepumpenatlas. Website: <https://www.xn--wrmepumpenatlas-0kb.de/index.php?id=1> (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Eggers, Jan-Bleicke, Martin Behnisch, Johannes Eisenlohr, Hanna Poglitsch, Windy-Fook Phung, Markus Münzinger, Claudio Ferrara und Tilmann E. Kuhn (2020): PV-Ausbauerfordernisse versus Gebäudepotenzial: Ergebnis einer gebäudescharfen Analyse für ganz Deutschland. Tagungsunterlagen 35. PV-Symposium. Pforzheim: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE und Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung. <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/conference-paper/PV-Potenzial-gebaeudescharf.pdf> (Zugriff: 1. November 2021).
- Ehrlich, Heike (1998): Angebotspotential der Erdwärme sowie rechtliche und wirtschaftliche Aspekte der Nutzung hydrothermaler Ressourcen. GeoForschungsZentrum Potsdam.
- EnBW [Energie Baden-Württemberg AG] (2021): Größter förderfreier Solarpark Deutschlands eingeweiht. *EnBW*. 12. November. Website: <https://www.enbw.com/unternehmen/presse/enbw-weiht-groessten-solarpark-deutschlands-ein.html> (Zugriff: 25. November 2021).
- Ericsson, Karin und Lars J. Nilsson (2006): Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. *Biomass and Bioenergy*, Nr. 30(2006): 1–15.
- Europäische Kommission (2012): Innovation für nachhaltiges Wachstum: eine Bioökonomie für Europa. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52012DC0060&from=EN>.
- Europäische Kommission (2018): Eine nachhaltige Bioökonomie für Europa. Stärkung der Verbindungen zwischen Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2018/DE/COM-2018-673-F1-DE-MAIN-PART-1.PDF>.
- Europäische Kommission (2021): Proposal for a directive of the european parliament and of the council on energy efficiency. https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/proposal_for_a_directive_on_energy_efficiency_recast.pdf.
- European Union (2020): How the bioeconomy contributes to the European Green Deal. <https://op.europa.eu/en/web/eu-law-and-publications/publication-detail/-/publication/66722c8d-2e03-11eb-b27b-01aa75ed71a1>.
- Fachagentur Windenergie an Land (2022): Mustervertrag für kommunale Teilhabe nach EEG 2021. *Fachagentur Windenergie an Land*. Website: <https://www.fachagentur-windenergie.de/themen/akzeptanz/mustervertrag/> (Zugriff: 27. Januar 2022).
- Falkenberg, Hanno, Jens Hobohm, Sebastian Lübbers, Fabian Malik, Stefan Mellahn und Ravi Srikantham (2021): Gutachten zur Energiestrategie Brandenburg 2040 - Aktualisierung und Weiterentwicklung der Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg. Endbericht. Im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Energie des Landes Brandenburg. https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Prognos-Gutachten_Fortschreibung_Energiestrategie%20Bbg_2040.pdf (Zugriff: 19. Juni 2021).
- F:DATA GmbH (2020): Baupreislexikon – aktuelle Baupreise und Baukosten für Ihre Region. Website: <https://www.baupreislexikon.de/> (Zugriff: 11. Februar 2021).
- Fehrenbach, H, Köppen, S., Kauertz, B., Detzel, A., und Wellenreuther, F. (2017): Biomassekaskaden. Mehr Ressourceneffizienz durch Kaskadennutzung von Biomasse – von der Theorie zur Praxis. Abschlussbericht. Heidelberg: Im Auftrag des Umweltbundesamtes. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-06-13_texte_53-2017_bio-kaskaden_abschlussbericht.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Fehrenbach, Horst, Jürgen Giegrich, Susanne Köppen, Bernhard Wern, Joachim Pertagnol, Frank Baur, K. Hünecke, Günter Dehoust, Winfried Bulach und Kirsten Wiegmann (2018): BioRest: Verfügbarkeit und Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe im Energiesystem (Strom-, Wärme- und Verkehrssektor). Abschlussbericht. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Texte. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- FNR [Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.] (2014): Biokraftstoffe. Broschüre. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. https://www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2015/mediathek/brosch_biokraftstoffe_web.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- FNR [Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.] (2018): Rohstoffmonitoring Holz. Broschüre. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Handout_Rohstoffmonitoring_Holz_Web_neu.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- FNR [Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.] (2019a): Basisdaten Bioenergie Deutschland 2019. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/basisdaten_bioenergie_2019_web.pdf.

- FNR [Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.] (2019b): Anbau und Verwendung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. <https://www.weltagrarbericht.de/fileadmin/files/weltagrarbericht/Weltagrarbericht/16AgrarspritBioenergie/FNR2019.pdf> (Zugriff: 25. Juli 2022).
- FNR [Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.] (2022a): Energiepflanzen-Getreide. <https://pflanzen.fnr.de/energiepflanzen/pflanzen/getreide/>.
- FNR [Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.] (2022b): Faustzahlen Biogas. <https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen>.
- Fraunhofer ISE [Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme] (2020): Fraunhofer ISE analysiert Potenzial für Solarkraftwerke auf Braunkohle-Tagebausee. <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2020/fraunhofer-ise-analysiert-potenzial-fuer-solarkraftwerke-auf-braunkohle-tagebauseen.html> (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (2020): Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem. <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-Studie-Wege-zu-einem-klimaneutralen-Energiesystem.pdf> (Zugriff: 21. Juli 2021).
- Fromholz, Kristin, Jutta Deffner, Jaspers Rubers, Immanuel Steiß, Henrik Wahlers und Julika Weiß (2019): Ältere Hauseigentümer*innen zielgruppengerecht ansprechen: energieeffizient, komfortabel und sicher Wohnen im Alter. Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE). <https://www.unser-haus-sanieren.de/fileadmin/uh/sanieren-60plus-broschuere.pdf> (Zugriff: 15. Februar 2021).
- Frondel, Manuel, Rüdiger Budde, Jochen Dehio, Ronald Janßen-Timmen, Michael Rothgang und Torsten Schmidt (2018): Erarbeitung aktueller vergleichender Strukturdaten für die deutschen Braunkohleregionen. Endbericht. Essen: RWI - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). <https://www.econs-tor.eu/bitstream/10419/181938/1/1029861749.pdf> (Zugriff: 5. Mai 2021).
- Gerbert, Philipp, Patrick Herhold, Jens Burchardt, Stefan Schönberger, Florian Rechenmacher, Almut Kirchner, Andreas Kemmler und Marco Wunsch (2018): Klimapfade für Deutschland. BDI. https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2018/Januar/Klimapfade_fuer_Deutschland_BDI-Studie_/Klimapfade-fuer-Deutschland-BDI-Studie-12-01-2018.pdf (Zugriff: 21. Juni 2019).
- Gierkink, Max und Tobias Sprenger (2021): Auswirkungen des EEG 2021 auf den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromnachfrage 2030. Köln: Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) gGmbH. https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2021/09/210416_EWI-Analyse-Anteil-Erneuerbare-in-2030.pdf (Zugriff: 25. November 2021).
- GL BB [Gemeinsame Landesplanungsabteilung Berlin-Brandenburg] (2020): Amtsblatt für Brandenburg – Nr. 40 vom 7. Oktober 2020. 7. Oktober. https://bravors.brandenburg.de/br2/sixcms/media.php/76/Amtsblatt%2040_20.pdf.
- Grunwald, Armin, Hans-Jürgen Appelrath, Christian Dieckhoff, Manfred Fishedick, Felix Höffler, Christoph Mayer und Wolfgang Weimer-Jehle (2016): Mit Energieszenarien gut beraten. Anforderungen an wissenschaftliche Politikberatung. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. <http://www.acatech.de/de/publikationen/stellungnahmen/kooperationen/detail/artikel/mit-energieszenarien-gut-beraten.html>.
- Günnewig, Dieter, Michael Püschel, Alexandra Rohr, Roman Götze, Lucretia Löscher, Anemon Boelling und Michael Mack (2009): Erarbeitung von Grundlagen zur regionalplanerischen Steuerung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen am Beispiel der Region Lausitz-Spreewald. Endbericht. Hannover und Leipzig: Im Auftrag der Gemeinsamen Landesplanung Berlin-Brandenburg. <https://docplayer.org/67994074-Erarbeitung-von-grundlagen-zur-regionalplanerischen-steuerung-von-photovoltaik-freiflaechenanlagen-am-beispiel-der-region-lausitz-spreewald.html> (Zugriff: 12. November 2021).
- Günther, Danny, Jeanette Wapler, Robert Langner, Sebastian Helmling, Marek Miara, David Fischer, Dirk Zimmermann, Tobias Wolf und Bernhard Wille-Hausmann (2020): Wärmepumpen in Bestandsgebäuden. Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „WPsmart im Bestand“. Abschlussbericht. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/wpsmart-im-bestand.html> (Zugriff: 25. Juli 2022).
- Haak, Falko (2015): Effizientes Erschließen von Landschaftspflegematerial in Bioenergieregionen – Das Beispiel Gehölze und Heckenmanagement. DBFZ. https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/Berichte/LPM_Bioenergie_Regionen.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Haller, Axel (1997): *Wertschöpfungsrechnung: Ein Instrument zur Steigerung der Aussagefähigkeit von Unternehmensabschlüssen im internationalen Kontext*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Hamelin, Lorie, Magdalena Borzęcka, Malgorzata Kozak und Rafal Pudelko (2019): A spatial approach to bioeconomy: Quantifying the residual biomass potential in the EU-27. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Nr. 100 (2019): 127–142.

- Handelsblatt (2021): Vestas schließt deutsches Werk mit 460 Stellen. Website: <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/windturbinenbauer-vestas-schliesst-deutsches-werk-mit-460-stellen/27629722.html?ticket=ST-1567188-FWdeWedl-ODW1yQvIWz9R-ap3> (Zugriff: 26. Januar 2022).
- Hauptstadtbüro Bioenergie (2021): Europäische Kommission genehmigt weite Teile der EEG-Novelle. *BBE - Bundesverband Bioenergie e.V.* 15. Dezember. Website: <https://www.bioenergie.de/presse/allgemeines/europaeische-kommission-genehmigt-weite-teile-der-eeg-novelle> (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Heinbach, Katharina, Astrid Aretz, Bernd Hirschl, Andreas Prahel und Steven Salecki (2014): Renewable energies and their impact on local value added and employment. *Energy, Sustainability and Society* 4, Nr. 1: 1–10.
- Heinbach, Katharina, Henrik Scheller, Elisabeth Krone, Philipp Reiß, Johannes Rupp, Jan Walter, Corinna Altenburg, Sabrina Heinecke und Benedikt Walker (2020): Klimaschutz in finanzschwachen Kommunen - Potenziale für Haushaltsentlastungen, lokale Wertschöpfungseffekte sowie alternative Finanzierungsansätze kommunaler Klimaschutzmaßnahmen. Schriftenreihe des IÖW 219/20. Berlin. https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/2020/IOEW_SR_219_Klimaschutz_in_finanzschwachen_Kommunen.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Hengstler, Jasmin, Manfred Russ, Alexander Stoffregen, Aline Hendrich, Simone Weidner, Michael Held und Ann-Kathrin Briem (2021): Aktualisierung und Bewertung der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen. Abschlussbericht. Climate Change. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-05-06_cc_35-2021_oekobilanzen_windenergie_photovoltaik.pdf (Zugriff: 28. Oktober 2021).
- Hennig, Bettina, Markus Lohr, Florian Valentin und Fabian Zuber (2021): Kurzanalyse der Markthemmnisse für den beschleunigten Ausbau von Photovoltaik-Dachanlagen. Photovoltaikforum und Kanzlei von Bredow Valentin Herz im Auftrag der Klima-Allianz Deutschland. https://www.klima-allianz.de/fileadmin/user_upload/Dateien/Daten/Publikationen/Hintergrund/Klima_Allianz_Deutschland_PV-Analyse_16.11.21_01.pdf (Zugriff: 29. November 2021).
- Henning, Hans-Martin (2020): Perspektiven für Wärmepumpen im Mehrfamilienhaus-Bestand. 4. Mai. https://www.energie-tage.de/fileadmin/user_upload/2020/Vortraege/5.05_Henning_LowEx-Bestand.pdf.
- Hess, Stefan, Katrin Scharf, Jeannette Wapler, Constanze Bongs, Raphael Vollmer, Lotta Koch, Mohamed Obid, Rebekka Eberle und Hans-Martin Henning (2021): Techno-ökonomische und ökologische Perspektiven für Wärmepumpen im Mehrfamilienhaus-Bestand. https://www.lowex-bestand.de/wp-content/uploads/2021/12/2021-12-22_DKV_LiB_Techno-%C3%B6konom_Hess.pdf (Zugriff: 13. Januar 2022).
- Hirschl, Bernd, Astrid Aretz, Elisa Dunkelberg, Anna Neumann und Julika Weiß (2011): Potenziale erneuerbarer Energien in Berlin 2020 und langfristig - Quantifizierung und Maßnahmengenerierung zur Erreichung ambitionierter Ausbauziele. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW). https://www.ioew.de/fileadmin/_migrated/tx_ukioewdb/IOEW_SR_198_EE-Potenziale-Berlin-2020_02.pdf (Zugriff: 28. Juli 2022).
- Hirschl, Bernd, Astrid Aretz, Andreas Prahel, Timo Böther, Katharina Heinbach, Daniel Pick und Simon Funcke (2010): Kommunale Wertschöpfung durch erneuerbare Energien. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW). http://www.ioew.de/uploads/tx_ukioewdb/IOEW_SR_196_Kommunale_Wertsch%C3%B6pfung_durch_Erneuerbare_Energien.pdf (Zugriff: 25. Juli 2022).
- Hirschl, Bernd, Kristina Dietz, Thomas Vogelpohl, Elisa Dunkelberg, Maria Backhouse und Raoul Hermann (2014): *Biokraftstoffe zwischen Sackgasse und Energiewende. Sozial-ökologische und transnationale Perspektiven*. Hg. v. Michael Brüntrup. München: oekom verlag.
- Hirschl, Bernd, Katharina Heinbach, Andreas Prahel, Steven Salecki, André Schröder, Astrid Aretz und Julika Weiß (2015): Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien. Ermittlung der Effekte auf Länder- und Bundesebene. *Schriftenreihe des IÖW* 210 (Dezember). https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/Schriftenreihen/IOEW_SR_210_Wertsch%C3%B6pfung_durch_erneuerbare_Energien_auf_Landes-_und_Bundesebene.pdf (Zugriff: 25. Juli 2022).
- Hirschl, Bernd, Uwe Schwarz, Julika Weiß, Raoul Hirschberg und Lukas Torliene (2021): Berlin Paris-konform machen. Eine Aktualisierung der Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ mit Blick auf die Anforderungen aus dem UN-Abkommen von Paris. Abschlussbericht. Berlin: Im Auftrag des Landes Berlin, vertreten durch die Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz. https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/klimaschutz/klimaschutzpolitik-in-berlin/berlin-paris-konform/studie-berlin-paris-konform-endbericht.pdf (Zugriff: 28. Juli 2022).
- Hirschl, Bernd, Lukas Torliene, Uwe Schwarz, Elisa Dunkelberg, Julika Weiß, Clara Lenk, Raoul Hirschberg, Anne Schalling, Gregor Weyer, Kathrin Wagner, et al. (2022): Zwischenbericht zum Gutachten für den Klimaplan Brandenburg - Erarbeitung einer

- Klimaschutzstrategie für das Land Brandenburg. In diesem Bericht: Differenzierte Darstellung der sektoralen und übergreifenden Entwicklungen, Rahmenbedingungen und Trends. Berlin, Potsdam, Senftenberg: Studie im Auftrag des Landes Brandenburg, vertreten durch das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz. https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/ZwBericht-Gutachten-KlimaplanBB_finale%20Fassung.pdf (Zugriff: 2. März 2022).
- Hobohm, Jens, Marcus Koepp, Leonard Krampe, Stefan Mellahn, Frank Peter und Fabian Sakowski (2011): Bedeutung der Braunkohle in Ostdeutschland. Berlin. <https://braunkohle.de/wp-content/uploads/2019/04/Bedeutung-der-Braunkohle-in-Ostdeutschland-Langfassung.pdf> (Zugriff: 1. Februar 2022).
- Hörner, Michael, Markus Rodenfels, Holger Cischinsky, Martin Behnisch, Roland Busch und Guido Spars (2021): Der Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland ist vermessen (April). https://www.datanwg.de/fileadmin/user/iwu/210412_IWU_Projektinfo-8.3_BE_Strukturdaten_final.pdf (Zugriff: 13. Januar 2022).
- Hubbuch, Markus und Pascal M Vecsei (2019): Lebenszykluskosten von Wärmepumpen. Serviced Industriels de Genève. https://geothermie-schweiz.ch/wp_live/wp-content/uploads/2019/09/Bericht_LCC_EWS_2.pdf (Zugriff: 12. Januar 2022).
- Hübner, Gundula, Johannes Pohl, Jan Warode, Boris Gotchev, Dörte Ohlhorst, Michael Krug, Steven Salecki und Wolfgang Peters (2020a): Akzeptanzfördernde Faktoren Erneuerbarer Energien. BfN-Skripten. Bonn - Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz. <http://www.bfn.de/skripten.html> (Zugriff: 3. Mai 2021).
- Hübner, Gundula, Johannes Pohl, Jan Warode, Boris Gotchev, Dörte Ohlhorst, Michael Krug, Steven Salecki und Wolfgang Peters (2020b): Akzeptanzfördernde Faktoren Erneuerbarer Energien. *BfN Skripten Nr. 551*. <https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript551.pdf> (Zugriff: 5. Mai 2020).
- IASS [Institut für transformative Nachhaltigkeitsforschung] (2020): Soziales Nachhaltigkeitsbarometer der Energiewende 2019. Potsdam. https://www.iass-potsdam.de/sites/default/files/2020-04/Online_IASS_Barometer_200422_FINALFINAL.pdf (Zugriff: 10. Februar 2022).
- ifeu, Fraunhofer IEE und Consentec [Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (Fraunhofer IEE), Consentec GmbH] (2018): Wert der Effizienz im Gebäudesektor in Zeiten der Sektorenkopplung. Studie im Auftrag von Agora Energiewende. ifeu, Fraunhofer IEE und Consentec. https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2017/Heat_System_Benefit/143_Heat_System_benefits_WEB.pdf (Zugriff: 4. Juni 2021).
- Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (2021): IAB-Arbeitszeitrechnung. <https://www.iab.de/de/daten/iab-arbeitszeitrechnung.aspx>.
- IOÖ, IKEM, und BBH [Institut für ökologische Wirtschaftsforschung; Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität; Becker Büttner Held] (2020): Finanzielle Beteiligung von betroffenen Kommunen bei Planung, Bau und Betrieb von erneuerbaren Energieanlagen. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). https://www.ioew.de/publikation/finanzielle_beteiligung_von_betroffenen_kommunen_bei_planung_bau_und_betrieb_von_erneuerbaren_energieanlagen_finbee (Zugriff: 21. Oktober 2021).
- IWU [Institut Wohnen und Umwelt GmbH] (2020): TABULA WebTool. *TABULA WebTool*. Website: <http://webtool.building-typology.eu/#de> (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Jansen, Anika und Sebastian Schirner (2020): Die Fachkräftesituation in Deutschlands Kohleregionen. https://www.kofa.de/fileadmin/Dateiliste/Publikationen/KOFA_Kompakt/Kohleregionen.pdf (Zugriff: 22. Oktober 2021).
- Johnson, Thomas G. und Ira Altmann (2014): Rural development opportunities in the bioeconomy. *Biomass and Bioenergy*, Nr. 63 (2014): 341–344.
- Kaltschmitt, Martin, Hans Hartmann und Hermann Hofbauer (2009): *Energie aus Biomasse - Grundlagen, Techniken und Verfahren*. 2. Aufl. Springer Berlin Heidelberg.
- Kaltschmitt, Martin, Wolfgang Streicher und Andreas Wiese (2013): *Erneuerbare Energien - Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte*. 5. Aufl. Springer Vieweg.
- Kelm, Tobias, Jochen Metzger, Anna-Lena Fuchs, Sven Schicketanz, Dieter Günnewig und Miron Thylmann (2019): Untersuchung zur Wirkung veränderter Flächenrestriktionen für PV-Freiflächenanlagen. Kurzstudie im Auftrag der innogy SE. Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) und Bosch & Partner GmbH. https://www.zsw-bw.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Aktuelles/2019/politischer-dialog-pv-freiflaechenanlagen-studie-333788.pdf (Zugriff: 11. November 2021).

- Kenkmann, Tanja, Hans-Peter Piorr, Georg Wagener-Lohs und Helmut Bronk (2010): Biomassestrategie des Landes Brandenburg. Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (MUGV). https://mluk.brandenburg.de/media_fast/4055/bmstrategie.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- KIWUH [Kompetenz- und Informationszentrum Wald und Holz] (2019a): Wald und Holz in Deutschland. Broschüre. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. https://www.fnr.de/fileadmin/kiwuh/broschueren/Brosch_Wald_Holz_KIWUH_Auflage2_web.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- KIWUH [Kompetenz- und Informationszentrum Wald und Holz] (2019b): Basisdaten Wald und Holz 2019. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. https://www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2019/Mediathek/Basisdaten_KIWUH_web_2te_Auflage_Okt_mio.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Klepper, Gernot und Daniela Thrän, Hrsg. (2019): Biomasse im Spannungsfeld zwischen Energie- und Klimapolitik. Potenziale – Technologien – Zielkonflikte. *Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft*. <https://www.acatech.de/publikation/biomasse-im-spannungsfeld-zwischen-energie-und-klimapolitik-potenziale-technologien-zielkonflikte/> (Zugriff: 20. Januar 2021).
- Klüter, H (2014): Die Landwirtschaft in Sachsen im Vergleich mit anderen Bundesländern. Endbericht im Auftrag der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN. https://www.gruene-fraktion-sachsen.de/fileadmin/user_upload/Studien/Landwirtschaftsstudie_web_2015-01.pdf (Zugriff: 1. Februar 2019).
- Kost, Christoph, Shivenes Shammugam, Verena Fluri, Dominik Peper, Aschkan Davoodi Memar und Thomas Schlegl (2021): Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien Juni 2021. Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/studie-stromgestehungskosten-erneuerbare-energien.html> (Zugriff: 5. Dezember 2021).
- Kriesel, Julia (2021): Sachsen ermöglicht Photovoltaik auf mehr Freiflächen. *Petersen Hardraht Pruggmayer Rechtsanwälte Steuerberater*. 11. Oktober. Website: <https://www.petersenhardrahtpruggmayer.de/de/news/sachsen-ermoeglicht-photovoltaik-auf-mehr-freiflaechen/> (Zugriff: 26. November 2021).
- LAK [Länderarbeitskreis Energiebilanzen] (2021): Vollständige Energiebilanz der Bundesländer Brandenburg und Sachsen (1990-2018). <https://www.lak-energiebilanzen.de/energiebilanzen/> (Zugriff: 9. Februar 2021).
- Land Brandenburg (2021): Energie- und Klimaschutzatlas Brandenburg. Website: <https://eks.brandenburg.de/> (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Landesregierung Brandenburg (2021): Antwort der Landesregierung auf die Kleine Anfrage 1054 des Abgeordneten Sebastian Walter Fraktion DIE LINKE Landtagsdrucksache 7/2891 Windenergieanlagenabgabengesetz und EEG 2021. Landtag Brandenburg, 7. Wahlperiode. https://www.linksfraktion-brandenburg.de/fileadmin/dateien/download/sonstige/KA_1054_Antwort.pdf (Zugriff: 22. Oktober 2021).
- Landtag Brandenburg (2021): Antwort der Landesregierung auf die Kleine Anfrage Nr. 1447 der Abgeordneten Christine Wernicke (BVB / FREIE WÄHLER Fraktion). Landtag Brandenburg, 7. Wahlperiode.
- LANUV [Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen] (2021): Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW Zwischenbericht - Windenergie. Februar. https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/1_infoblaetter/Handout_Potenzialstudie_Windenergie_Druck.pdf.
- LEAG (2021): Pressemitteilung: LEAG plant mit EPNE Windpark auf Lausitzer Rekuflähe. 26. Januar. Website: <https://www.leag.de/de/news/details/leag-plant-mit-epne-windpark-auf-lausitzer-rekuflaehche/> (Zugriff: 25. Oktober 2021).
- Lerche, Hubert (2014): Analyse des Fachkräftebedarfes 2015-2025 für die Zukunftsbranchen der Lausitz. Hoyerswerda. https://www.demografie.sachsen.de/Wirtschaftsinitiative_Lausitz_Abschluss_Internet.pdf (Zugriff: 22. Januar 2022).
- LMBV [Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH] (2021): Flutungsstand der Bergbaufolgeseen. *lmbv.de*. Website: <https://www.lmbv.de/aufgaben/wassermanagement/flutungsstand/> (Zugriff: 11. November 2021).
- Loga, Tobias, Britta Stein, Nikolaus Diefenbach und Rolf Born (2015): Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. https://episcopes.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/DE_TABULA_TypologyBrochure_IWU.pdf (Zugriff: 3. November 2020).
- Luderer, Gunnar, Christoph Kost, Dominika Sörgel, Claudia Günther, Falk Benke, Cornelia Auer, Florian Koller, Andrea Herbst, Klara Reder, Diana Böttger, et al. (2021): Ariadne-Report. Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich. Kopernikus-Projekt Ariadne. Potsdam: Potsdam -Institut für Klimafolgenforschung (PIK), Fraunhofer-Institut für Solare Energiesystem ISE, et al. <https://ariadneprojekt.de/publikation/deutschland-auf-dem-weg-zur-klimaneutralitaet-2045-szenarienreport/> (Zugriff: 19. Oktober 2021).

- Lundmark, Robert, Dimitris Athanassiadis und Elisabeth Wetterlund (2015): Supply assessment of forest biomass. A bottom-up approach for Sweden. *Biomass and Bioenergy*, Nr. 75 (2015): 213–226.
- Lütkehus, Insa, Hanno Salecker, Kirsten Adlunger, Thomas Klaus, Carla Vollmer, Carsten Alsleben, Raphael Spiekermann, Andrea Bauerdorff, Jens Günther und Gudrun Schütze (2013): Potenzial der Windenergie an Land: Studie zur Ermittlung des bundesweiten Flächen- und Leistungspotenzials der Windenergienutzung an Land. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/potenzial_der_windenergie.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Mählmann, Edgar (2021): Übersicht der Wärmeschutzverordnungen. *Dipl.-Ing. Architekt Edgar Mählmann - Architektur + Energieberatung*. Website: <http://www.maehlmann.com/architektur/6-uebersicht-der-waermeschutzverordnungen> (Zugriff: 18. Oktober 2021).
- Majer, Stefan, Peter Kornatz, Jaqueline Daniel-Gromke, Nadja Rensberg, André Brosowski, Katja Oehmichen und Jan Liebetrau (2019): Stand und Perspektiven der Biogaserzeugung aus Gülle. Broschüre. Leipzig: DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum. 978-3-946629-48-1.
- Markusdatenbank (2019): Diverse Unternehmensdaten. Hg. v. Bureau van Dijk Electronic Publishing GmbH. Juli.
- Markwardt, Gunther, Magdalena Mißler-Behr, Helmut Schuster, Stefan Zundel und Jörg Hedderoth (2016): Strukturwandel in der Lausitz, Wissenschaftliche Auswertung der Potentialanalysen der Wirtschaft der Lausitz ab 2010. Cottbus.
- MASLATON Rechtsanwaltsgesellschaft mbH (2021): § 6 EEG 2021 in Kraft getreten – aber Vorsicht: die beihilferechtliche Genehmigung durch die EU-Kommission steht noch aus. Website: <https://www.maslaton.de/news/-6-EEG-2021-in-Kraft-getreten--aber-Vorsicht-die-beihilferechtliche-Genehmigung-durch-die-EU-Kommission-steht-noch-aus--n813> (Zugriff: 8. Februar 2022).
- Mellwig, Peter, Dr Martin Pehnt und Julia Lempik (2021): Energieeffizienz als Türöffner für erneuerbare Energien im Gebäudebereich. Studie im Auftrag des Verbandes für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V. Heidelberg: ifeu Institut.
- Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft Brandenburg (2016): Klimareport Brandenburg 2016. Potsdam. https://lfu.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/fb_150.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (2019): natürlich. nachhaltig. Brandenburg. Nachhaltigkeitsstrategie für das Land Brandenburg. <https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Fortschreibung-Nachhaltigkeitsstrategie-BB.pdf> (Zugriff: 11. März 2022).
- Mühlenhoff, J, Kajimura, R., Boenigk, N., Witt, J., und Horschig, T. (2017): Holzenergie in Deutschland. Status quo und Potenziale. *Agentur für Erneuerbare Energien* Renewes Spezial, Nr. 82. https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/1351.82_Re-news_Spezial_Holzenergie_Aug2017.pdf.
- Müller, Winfried und Swen Steinberg (2020): Region im Wandel - Eine kurze Geschichte der Lausitz(en). *Aus Politik und Zeitgeschichte*.
- MWAE [Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie des Landes Brandenburg] (2020): Energie- und Klimaschutzatlas Brandenburg. 27. Juli. Website: <https://eks.brandenburg.de/> (Zugriff: 27. Juli 2020).
- MWAE [Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie des Landes Brandenburg] (2021): Energiestrategie 2040 (Entwurf). Potsdam. https://mwae.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/En_Onlinekonsultation_Entwurf_Energiestrategie-2040_2021-12-21.pdf (Zugriff: 6. Januar 2022).
- MWAE [Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie des Landes Brandenburg] (2022): Energiestrategie 2030. *Landesportal Brandenburg*. Website: <https://mwae.brandenburg.de/de/energiestrategie-2030/bb1.c.478377.de> (Zugriff: 6. Januar 2022).
- MWE [Ministerium für Wirtschaft und Europaangelegenheiten des Landes Brandenburg] (2012): Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg. Potsdam. https://mwe.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/ES2030_Massnahmenkatlog_final.pdf (Zugriff: 18. November 2019).
- MWE [Ministerium für Wirtschaft und Energie Brandenburg] (2018): Energiestrategie 2030 des Landes Brandenburg. Katalog der strategischen Maßnahmen. Potsdam. https://mwe.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/ES2030_Massnahmenkatlog_final.pdf (Zugriff: 18. November 2019).
- MWE [Ministerium für Wirtschaft und Energie Brandenburg] (2019): Schriftliche Mitteilung am 22.08.2019. 22. August.
- Nagel, Marius und Stefan Zundel (2021): Eine Region unter der Lupe - Versteckte Wirtschaftspotentiale in der Lausitz. *Schriftenreihe Fachgebiet Allgemeine VWL mit dem Schwerpunkt Energie- und Umweltökonomik*, Nr. 4. <https://www-docs.b-tu.de/fg-energie-umweltoekonomik/public/Schriftenreihe-pdf/sr04.pdf> (Zugriff: 14. April 2022).

- NordNordWest (2016): Lage der Lausitz. 26. April. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=48379903>.
- Öko-Institut (2022): LebensRäume - Instrumente zur bedürfnisorientierten Wohnraumnutzung in Kommunen. *ÖkoInstitut*. Website: <https://www.oeko.de/forschung-beratung/projekte/pr-details/kommunen-innovativ-lebensraeume> (Zugriff: 14. März 2022).
- Pedretti, Luca (2021): PPA Transaction - Germany races out of the blocks in Q1. *Pexapark*. 3. Juli. Website: <https://pexapark.com/blog/germany-races-out-of-the-blocks-in-q1/> (Zugriff: 25. November 2021).
- Peper, Dominik, Sven Längle und Christoph Kost (2021): Photovoltaikzubau in Deutschland in Zahlen - Auswertung des Marktstammdatenregisters und der EEG-Anlagenstammdaten. Kurzstudie. Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Kurzstudie_Fraunhofer_ISE_Photovoltaik-Zubau-in-Zahlen.pdf (Zugriff: 6. Januar 2022).
- Peschel, Rolf, Tim Peschel, Martine Marchand und Jörg Hauke (2020): Solarparks - Gewinne für die Biodiversität. Berlin: Bundesverband Neue Energiewirtschaft e.V.
- Peters, Wolfgang, Sven Schicketanz, Marie Hanusch, Alexandra Rohr, Miriam Kothe und Pascal Kina (2015): Räumlich differenzierte Flächenpotentiale für erneuerbare Energien in Deutschland. BMVI-Online-Publikation. Berlin. https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmvi/bmvi-online/2015/DL_BMVI_Online_08_15.pdf;jsessionid=2DE191D2C986A721D793DF57F62EAD72.live21304?__blob=publicationFile&v=1 (Zugriff: 11. November 2021).
- Peters, Wolfgang, Sven Schicketanz und Pascal Kinast (2014): Landschaftspflegematerial im Land Brandenburg: Potenzialermittlung und Möglichkeiten der energetischen Verwertung. Endbericht. Ministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg. <https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Landschaftspflegematerial-im-Land-Brandenburg.pdf> (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Pietsch, J (2017): *Bioökonomie für Einsteiger*. 1. Aufl. Springer Spektrum.
- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2020): Klimaneutrales Deutschland. Studie. https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_209_KNDE2045_Zusammenfassung_DE_WEB.pdf (Zugriff: 21. Juli 2021).
- Prognos, Öko-Institut, und Wuppertal-Institut (2020): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Zusammenfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende. https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_209_KNDE2045_Zusammenfassung_DE_WEB.pdf (Zugriff: 21. Juli 2021).
- Prognos, Öko-Institut, und Wuppertal-Institut (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Langfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende. https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_01_DE_KNDE2045/KNDE2045_Langfassung.pdf (Zugriff: 12. Oktober 2021).
- Purr, Katja, Jens Günther, Harry Lehmann und Philip Nuss (2019): Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität. RESCUE - Studie. CLIMATE CHANGE. Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/rescue_studie_cc_36-2019_wege_in_eine_ressourcenschonende_treibhausgasneutralitaet_aufgabe2_juni-2021.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Ragnitz, Joachim, Gunther Markwardt, Julian Schwartzkopff, Alexander Reitzenstein, Timon Wehnert, Jenny Kurwan und Jannis Beutel (2022): Analyse des historischen Strukturwandels in der Lausitz (Fallstudie). CLIMATE CHANGE. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Ragwitz, Mario, Hans-Martin Henning, Anne Billerbeck, Rolf Bracke, Harald Bradke, Tobias Fleiter, Norman Gerhardt, Anne Held, Sebastian Herkel, Christoph Kost, et al. (2021): 7 Empfehlungen zum Gelingen der Energiewende. München: Fraunhofer-Gesellschaft e.V. https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccx/2021/Fraunhofer_CINES_7-Empfehlungen-zum-Gelingen-der-Energiewende.pdf (Zugriff: 22. Oktober 2021).
- Rai, Mahendra und Avinash P. Ingle (2019): *Sustainable Bioenergy. Advances and Impacts*. 1. Aufl. Elsevier.
- rbb [Rundfunk Berlin-Brandenburg] (2022): Mehrere Interessenten für Vestas-Werk in Lauchhammer. *rbb 24 Studio Cottbus*. Website: <https://www.rbb24.de/studiocottbus/wirtschaft/2022/01/vestas-lauchhammer-interessenten-verkauf.html> (Zugriff: 26. Januar 2022).
- rbb24 (2021): Ende der Förderung - Was mit alten Windrädern passiert. 8. September. Website: <https://www.rbb24.de/wirtschaft/beitrag/2021/09/brandenburg-windkraftanlagen-windraeder-lebensdauer-rueckbau-recycling.html> (Zugriff: 22. Oktober 2021).

- Regionale Planungsgemeinschaft Lausitz-Spreewald (2016): Sachlicher Teilregionalplan „Windenergienutzung“. Cottbus. <https://region-lausitz-spreewald.de/de/regionalplanung/teilplaene/artikel-sachlicher-teilregionalplan-windenergienutzung-veroeffentlicht-am-16-06-2016.html> (Zugriff: 26. April 2021).
- Regionale Planungsgemeinschaft Lausitz-Spreewald (2022): Verkehr (Raumerschließung) - Abschnitte Straße und Schiene. <https://www.region-lausitz-spreewald.de/de/region/verkehr.html> (Zugriff: 11. November 2021).
- Regionale Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel (2021): Arbeitshilfe Photovoltaik-Freiflächenanlagen. https://www.prignitz-oberhavel.de/fileadmin/dateien/dokumente/REM/Arbeitshilfe_PVA/PVA_Arbeitshilfe.pdf (Zugriff: 28. November 2021).
- Richwien, Martina, Britta Baums, Knud Rehfeldt, Jutta Simmering, Karl-Heinz Remmers, Fabian Krömke, Marco Wunsch, Eva-Maria Klotz, Hans Dambeck, Sven Kreidelmeyer, et al. (2018): Erneuerbare Energie-Vorhaben in den Tagebauregionen. Bericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). Berlin. https://www.ioew.de/projekt/erneuerbare_energien_vorhaben_in_den_tagebauregionen/ (Zugriff: 1. März 2022).
- Ritter, David, Dierk Bauknecht und Susanne Krieger (2021): Wirtschaftlichkeit von Photovoltaik-Dachanlagen: Eine differenzierte Betrachtung von Volleinspeise- und Eigenverbrauchsanlagen. CLIMATE CHANGE. Dessau-Roßlau: Im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- RPV O-N [Regionaler Planungsverband Oberlausitz-Niederschlesien] (2019): Zweite Gesamtfortschreibung des Regionalplans für die Planungsregion Oberlausitz-Niederschlesien - Entwurf für die Beteiligung nach § 9 ROG in Verbindung mit § 6 SächsLPlG. Bautzen. <https://www.rpv-oberlausitz-niederschlesien.de/regionalplanung/zweite-gesamtfortschreibung-des-regionalplans.html> (Zugriff: 15. April 2020).
- RPV O-N [Regionaler Planungsverband Oberlausitz-Niederschlesien] (2021): Zweite Gesamtfortschreibung des Regionalplans für die Planungsregion Oberlausitz-Niederschlesien - Bisherige Verfahrensschritte und aktueller Verfahrensstand. Website: <https://www.rpv-oberlausitz-niederschlesien.de/regionalplanung/zweite-gesamtfortschreibung-des-regionalplans.html> (Zugriff: 10. Mai 2021).
- RPV O-N [Regionaler Planungsverband Oberlausitz-Niederschlesien] Schriftliche Mitteilung am 19.08.2019.
- Rupp, Johannes, Hannes Bluhm, Bernd Hirschl, Philip Grundmann, Andreas Meyer-Aurich, Vivienne Huwe und Philip Luxen (2020): Nachhaltige Bioökonomie in Brandenburg Biobasierte Wertschöpfung – regional und innovativ. Broschüre. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg. <https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Nachhaltige-Biooekonomie.pdf> (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Rupp, Johannes, Katharina Heinbach, Astrid Aretz und André Schröder (2017): Ermittlung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte in drei ausgewählten Bioenergie-Regionen. IÖW-Schriftenreihe 214/17. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) GmbH.
- SAENA [Sächsische Energieagentur] (2021): Energieportal Sachsen. Website: <https://www.energieportal-sachsen.de/> (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Salecki, Steven und Bernd Hirschl (2021): Ökonomische Beteiligung lokaler Akteure als Schlüssel für Akzeptanz und stärkeren Ausbau erneuerbarer Energien. *ZNER - Zeitschrift für Neues Energierecht*, Nr. 04 (28): 329–335.
- Scheftelowitz, Mattes, Nadja Rensberg, Velina Denysenko, Jaqueline Daniel-Gromke, Walter Stinner, Konrad Hillebrand, Karin Naumann, David Peetz und Christiane Hennig (2015): Stromerzeugung aus Biomasse (Vorhaben Ila Biomasse). Zwischenbericht. DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum. https://www.dbfz.de/fileadmin/eeg_monitoring/berichte/01_Monitoring_ZB_Mai_2015.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Scheuermann, Anne, Ilka Erfurt, Jörg Eggemann, Matthias Reichmuth, Alexander Schiffler, Christoph Voigtländer, Wolfgang Peters und Sven Schicketanz (2012a): Regionales Energie- und Klimaschutzkonzept für die Planungsregion Oberlausitz-Niederschlesien. Leipzig.
- Scheuermann, Anne, Ilka Erfurt, Jörg Eggemann, Matthias Reichmuth, Alexander Schiffler, Christoph Voigtländer, Wolfgang Peters und Sven Schicketanz (2012b): Regionales Energie- und Klimaschutzkonzept für die Planungsregion Oberlausitz-Niederschlesien - Teil B Landkreis Görlitz. Leipzig.
- Scheuermann, Anne, Ilka Erfurt, Jörg Eggemann, Matthias Reichmuth, Alexander Schiffler, Christoph Voigtländer, Wolfgang Peters und Sven Schicketanz (2012c): Regionales Energie- und Klimaschutzkonzept für die Planungsregion Oberlausitz-Niederschlesien - Teil A Landkreis Bautzen. Leipzig.
- Schulze, Christian, Jörn Hübel, Mirko Ruhнау, Ralph Krause und Andreas Peusch (2014): Ermittlung der Geräuschemissionen und Möglichkeiten zur Lärminderung bei Luft-Wasser-Wärmepumpen. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_71_2014_waermepumpen_komplett.pdf (Zugriff: 1. März 2022).

- Schütte, Silvia, Moritz Vogel und Dierk Bauknecht (2021): Energiewende möglich machen: Windenergie an Land zügig und nachhaltig realisieren. Working Paper. Berlin: Öko-Institut e.V. <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/WP-Windenergie.pdf> (Zugriff: 2. Februar 2022).
- Seibert, Holger, Antje Weyh, Oskar Jost, Oskar Sujata, Doris Wiethölter und Jeanette Carstensen (2018): Die Lausitz. Eine Region im Wandel. IAB Regional. Nürnberg: IAB Berlin-Brandenburg - Institut für Arbeitsmarkt und Berufsforschung der Bundesagentur für Arbeit. https://doku.iab.de/regional/BB/2018/regional_bb_0318.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Seide, Horst (2021): Biogas – Potenziale stärker nutzen. Über die Rolle von Biogas beim Klimaschutz und mögliche Synergieeffekte von Biogaserzeugung und Tierhaltung. Der kritische Agrarbericht 2021. Schwerpunkt »Welt im Fieber – Klima & Wandel«. Fachverband Biogas e.V. <https://www.kritischer-agrarbericht.de/2021.404.0.html> (Zugriff: 21. Juli 2022).
- SMEKUL [Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft] (2021): Energie- und Klimaprogramm Sachsen 2021. Dresden. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/37830> (Zugriff: 25. Oktober 2021).
- SPD, Bündnis 90/Die Grünen, und FDP (2021): Mehr Fortschritt wagen - Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag 2021 – 2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN und den Freien Demokraten (FDP). https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf (Zugriff: 25. November 2021).
- SRU [Sachverständigenrat für Umweltfragen] (2021): Klimaschutz braucht Rückenwind: Für einen konsequenten Ausbau der Windenergie an Land. Impulspapier. Berlin. https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2020_2024/2021_10_impulspapier_wind.pdf?__blob=publicationFile&v=7 (Zugriff: 11. Oktober 2021).
- SRU [Sachverständigenrat für Umweltfragen] (2022): Klimaschutz braucht Rückenwind: Für einen konsequenten Ausbau der Windenergie an Land. Stellungnahme. Berlin. https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2020_2024/2021_10_impulspapier_wind.pdf?__blob=publicationFile&v=7 (Zugriff: 15. Februar 2022).
- Staatskanzlei Land Brandenburg (2021): Kabinett bekennt sich mit Zustimmung zu vier Vorlagen aus drei Ressorts zum effektiven Klimaschutz. *stk.brandenburg.de*. 16. November. Website: <https://www.brandenburg.de/cms/detail.php/detail.php?gsid=bb1.c.725451.de> (Zugriff: 3. Februar 2022).
- Statista (2018): Holzeinschlag in Deutschland nach Bundesländern. Statista. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/151956/umfrage/holzeinschlag-in-deutschland-nach-bundeslaendern/> (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2015): Zensus 2011 - Methoden und Verfahren. https://www.zensus2011.de/Shared-Docs/Downloads/DE/Publikationen/Aufsaeetze_Archiv/2015_06_MethodenUndVerfahren.pdf;jsessionid=6AB98CF8EBF4DB45A1F24199B605E96B.1_cid389?__blob=publicationFile&v=6 (Zugriff: 29. Oktober 2020).
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2019): Erwerbstätige im Jahresdurchschnitt nach Wirtschaftszweigen. Regionale Tiefe: Kreise und krfr. Städte bis 2018. August.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2021a): Bruttoinlandsprodukt, Bruttowertschöpfung in den kreisfreien Städten und Landkreisen der Bundesrepublik Deutschland 1992 und 1994 bis 2019, Berechnungsstand August 2020. https://www.statistikportal.de/sites/default/files/2021-07/vgrdl_r2b1_bs2020.xlsx (Zugriff: 14. April 2022).
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2021b): Bruttoinlandsprodukt/Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftsbereichen - Jahressumme - regionale Tiefe: Kreise und krfr. Städte.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2021c): Zensus Datenbank, Ergebnistabelle Wohnungen: Art der Wohnungsnutzung: 4000W-1011.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2021d): Realsteuervergleich - regionale Tiefe: Kreise und krfr. Städte.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2021e): Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte am Arbeitsort nach Geschlecht, Nationalität und Wirtschaftszweigen 2020 - Stichtag 30.06. - Kreise u. krfr. Städte.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2021f): Bevölkerungsstand (Anzahl nach Kreisen, Stichtag, Geschlecht, Altersgruppen). Stichtag 31.12.2019. 5. Mai.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2022): Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte am Arbeitsort nach Geschlecht und Nationalität 2018 - Stichtag 30.06. - Kreise u. krfr. Städte.
- Statistisches Bundesamt (2008): Klassifikation der Wirtschaftszweige. Mit Erläuterungen. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2013a): Gebäude und Wohnungen - Zensusergebnisse 2011. <https://ergebnisse.zensus2011.de/#StaticContent:00,,> (Zugriff: 30. Oktober 2020).

- Statistisches Bundesamt [00000] (2013b): Gebäude und Wohnungen - Zensusergebnisse 2011. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. <https://ergebnisse.zensus2011.de/#StaticContent:00,,,>.
- Statistisches Bundesamt (2018): Tabelle 31121-0004: Baufertigstellung neuer Gebäude: Deutschland, Jahre, Gebäudeart, Energieverwendung, Energieart. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=abrufabelleBearbeiten&levelindex=1&levelid=1625831107846&auswahloperation=abrufabelleAuspraegungAuswaehlen&auswahlverzeichnis=ordnungsstruktur&auswahlziel=werteabruf&code=31121-0004&auswahltext=&werteabruf=Werteabruf#abreadcrumb> (Zugriff: 9. Juli 2021).
- Statistisches Bundesamt (2020a): Flächennutzung, Bodenfläche insgesamt nach Nutzungsarten in Deutschland am 31.12.2019. https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Publikationen/Downloads-Wohnen/fortschreibung-wohnungsbestand-pdf-5312301.pdf?__blob=publicationFile (Zugriff: 29. Oktober 2020).
- Statistisches Bundesamt (2020b): Betriebsgrößenstruktur landwirtschaftlicher Betriebe nach Bundesländern. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Landwirtschaftliche-Betriebe/Tabellen/betriebsgroessenstruktur-landwirtschaftliche-betriebe.html>.
- Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2018): Statistisches Jahrbuch Sachsen. https://www.statistischebibliothek.de/mir/servlets/MCRFileNodeServlet/SNHeft_derivate_00008510/StatistischesJahrbuch_2018_a1b.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2019a): Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte im Freistaat Sachsen 1.HJ 2018. https://www.statistischebibliothek.de/mir/servlets/MCRFileNodeServlet/SNHeft_derivate_00008615/A_VI_9_hj1_18_SN_a1b.pdf (Zugriff: 14. April 2022).
- Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2019b): Statistisches Jahrbuch Sachsen (2011-2019). https://www.destatis.de/GPStatistik/receive/SNSerie_serie_00000034?list=all (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2019c): Bevölkerungsstand nach Kreisfreien Städten und Landkreisen (A I 1). Statistischer Bericht. https://www.statistik.sachsen.de/download/bevoelkerung/statistik-sachsen_al_zr_bevoelkerung-landkreise.xlsx (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2020): Handwerkszählung 2019. https://www.statistik.sachsen.de/download/baue-handwerk/statistik-sachsen_e-V_handwerk-insgesamt.xlsx (Zugriff: 2. Februar 2022).
- Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2021): Statistische Jahreszahlen des Freistaates Sachsen 2020, Kapitel 1 »Gebiet und Fläche«.
- Stegner, Jan, Uta Kleinknecht, Sebastian Lakner, Klaus Fleischer und Clara Chamsa (2010): Rahmenkonzept zur energetischen Verwertung von Biomasse aus der Landschaftspflege im Freistaat Sachsen. Abschlussbericht. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft. https://www.natur.sachsen.de/download/Energetische_Verwertung_von_Biomasse_aus_Landschaftspflege_A.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Sterchele, Philip, Julian Brandes, Judith Heilig, Daniel Wrede, Christoph Kost, Thomas Schlegl, Andreas Bett und Hans-Martin Henning (2020): Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem - Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen. <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-Studie-Wege-zu-einem-klimaneutralen-Energiesystem.pdf> (Zugriff: 12. Oktober 2021).
- Stiftung Klimaneutralität (2021a): Mehr Flächen für Windenergie. Website: <https://www.stiftung-klima.de/de/themen/energie/flaechenwind/> (Zugriff: 26. Oktober 2021).
- Stiftung Klimaneutralität (2021b): Wie kann die Verfügbarkeit von Flächen für die Windenergie an Land schnell und rechtssicher erhöht werden? Ein Regelungsvorschlag. Berlin. <https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/01/2021-01-27-Flaechen-fuer-Wind-Vorschlag-Stiftung-Klimaneutralitaet.pdf> (Zugriff: 10. Mai 2021).
- Stiftung Klimaneutralität (2021c): Photovoltaik (PV) – Potentiale. Literaturrecherche. Berlin. <https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/02/2021-02-18-PV-Potentiale-Literaturrecherche.pdf> (Zugriff: 11. November 2021).
- Stinner, Walter, Matthias Stur, Nicole Paul und Detlef Riesel (2015): Gülle-Kleinanlagen. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Broschuere_Guellekleinanlagen_Web.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Thiele, Julia, Julia Wiehe, Christina von Haaren, Philip Gauglitz, Carsten Pape, Clemens Lohr, Astrid Bensmann, Richard Hanke-Rauschenbach, Leonard Kluß, Lutz Hofmann, et al. (2021): Konkretisierung von Ansatzpunkten einer naturverträglichen Ausgestaltung der Energiewende, mit Blick auf strategische Stellschrauben "Naturverträgliche Ausgestaltung der Energiewende" (EE100-konkret). BfN-Skripten. Bonn - Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz. <http://www.bfn.de/skripten.html> (Zugriff: 14. Februar 2022).

- Thrän, Daniela, Philipp Adler, Andre Brosowski, Andreas Ciroth, Elmar Fischer, Uwe Fritsche, Katja Gödeke, Klaus Hennenberg, Andre Herrmann, Stefan Majer, et al. (2012): *Methodenhandbuch. Stoffstromorientierte Bilanzierung der Klimagaseffekte*. Version 3. Leipzig.
- Thrän, Daniela, Markus Lauer, Martin Dotzauer, Jasmin Kalcher, Katja Oehmichen, Stefan Majer, Markus Millinger und Matthias Jordan (2019): Technoökonomische Analyse und Transformationspfade des energetischen Biomassepotentials (TATBIO). Endbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/technoekonomische-analyse-und-transformationspfade-des-energetischen-biomassepotentials.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Trommsdorff, Max, Simon Gruber, Tobias Keinath, Michaela Hopf, Charis Hermann, Frederik Schönberger, Petra Högy, Sabine Zikeli, Andrea Ehmann, Axel Weselek, et al. (2020): Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende. Ein Leitfadens für Deutschland. Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/APV-Leitfaden.pdf> (Zugriff: 11. November 2021).
- UBA [Umweltbundesamt] (2019): *Auswirkungen von Mindestabständen zwischen Windenergieanlagen und Siedlungen - Auswertung im Rahmen der UBA-Studie Flächenanalyse Windenergie an Land*. Position. Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/auswirkungen-von-mindestabstaenden-zwischen>.
- UBA [Umweltbundesamt] (2020): Umgebungswärme und Wärmepumpen. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/umgebungswaerme-waermepumpen#funktion> (Zugriff: 4. Juni 2021).
- UBA [Umweltbundesamt] (2022): Erneuerbare Energien in Zahlen (14. März). <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#uberblick>.
- UKA [Umweltgerechte Kraftanlagen] (2021): Wertschöpfung vor Ort - Wie Gemeinden am Ertrag neuer Windenergieanlagen teilhaben. https://www.uka-gruppe.de/fileadmin/assets/de_DE/downloads/broschueren/x-UKA_A4-Flyer_Gemeinden_Wertsch%C3%B6pfung_2021-10-09_PDF-Formular.pdf (Zugriff: 2. Februar 2022).
- UM BW [Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg] (2020): Welchen Flächenbedarf haben Windenergieanlagen? Website: <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/erneuerbare-energien/windenergie/faq-windenergie/welchen-flaechenbedarf-haben-windenergieanlagen/> (Zugriff: 1. Februar 2022).
- VDB [Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie] (2018): Stabile Biodieselproduktion 2017 bringt Deutschland 2,7 Mrd. Euro Wirtschaftsimpulse. *Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie e. V.* Website: <http://www.biokraftstoffverband.de/index.php/detail/items/stabile-biodieselproduktion-2017-bringt-deutschland-27-mrd-euro-wirtschaftsimpulse.html> (Zugriff: 21. Juli 2022).
- VERBIO Biofuel and Technology (2021): VERBIO Schwedt GmbH. *verbio.de*. Website: <https://www.verbio.de/unternehmen/konzernstruktur/verbio-schwedt-gmbh/> (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Waldenström, Cecilia, Richard Ferguson, Cecilia Sundberg, Pernilla Tidåker, Erik Westholm und Ann Åkerskog (2016): Bioenergy From Agriculture: Challenges for the Rural Development Program in Sweden. 29:12: 1467–1482.
- Weiler, Katja, Andreas Weber, Katharina Grashof, Lars Holstenkamp und Moritz Ehrtmann (2021): Entwicklung und Umsetzung eines Monitoringsystems zur Analyse der Akteursstruktur bei Freiflächen-Photovoltaik und der Windenergie an Land - Ergebnisse des Monitorings und Empfehlungen. Abschlussbericht. Climate Change. Dessau-Roßlau: Bundesumweltamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-28_cc_49-2021_monitoringsystem_akteursstruktur_wind_pv.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Welfle, Andrew (2017): Balancing growing global bioenergy resource demands - Brazil's biomass potential and the availability of resource for trade. *Biomass and Bioenergy*, Nr. 105 (2017): 83–95.
- WFBB [Wirtschaftsförderung Berlin-Brandenburg] (2019): Schriftliche Mitteilung am 12.05.2021. 22. August.
- Will, Markus, Jürgen Besold und Marcel Bellmann (2019): Energie- und Treibhausgasbericht 2018 Landkreis Bautzen - Kurzfassung. Bautzen: Energieagentur des Landkreises Bautzen. http://www.tgz-bautzen.de/fileadmin/media/pdf/Energieagentur/Publikationen/Energie-_und_Treibhausgasbericht_2018_Landkreis_Bautzen_-_Kurzfassung.pdf (Zugriff: 26. April 2021).
- Wirth, Harry (2021): *Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland 2020*. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme. Freiburg. <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>.
- Wirtschaftsregion Lausitz GmbH (2022): Die Lausitz. *Zukunftswerkstatt Lausitz*. Website: <https://zw-lausitz.de/> (Zugriff: 18. November 2021).

- Wörrle, Jana Tashina (2022): Solarpflicht: In welchen Bundesländern sie gilt oder geplant ist. *Deutsche Handwerkszeitung* (12. Januar). <https://www.deutsche-handwerks-zeitung.de/wo-eine-solarpflicht-gilt-206871/>.
- Zaspel-Heisters, Brigitte (2015): Steuerung der Windenergie durch die Regionalplanung gestern, heute, morgen. BBSR-Analysen KOMPAKT. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung. https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2015/DL_09_2015.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (Zugriff: 20. Oktober 2021).
- Zeller, Vanessa, Daniela Thrän, Martin Zeymer, Bernhard Bürzle, Philipp Adler, Jens Ponitka, Jan Postel, Franziska Müller-Langer, Stefan Rönsch, Arno Gröngroft, et al. (2012): Basisinformationen für eine nachhaltige Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen zur Bioenergiebereitstellung. DBFZ Reports. Leipzig: DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum. https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/DBFZ_Reports/DBFZ_Report_13.pdf (Zugriff: 21. Juli 2022).
- Ziegert, Benedikt (2021): PPA-Photovoltaik-Projekte zeigen 2021 ein starkes Wachstum. *PV-Magazine* (27. September). <https://www.pv-magazine.de/2021/09/27/ppa-photovoltaik-projekte-zeigen-2021-ein-starkes-wachstum/>.
- Zschau, Burkhard, Anita Beblek, Carsten Gutzler, Melanie Mechler, Uwe Mixdorf, André Ludwig, Thomas Beck, Michael Griesbaum und Tina Henzler (2013a): Regionales Energiekonzept für die Region Lausitz-Spreewald. Endbericht. Cottbus. <https://www.region-lausitz-spreewald.de/de/projekte/regionales-energiemanagement/regionales-energiekonzept/artikel-regionales-energiekonzept-lausitz-spreewald-2013.html>.
- Zschau, Burkhard, Anita Beblek, Carsten Gutzler, Melanie Mechler, Uwe Mixdorf, André Ludwig, und et al. (2013b): Regionales Energiekonzept Lausitz-Spreewald. Kurzfassung. Cottbus: Regionale Planungsgemeinschaft Lausitz-Spreewald. <https://www.region-lausitz-spreewald.de/de/projekte/regionales-energiekonzept.html> (Zugriff: 5. Mai 2021).
- ZSW und Bosch & Partner [Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, Bosch & Partner GmbH] (2019): Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichts gemäß § 97 Erneuerbare-Energien-Gesetz Teilvorhaben II c: Solare Strahlungsenergie. Abschlussbericht. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/bmwj_de/zsv-boschundpartner-vorbereitung-begleitung-eeg.pdf?__blob=publicationFile&v=7 (Zugriff: 25. November 2021).
- Zuber, Fabian und Alexandra Krumm (2020): Akzeptanz und lokale Teilhabe in der Energiewende. Handlungsempfehlungen für eine umfassende Akzeptanzpolitik. Impuls im Auftrag von Agora Energiewende. Berlin: Agora Energiewende. https://static.agora-energiawende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020_07_EE-Akzeptanz/182_A-EW_Akzeptanz-Energiewende_WEB.pdf (Zugriff: 25. Juli 2022).

6 Anhang

6.1 Weiterführende Daten zum Abschnitt 2.5 „Energetische Gebäudesanierung“

Bestand an Wohngebäuden in der Lausitz

Die folgenden Tabellen geben einen Überblick über den Bestand an Wohngebäuden der jeweiligen Gebäudetypen in der Lausitz differenziert nach Landkreisen und Baualtersklassen, einmal nach der Systematik des Zensus 2011 und darauf folgend nach der IWU-Gebäudetypologie (Loga et al. 2015). Die Tabellen für die freistehenden Ein- und Zweifamilienhäuser finden sich im Abschnitt 2.5.1.

Tab. 6-1: Bestand an TH-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen des Zensus 2011

Anzahl, TH: Ein- und Zweifamilienhäuser als Doppelhaushälften oder als Reihenhäuser, Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a)

| Baujahr(e) | Vor 1919 | 1919- 1948 | 1949- 1978 | 1979- 1986 | 1987- 1990 | 1991- 1995 | 1996- 2000 | 2001- 2004 | 2005- 2008 | 2009 und später |
|-------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 1.153 | 988 | 406 | 257 | 147 | 1.174 | 1.725 | 411 | 220 | 42 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 628 | 1.557 | 499 | 156 | 51 | 219 | 538 | 126 | 183 | 13 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 864 | 2.702 | 506 | 132 | 125 | 148 | 387 | 150 | 16 | 4 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 1.715 | 2.172 | 754 | 167 | 146 | 187 | 187 | 29 | 13 | 7 |
| Stadt Cottbus (BB) | 203 | 603 | 188 | 61 | 46 | 371 | 514 | 100 | 75 | 15 |
| LK Bautzen (SN) | 2.713 | 4.584 | 1.189 | 456 | 479 | 928 | 1.423 | 284 | 124 | 64 |
| LK Görlitz (SN) | 1.828 | 3.218 | 1.344 | 649 | 382 | 458 | 626 | 157 | 69 | 12 |
| Summe | 9.104 | 15.824 | 4.886 | 1.878 | 1.376 | 3.485 | 5.400 | 1.257 | 700 | 157 |

Tab. 6-2: Bestand an MFH-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen des Zensus 2011

Anzahl, MFH: Mehrfamilienhaus mit 3 bis 12 Wohnungseinheiten, Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a)

| Baujahr(e) | Vor 1919 | 1919- 1948 | 1949- 1978 | 1979- 1986 | 1987- 1990 | 1991- 1995 | 1996- 2000 | 2001- 2004 | 2005- 2008 | 2009 und später |
|-------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 791 | 625 | 968 | 365 | 106 | 352 | 584 | 85 | 43 | 37 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 805 | 829 | 1.308 | 345 | 79 | 70 | 206 | 51 | 21 | 6 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 575 | 744 | 2.332 | 351 | 247 | 74 | 142 | 30 | 26 | 7 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 791 | 611 | 1.218 | 310 | 134 | 92 | 117 | 30 | 3 | 11 |
| Stadt Cottbus (BB) | 605 | 487 | 1.404 | 206 | 119 | 89 | 203 | 41 | 52 | 13 |
| LK Bautzen (SN) | 3.070 | 1.846 | 3.757 | 534 | 479 | 385 | 607 | 106 | 66 | 27 |
| LK Görlitz (SN) | 4.864 | 1.888 | 2.746 | 1.022 | 268 | 229 | 483 | 91 | 52 | 15 |
| Summe | 11.501 | 7.030 | 13.733 | 3.133 | 1.432 | 1.291 | 2.342 | 434 | 263 | 116 |

Tab. 6-3: Bestand an AB-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen des Zensus 2011

Anzahl, AB: Mehrfamilienhaus mit 13 und mehr Wohnungseinheiten, Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a).

| Baujahr(e) | Vor 1919 | 1919-1948 | 1949-1978 | 1979-1986 | 1987-1990 | 1991-1995 | 1996-2000 | 2001-2004 | 2005-2008 | 2009 und später |
|-------------------------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 16 | 4 | 16 | 32 | 11 | 42 | 49 | - | - | - |
| LK Spree-Neiße (BB) | 6 | - | 25 | 28 | 25 | 9 | 22 | 3 | 3 | 3 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 3 | - | 156 | 38 | 43 | 3 | 19 | - | - | 3 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 3 | 3 | 10 | 7 | 18 | 4 | 7 | - | 3 | - |
| Stadt Cottbus (BB) | 9 | 4 | 135 | 68 | 49 | 23 | 9 | 6 | 3 | - |
| LK Bautzen (SN) | 36 | - | 167 | 92 | 76 | 30 | 57 | 6 | 3 | - |
| LK Görlitz (SN) | 209 | 50 | 146 | 175 | 35 | 21 | 22 | - | - | - |
| Summe | 282 | 61 | 655 | 440 | 257 | 132 | 185 | 15 | 12 | 6 |

Tab. 6-4: Bestand an TH-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie

Anzahl, TH: Ein- und Zweifamilienhäuser als Doppelhaushälften oder als Reihenhäuser, Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. (2015)

| Baujahr(e) | Vor 1859, 1860-1918 | 1919-1948 | 1949-1957, 1958-1968, 1969-1978 | 1979-1983 | 1984-1994 | 1995-2001 | 2002-2009 | 2010-2015 |
|-------------------------------|--------------------------------|------------------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 1.153 | 988 | 406 | 257 | 1.321 | 1.725 | 631 | 42 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 628 | 1.557 | 499 | 156 | 270 | 538 | 309 | 13 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 864 | 2.702 | 506 | 132 | 273 | 387 | 166 | 4 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 1.715 | 2.172 | 754 | 167 | 333 | 187 | 42 | 7 |
| Stadt Cottbus (BB) | 203 | 603 | 188 | 61 | 417 | 514 | 175 | 15 |
| LK Bautzen (SN) | 2.713 | 4.584 | 1.189 | 456 | 1.407 | 1.423 | 408 | 64 |
| LK Görlitz (SN) | 1.828 | 3.218 | 1.344 | 649 | 840 | 626 | 226 | 12 |
| Summe | 9.104 | 15.824 | 4.886 | 1.878 | 4.861 | 5.400 | 1.957 | 157 |

Tab. 6-5: Bestand an MFH-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie

Anzahl, MFH: Mehrfamilienhaus mit 3 bis 12 Wohnungseinheiten, Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. (2015)

| Baujahr(e) | Vor 1859, 1860-1918 | 1919-1948 | 1949-1957, 1958-1968, 1969-1978 | 1979-1983 | 1984-1994 | 1995-2001 | 2002-2009 | 2010-2015 |
|-------------------------------|--------------------------------|------------------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 791 | 625 | 968 | 365 | 458 | 584 | 128 | 37 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 805 | 829 | 1.308 | 345 | 149 | 206 | 72 | 6 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 575 | 744 | 2.332 | 351 | 321 | 142 | 56 | 7 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 791 | 611 | 1.218 | 310 | 226 | 117 | 33 | 11 |
| Stadt Cottbus (BB) | 605 | 487 | 1.404 | 206 | 208 | 203 | 93 | 13 |
| LK Bautzen (SN) | 3.070 | 1.846 | 3.757 | 534 | 864 | 607 | 172 | 27 |
| LK Görlitz (SN) | 4.864 | 1.888 | 2.746 | 1.022 | 497 | 483 | 143 | 15 |
| Summe | 11.501 | 7.030 | 13.733 | 3.133 | 2.723 | 2.342 | 697 | 116 |

Tab. 6-6: Bestand an AB-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie

Anzahl, AB: Mehrfamilienhaus mit 13 und mehr Wohnungseinheiten, Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. (2015)

| Baujahr(e) | Vor 1859, 1860-1918 | 1919-1948 | 1949-1957, 1958-1968, 1969-1978 | 1979-1983 | 1984-1994 | 1995-2001 | 2002-2009 | 2010-2015 |
|-------------------------------|------------------------|-----------|---------------------------------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 16 | 4 | 16 | 32 | 53 | 49 | - | - |
| LK Spree-Neiße (BB) | 6 | - | 25 | 28 | 34 | 22 | 6 | 3 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 3 | - | 156 | 38 | 46 | 19 | - | 3 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 3 | 3 | 10 | 7 | 22 | 7 | 3 | - |
| Stadt Cottbus (BB) | 9 | 4 | 135 | 68 | 72 | 9 | 9 | - |
| LK Bautzen (SN) | 36 | - | 167 | 92 | 106 | 57 | 9 | - |
| LK Görlitz (SN) | 209 | 50 | 146 | 175 | 56 | 22 | - | - |
| Summe | 282 | 61 | 655 | 440 | 389 | 185 | 27 | 6 |

Tab. 6-7: Durchschnittliche Wohnungsgrößen in SFH-Wohngebäuden im Bundesgebiet im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie

in m² Wohnfläche, SFH: Freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser, Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. .(2015)

| Baujahr(e) | Vor 1859, 1860-1918 | 1919-1948 | 1949-1957, 1958-1968, 1969-1978 | 1979-1983 | 1984-1994 | 1995-2001 | 2002-2009 | 2010-2015 |
|-------------------------------|------------------------|-----------|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 130 | 125 | 128 | 136 | 141 | 146 | 148 | 147 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 132 | 129 | 135 | 142 | 141 | 146 | 149 | 147 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 130 | 130 | 136 | 141 | 142 | 148 | 151 | 145 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 132 | 133 | 138 | 144 | 141 | 144 | 151 | 142 |
| Stadt Cottbus (BB) | 132 | 129 | 132 | 146 | 142 | 144 | 145 | 144 |
| LK Bautzen (SN) | 136 | 135 | 138 | 144 | 145 | 151 | 150 | 150 |
| LK Görlitz (SN) | 134 | 133 | 136 | 143 | 145 | 151 | 151 | 148 |

Tab. 6-8: Durchschnittliche Wohnungsgrößen in TH-Wohngebäuden im Bundesgebiet im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie

in m² Wohnfläche, TH: Ein- und Zweifamilienhäuser als Doppelhaushälften oder als Reihenhäuser, Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. (2015)

| Baujahr(e) | Vor 1859, 1860-1918 | 1919-1948 | 1949-1957, 1958-1968, 1969-1978 | 1979-1983 | 1984-1994 | 1995-2001 | 2002-2009 | 2010-2015 |
|-------------------------------|--------------------------------|------------------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 137 | 126 | 132 | 137 | 139 | 144 | 152 | 160 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 140 | 128 | 136 | 152 | 142 | 146 | 158 | 139 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 139 | 125 | 136 | 144 | 145 | 144 | 145 | 144 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 140 | 133 | 136 | 151 | 149 | 146 | 159 | 142 |
| Stadt Cottbus (BB) | 154 | 126 | 128 | 141 | 138 | 142 | 147 | 143 |
| LK Bautzen (SN) | 137 | 127 | 136 | 146 | 144 | 146 | 153 | 150 |
| LK Görlitz (SN) | 143 | 127 | 135 | 144 | 142 | 148 | 154 | 143 |

Tab. 6-9: Durchschnittliche Wohnungsgrößen in MFH-Wohngebäuden im Bundesgebiet im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologiein m² Wohnfläche, MFH: Mehrfamilienhaus mit 3 bis 12 Wohnungseinheiten, Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. (2015)

| Baujahr(e) | Vor 1859, 1860-1918 | 1919-1948 | 1949-1957, 1958-1968, 1969-1978 | 1979-1983 | 1984-1994 | 1995-2001 | 2002-2009 | 2010-2015 |
|-------------------------------|------------------------|-----------|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 380 | 330 | 481 | 666 | 475 | 483 | 490 | 482 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 393 | 356 | 412 | 745 | 486 | 473 | 422 | 335 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 342 | 320 | 499 | 609 | 487 | 445 | 490 | 580 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 339 | 313 | 457 | 533 | 489 | 414 | 426 | 310 |
| Stadt Cottbus (BB) | 421 | 382 | 622 | 656 | 561 | 535 | 648 | 551 |
| LK Bautzen (SN) | 350 | 335 | 501 | 514 | 512 | 411 | 441 | 439 |
| LK Görlitz (SN) | 404 | 371 | 491 | 659 | 571 | 416 | 426 | 458 |

Tab. 6-10: Durchschnittliche Wohnungsgrößen in AB-Wohngebäuden im Bundesgebiet im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie

in m² Wohnfläche, AB: Mehrfamilienhaus mit 13 und mehr Wohnungseinheiten, Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. (2015)

| Baujahr(e) | Vor 1859, 1860-1918 | 1919-1948 | 1949-1957, 1958-1968, 1969-1978 | 1979-1983 | 1984-1994 | 1995-2001 | 2002-2009 | 2010-2015 |
|-------------------------------|------------------------|-----------|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 1.520 | 1.341 | 973 | 1.146 | 1.144 | 1.792 | 0 | 0 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 1.582 | 0 | 1.545 | 2.735 | 1.837 | 1.119 | 594 | 1.268 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 2.014 | 0 | 1.094 | 1.226 | 1.239 | 1.316 | 0 | 1.048 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 2.094 | 689 | 1.218 | 1.111 | 1.089 | 1.283 | 712 | 0 |
| Stadt Cottbus (BB) | 1.576 | 1.028 | 1.939 | 1.981 | 1.552 | 1.520 | 1.913 | 0 |
| LK Bautzen (SN) | 1.099 | 0 | 1.466 | 1.246 | 1.285 | 1.160 | 1.562 | 0 |
| LK Görlitz (SN) | 1.066 | 940 | 1.052 | 1.115 | 971 | 1.033 | 0 | 0 |

Tab. 6-11: Wohnflächen in SFH-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie
in m² Wohnfläche, SFH: Freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser, Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. (2015)

| Baujahr(e) | Vor 1859, 1860-1918 | 1919-1948 | 1949-1957, 1958-1968, 1969-1978 | 1979-1983 | 1984-1994 | 1995-2001 | 2002-2009 | 2010-2015 |
|-------------------------------|--------------------------------|------------------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 636.123 | 1.104.544 | 602.806 | 329.344 | 464.907 | 621.279 | 726.001 | 119.659 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 527.089 | 700.318 | 493.680 | 237.340 | 414.038 | 523.648 | 303.112 | 31.805 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 492.984 | 646.152 | 412.911 | 154.921 | 227.011 | 287.474 | 184.290 | 22.490 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 682.608 | 785.226 | 627.502 | 288.478 | 261.359 | 215.310 | 156.116 | 17.638 |
| Stadt Cottbus (BB) | 102.782 | 216.214 | 119.469 | 64.421 | 142.518 | 207.972 | 195.080 | 21.036 |
| LK Bautzen (SN) | 1.740.690 | 1.372.325 | 952.509 | 523.307 | 829.530 | 795.857 | 516.277 | 93.355 |
| LK Görlitz (SN) | 1.942.659 | 1.035.024 | 823.870 | 451.325 | 667.054 | 569.983 | 277.236 | 48.791 |
| Summe | 6.124.935 | 5.859.804 | 4.032.747 | 2.049.135 | 3.006.417 | 3.221.522 | 2.358.113 | 354.773 |

Tab. 6-12: Wohnflächen in TH-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie
in m² Wohnfläche, TH: Ein- und Zweifamilienhäuser als Doppelhaushälften oder als Reihenhäuser, Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. (2015)

| Baujahr(e) | Vor 1859, 1860-1918 | 1919-1948 | 1949-1957, 1958-1968, 1969-1978 | 1979-1983 | 1984-1994 | 1995-2001 | 2002-2009 | 2010-2015 |
|-------------------------------|--------------------------------|------------------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 149.629 | 118.328 | 51.108 | 34.338 | 179.828 | 242.806 | 93.071 | 6.480 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 82.615 | 189.737 | 66.303 | 23.239 | 38.214 | 76.808 | 48.084 | 1.684 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 113.520 | 323.562 | 66.710 | 18.361 | 38.868 | 54.682 | 23.756 | 563 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 223.770 | 274.317 | 98.590 | 24.458 | 47.686 | 26.717 | 6.567 | 994 |
| Stadt Cottbus (BB) | 29.785 | 72.769 | 23.282 | 8.350 | 54.041 | 71.442 | 25.441 | 1.470 |
| LK Bautzen (SN) | 344.124 | 550.814 | 152.998 | 64.786 | 196.736 | 201.939 | 61.467 | 8.925 |
| LK Görlitz (SN) | 235.627 | 381.839 | 171.249 | 90.963 | 115.653 | 89.479 | 33.762 | 1.591 |
| Summe | 1.179.070 | 1.911.365 | 630.240 | 264.495 | 671.027 | 763.872 | 292.148 | 21.707 |

Tab. 6-13: Wohnflächen in MFH-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie
in m² Wohnfläche, MFH: Mehrfamilienhaus mit 3 bis 12 Wohnungseinheiten, Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. (2015)

| Baujahr(e) | Vor 1859, 1860-1918 | 1919-1948 | 1949-1957, 1958-1968, 1969-1978 | 1979-1983 | 1984-1994 | 1995-2001 | 2002-2009 | 2010-2015 |
|-------------------------------|--------------------------------|------------------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 269.123 | 191.524 | 437.219 | 208.676 | 193.478 | 276.424 | 58.601 | 16.176 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 241.289 | 250.344 | 466.147 | 215.571 | 65.388 | 93.443 | 29.099 | 1.818 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 171.233 | 212.320 | 1.052.270 | 188.364 | 146.623 | 60.792 | 24.915 | 3.383 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 220.981 | 162.913 | 500.148 | 146.369 | 99.567 | 45.041 | 16.067 | 2.996 |
| Stadt Cottbus (BB) | 226.764 | 159.717 | 833.082 | 116.996 | 100.651 | 106.006 | 58.952 | 7.157 |
| LK Bautzen (SN) | 913.560 | 534.752 | 1.781.142 | 251.471 | 399.634 | 238.307 | 70.418 | 10.618 |
| LK Görlitz (SN) | 1.467.527 | 550.476 | 1.219.511 | 575.404 | 247.679 | 187.676 | 56.717 | 5.668 |
| Summe | 3.510.477 | 2.062.046 | 6.289.519 | 1.702.851 | 1.253.018 | 1.007.688 | 314.770 | 47.815 |

Tab. 6-14: Wohnflächen in AB-Wohngebäuden in der Lausitz im Jahr 2011 nach Baualtersklassen der IWU-Gebäudetypologie
in m² Wohnfläche, AB: Mehrfamilienhaus mit 13 und mehr Wohnungseinheiten, Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. (2015)

| Baujahr(e) | Vor 1859, 1860-1918 | 1919-1948 | 1949-1957, 1958-1968, 1969-1978 | 1979-1983 | 1984-1994 | 1995-2001 | 2002-2009 | 2010-2015 |
|-------------------------------|--------------------------------|------------------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 22.593 | 4.444 | 14.970 | 34.844 | 55.571 | 84.844 | 0 | 0 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 6.839 | 0 | 31.495 | 59.914 | 61.233 | 23.177 | 3.520 | 3.803 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 4.609 | 0 | 155.111 | 40.094 | 37.990 | 24.475 | 0 | 3.143 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 6.283 | 1.538 | 8.996 | 6.542 | 21.610 | 8.549 | 4.272 | 0 |
| Stadt Cottbus (BB) | 13.961 | 3.806 | 250.458 | 131.713 | 98.167 | 13.323 | 15.401 | 0 |
| LK Bautzen (SN) | 33.364 | 0 | 216.364 | 107.153 | 120.660 | 64.546 | 12.492 | 0 |
| LK Görlitz (SN) | 178.802 | 35.568 | 133.776 | 160.630 | 45.134 | 20.872 | 0 | 0 |
| Summe | 266.451 | 45.355 | 811.169 | 540.891 | 440.366 | 239.785 | 35.684 | 6.946 |

Tab. 6-15: beheizte Wohnfläche und wohnflächenspezifische Gebäudebauteilflächen in TH-Gebäuden
in m² beheizter Wohnfläche (BWF) bzw. m² pro m² BWF, Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. (2015)

| Baujahr(e) | Vor 1859, 1860-1918 | 1919-1948 | 1949-1957, 1958-1968, 1969-1978 | 1979-1983 | 1984-1994 | 1995-2001 | 2002-2009 | 2010-2015 |
|---|---------------------------------------|------------------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Beheizte Wohnfläche (BWF) (m ²) | 96,00 | 113,00 | 124,33 | 108,00 | 128,00 | 149,00 | 152,00 | 196,00 |
| Gebäudebauteile: | (m ² / m ² BWF) | | | | | | | |
| Dach | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,91 | 0,51 | 0,52 | 0,60 | 0,39 |
| Oberer Gebäudeabschluss | 0,63 | 0,44 | 0,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Außenwand | 0,77 | 0,57 | 0,58 | 0,50 | 0,40 | 0,30 | 0,93 | 0,70 |
| Unterer Gebäudeabschluss | 0,63 | 0,44 | 0,50 | 0,68 | 0,44 | 0,00 | 0,47 | 0,00 |
| Fensterfläche | 0,19 | 0,19 | 0,22 | 0,19 | 0,15 | 0,15 | 0,24 | 0,13 |

Tab. 6-16: beheizte Wohnfläche und wohnflächenspezifische Gebäudebauteilflächen in MFH-Gebäuden
in m² beheizter Wohnfläche (BWF) bzw. m² pro m² BWF, Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. (2015)

| Baujahr(e) | Vor 1859, 1860-1918 | 1919-1948 | 1949-1957, 1958-1968, 1969-1978 | 1979-1983 | 1984-1994 | 1995-2001 | 2002-2009 | 2010-2015 |
|---|---------------------------------------|-----------|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Beheizte Wohnfläche (BWF) (m ²) | 494,50 | 385,00 | 1.410,00 | 654,00 | 778,00 | 835,00 | 2.190,00 | 1.305,00 |
| Gebäudebauteile: | (m ² / m ² BWF) | | | | | | | |
| Dach | 0,37 | 0,41 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,26 | 0,25 |
| Oberer Gebäudeabschluss | 0,00 | 0,08 | 0,44 | 0,38 | 0,32 | 0,34 | 0,00 | 0,00 |
| Außenwand | 0,79 | 0,84 | 0,70 | 0,68 | 1,00 | 0,83 | 0,78 | 0,91 |
| Unterer Gebäudeabschluss | 0,26 | 0,33 | 0,44 | 0,38 | 0,32 | 0,34 | 0,28 | 0,00 |
| Fensterfläche | 0,17 | 0,18 | 0,16 | 0,15 | 0,21 | 0,20 | 0,14 | 0,19 |

Tab. 6-17: beheizte Wohnfläche und wohnflächenspezifische Gebäudebauteilflächen in AB-Gebäuden
in m² beheizter Wohnfläche (BWF) bzw. m² pro m² BWF, Quelle: Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. (2015)

| Baujahr(e) | Vor 1859, 1860-1918 | 1919-1948 | 1949-1957, 1958-1968, 1969-1978 | 1979-1983 | 1984-1994 | 1995-2001 | 2002-2009 | 2010-2015 |
|---|---------------------------------------|------------------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Beheizte Wohnfläche (BWF) (m ²) | 829,00 | 1.484,00 | 2.937,33 | 3.322,00 | 3.322,00 | 3.322,00 | 3.322,00 | 3.322,00 |
| Gebäudebauteile: | (m ² / m ² BWF) | | | | | | | |
| Dach | 0,28 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Oberer Gebäudeabschluss | 0,00 | 0,26 | 0,17 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 |
| Außenwand | 0,37 | 0,84 | 0,78 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,64 |
| Unterer Gebäudeabschluss | 0,20 | 0,27 | 0,17 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 |
| Fensterfläche | 0,16 | 0,19 | 0,17 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 |

Tab. 6-18: Gesamte Flächen der obersten Geschosdecke als Teil der Gebäudehülle im Gebäudebestand nach Landkreisen und Gebäudetypen aufsummiert über alle Baualterklassen

in m² Bauteilfläche, Quelle: eigene Berechnungen auf Basis von Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. (2015).

| Gebäudetyp | SFH | TH | MFH | AB | Summe |
|-------------------------------|------------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 0 | 171.576 | 445.014 | 32.168 | 616.590 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 0 | 168.932 | 362.004 | 29.972 | 530.936 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 0 | 247.666 | 624.289 | 43.390 | 871.955 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 0 | 310.815 | 338.326 | 8.578 | 649.141 |
| Stadt Cottbus (BB) | 0 | 62.522 | 496.137 | 85.339 | 558.659 |
| LK Bautzen (SN) | 0 | 535.740 | 1.139.814 | 86.111 | 1.675.554 |
| LK Görlitz (SN) | 0 | 402.340 | 948.191 | 68.646 | 1.350.530 |
| Summe | 0 | 1.899.590 | 4.353.774 | 354.204 | 6.253.364 |

Tab. 6-19: Gesamte Außenwandflächen als Teil der Gebäudehülle im Gebäudebestand nach Landkreisen und Gebäudetypen aufsummiert über alle Baualtersklassen

in m² Bauteilfläche, Quelle: eigene Berechnungen auf Basis von Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. (2015).

| Gebäudetyp | SFH | TH | MFH | AB | Summe |
|-------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 4.815.059 | 465.239 | 1.304.929 | 136.062 | 6.585.227 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 3.374.522 | 305.683 | 1.041.356 | 124.265 | 4.721.560 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 2.474.545 | 373.319 | 1.397.615 | 190.207 | 4.245.478 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 3.047.900 | 431.499 | 912.959 | 36.875 | 4.392.357 |
| Stadt Cottbus (BB) | 1.148.364 | 149.683 | 1.216.648 | 369.093 | 2.514.695 |
| LK Bautzen (SN) | 7.121.372 | 901.614 | 3.248.295 | 376.155 | 11.271.281 |
| LK Görlitz (SN) | 6.058.111 | 648.888 | 3.317.300 | 345.043 | 10.024.300 |
| Summe | 28.039.873 | 3.275.926 | 12.439.101 | 1.577.700 | 43.754.900 |

Tab. 6-20: Gesamte Flächen des unteren Gebäudeabschlusses (unterkellert) als Teil der Gebäudehülle im Gebäudebestand nach Landkreisen und Gebäudetypen aufsummiert über alle Baualterklassen

in m² Bauteilfläche, Quelle: eigene Berechnungen auf Basis von Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. (2015).

| Gebäudetyp | SFH | TH | MFH | AB | Summe |
|-------------------------------|-------------------|------------------|------------------|----------------|-------------------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 2.208.949 | 316.935 | 578.629 | 36.646 | 3.104.512 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 1.568.104 | 223.818 | 494.769 | 31.268 | 2.286.691 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 1.131.210 | 288.178 | 728.357 | 44.022 | 2.147.745 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 1.372.731 | 351.277 | 440.374 | 9.817 | 2.164.382 |
| Stadt Cottbus (BB) | 543.866 | 103.693 | 611.018 | 87.680 | 1.258.576 |
| LK Bautzen (SN) | 3.008.329 | 694.314 | 1.528.225 | 92.322 | 5.230.868 |
| LK Görlitz (SN) | 2.400.728 | 530.193 | 1.479.226 | 104.065 | 4.410.147 |
| Summe | 12.233.916 | 2.508.407 | 5.860.598 | 405.821 | 20.602.921 |

Tab. 6-21: Gesamte Flächen Fenster als Teil der Gebäudehülle im Gebäudebestand nach Landkreisen und Gebäudetypen aufsummiert über alle Baualtersklassen
in m² Bauteilfläche, Quelle: eigene Berechnungen auf Basis von Statistisches Bundesamt (2013a) und Loga et al. ...

| Gebäudetyp | SFH | TH | MFH | AB | Summe |
|-------------------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| LK Dahme-Spreewald (BB) | 860.134 | 153.023 | 288.372 | 35.913 | 1.301.529 |
| LK Spree-Neiße (BB) | 606.367 | 98.071 | 231.319 | 31.511 | 935.757 |
| LK Oberspreewald-Lausitz (BB) | 442.126 | 118.822 | 314.733 | 45.233 | 875.682 |
| LK Elbe-Elster (BB) | 533.037 | 131.551 | 202.933 | 9.616 | 867.520,9 |
| Stadt Cottbus (BB) | 208.033 | 50.512 | 272.342 | 89.248 | 530.886 |
| LK Bautzen (SN) | 1.229.717 | 286.930 | 720.820 | 93.338 | 2.237.467 |
| LK Görlitz (SN) | 1.019.620 | 207.700 | 728.292 | 96.604 | 1.955.611 |
| Summe | 4.899.033 | 1.046.609 | 2.758.810 | 401.463 | 8.704.452 |

6.2 Vorgehensweise der Bestandsaufnahme der Energiewendewirtschaft

Ziel der Bestandsaufnahme der Energiewendewirtschaft in der Lausitz für das Basisjahr 2018 war es, ein möglichst vollständiges Bild zu den Herstellern von Anlagen und Komponenten sowie Dienstleistern zu bekommen, die ganz oder anteilig im Bereich der Energiewendewirtschaft tätig sind. Der Fokus lag auch dabei auf den ausgewählten EE-Technologien. Unternehmen, die dem regionalen Handwerk zugerechnet werden können, wurden bei der Analyse nicht vertieft betrachtet, da davon auszugehen ist, dass für diese Technologien und Leistungsbereiche Kompetenzen in der Lausitz vorhanden sind. Zum anderen ist die Zahl der Handwerksunternehmen groß und es schien somit sinnvoll, die Auswertung der Unternehmenslandschaft auf die Betriebe zu konzentrieren, bei denen das größte Wissensdefizit mit Blick auf die Energiewendeaktivitäten bestand. Die Erfassung des Status quo der Energiewendewirtschaft konzentrierte sich somit auf die Technologien Windenergie, Photovoltaik und Bioenergie. Eine einfache Erfassung der Unternehmen über die amtlichen Statistiken ist nur sehr eingeschränkt möglich. Denn gemäß der aktuellen Wirtschaftszweigklassifikation WZ 2008 umfasst der Abschnitt „D Energieversorgung“ sowohl neben

mit erneuerbaren Energieträgern betriebene Kraftwerke auch fossilthermische und nukleare Kraftwerke. Zudem liefert die Statistik keine Informationen über Hersteller von Energiewendetechnologien bzw. Komponenten davon. Auch Dienstleister, welche Anlagen planen, installieren und warten, werden nicht erfasst. Aus diesem Grund musste eine Vorgehensweise entwickelt werden, um auf Basis der verfügbaren Statistiken und weiterer Informationen die energiewendebezogenen Aktivitäten bei ausgewählten EE-Technologien möglichst gut abzubilden.

Ausgangspunkt war ein Datensatz der Markusdatenbank vom Jahr 2018 für die Lausitzer Landkreise (Bautzen; Görlitz; Dahme-Spreewald; Elbe-Elster; Oberspreewald-Lausitz; Spree-Neiße) und die Stadt Cottbus mit 14.816 Unternehmen (Markusdatenbank 2019). Dieser enthält eine Vielzahl brandenburgischer und sächsischer Unternehmen, Vereine sowie Gesellschaften mit – unter anderem - Angaben zum Standort, der Rechtsform, der Unternehmensgröße, den Haupt- und Nebentätigkeiten gemäß WZ 2008, Beschreibungen der Tätigkeitsbereiche, sowie Kennzahlen zum Umsatz und zur Zahl der Mitarbeitenden. Dadurch wird eine Bestandsaufnahme der Lausitzer Unternehmenslandschaft ermöglicht.

Um die Unternehmen (Hersteller und Dienstleister) im Bereich der Energiewendewirtschaft zu identifizieren, wurde nach folgenden Schritten vorgegangen:

- Reduktion des Datensatzes auf relevante Wirtschaftszweige
- Filterung des verbleibenden Datensatzes mittels Schlagworten
- Konzentration auf Hersteller und Dienstleister
- Abgleich Datensatz mit Liste bekannter Unternehmen im Bereich Energiewende
- Einzelfallprüfung von Unternehmen
 - großer und mittlerer Unternehmen
 - kleinen und Kleinstunternehmen
- Erfassung relevanter Kennzahlen und Informationen zu den Unternehmen

Schritt 1) Reduktion des Datensatzes auf relevante Wirtschaftszweige

In einem ersten Schritt wurden mittels der Klassifikation der Wirtschaftszweige (Ausgabe 2008) für den Bereich der Energiewendewirtschaft relevante Gruppen (dritte Ebene) bestimmt. Die Gruppen der Wirtschaftszweigklassifikation WZ 2008 sind identisch mit der statistischen Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft (NACE). Mittels dieser Gruppen wurde anschließend der gesamte Markus-Creditreform-Datensatz für die Lausitz auf Unternehmen reduziert, die diesen Gruppen (übereinstimmende WZ-Codes in Haupt- und Nebentätigkeit) zugeordnet sind. Nach diesem Schritt umfasst der Datensatz 3.092 Unternehmen in den sächsischen und brandenburgischen Landkreisen der Lausitz und der Stadt Cottbus. Angesichts dessen, dass dieser Datensatz immer noch eine große Zahl an Unternehmen enthält, die nicht im Bereich der Energiewende tätig sind, für eine Überprüfung der einzelnen Einträge bezüglich ihrer Relevanz jedoch zu groß war, musste eine Möglichkeit gefunden werden, um aus dem Datensatz diejenigen Unternehmen herauszufiltern, die nicht nur in den relevanten Wirtschaftsbereichen tätig sind, sondern auch eine Wertschöpfung im Bereich der Energiewendewirtschaft erbringen.

Schritt 2) Filterung des verbleibenden Datensatzes mittels Schlagworten

Für die Filterung des verbleibenden Datensatzes mit wurde zunächst eine Vielzahl von Schlagwörtern aus dem Bereich der Energiewende und Kraftwerkstechnik zusammengestellt. Grundlage wa-

ren die Bezeichnung der Komponenten und Wertschöpfungsschritte bei den einzelnen EE-Technologien im WeBEE-Modell des IÖW sowie die Technologieberichte im strategischen Leitprojekt „Trends und Perspektiven der Energieforschung“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). Bei den Begriffen wurde dann zunächst eine manuelle Überprüfung des Trefferbildes einzelner Suchbegriffe durchgeführt, um stichprobenartig die Quantität und Qualität der einzelnen Treffer einzuschätzen. Mit einer konsolidierten Schlagwortliste erfolgte dann die weitere Filterung des Unternehmensdatensatzes mittels Suche nach den Schlagwörtern in den Haupt- und Nebentätigkeitsbeschreibungen der einzelnen Unternehmen, welche in einem Datensatz mit insgesamt 1.743 Unternehmen resultierte. Die Eingrenzung mittels Schlagworten birgt eine gewisse Unsicherheit, dass einzelne, relevante Unternehmen der Energiewendewirtschaft nicht erfasst bzw. Unternehmen ohne Energiewendebezug aufgenommen wurden.

Schritt 3) Konzentration auf Hersteller und Dienstleister

Da für die Betrachtung im Forschungsvorhaben nur Hersteller und Dienstleister von Relevanz sind, wurden andere Akteure (u. a. Betreibergesellschaften von EE-Anlagen) über eine Filterung nach Rechtsformen und eine manuelle Überprüfung der Unternehmenstätigkeit aus dem Datensatz entfernt. Dadurch reduzierte sich der Datensatz auf 1.612 Unternehmen.

Schritt 4) Abgleich Datensatz mit Liste bekannter Unternehmen im Bereich der Energiewende

Im nächsten Schritt erfolgte ein Abgleich des Datensatzes mit bereits vorliegenden Informationen zu Energiewende-Unternehmen. Dies waren u. a. bei Industrie- und Handelskammern, Energieagenturen oder Ministerien verfügbare Veröffentlichungen, frühere Arbeiten im Projekt „Erneuerbare Energievorhaben in Tagebauregionen (Richwien et al. 2018), die Transferstelle der BTU und eigene Recherchen zu Unternehmen in ausgewählten Energiewendebereichen.

Schritt 5) Einzelfallprüfung von Unternehmen

Im weiteren Verlauf galt es nun, die Unternehmen im Einzelnen zu betrachten und zu bewerten, in welchem Maße die einzelnen Unternehmen im Bereich der Energiewende tätig sind. Mit den vorgenannten Schritten wurden der Datensatz der Hersteller und Dienstleister soweit wie möglich mittels Filterung nach Gruppen (der Klassifikation der Wirtschaftszweige) und nach relevanten Schlagworten reduziert. Damit erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass die noch im Datensatz enthaltenen Unternehmen im Bereich Energiewende aktiv sind, sicher gegeben ist dieser Zusammenhang jedoch nicht. Aus diesem Grund muss im Prinzip eine Einzelfallprüfung der Einträge dahingehend stattfinden, ob die Unternehmen Produkte oder Dienstleistungen im Spektrum der Energiewendetechnologien anbieten. Da die Gesamtzahl der Einträge immer noch sehr hoch war, musste auch hier ein pragmatisches Vorgehen gewählt werden. Sinnvoll erschien eine unterschiedlich differenzierte Betrachtung nach Größenklassen der Unternehmen. Für große bis mittlere Unternehmen (Unternehmen mit mehr als 50 Mitarbeitenden) sowie kleine Unternehmen (10 bis 49 Mitarbeitende) und Kleinstunternehmen (bis 9 Mitarbeitende) wurde entsprechend ein unterschiedliches Vorgehen gewählt, das im Folgenden näher beschrieben wird.

Für die Gruppe der mittleren und großen Unternehmen (ab 50 Mitarbeitende) mit insgesamt 136 Einträgen, erfolgte zunächst über Webseiten und ggf. Veröffentlichungen eine erste Überblicksrecherche, indem die verschiedenen Geschäftsfelder und bisherigen Referenzprojekte der jeweiligen Unternehmen ausgewertet wurden. Stellte sich bei dieser Recherche heraus, dass sich die Handlungsfelder des jeweiligen Unternehmens im Energiewendebereich wiederfinden, wurde Schritt 6 angewendet. Unternehmen, die mit ihren derzeitigen oder konkret geplanten zukünftigen

Aktivitäten nicht der Energiewendewirtschaft zugeordnet werden konnten, wurden aus dem Datensatz entfernt.

Durch die große Zahl der Kleinstunternehmen (1-9 MA) und Kleinunternehmen (10-49 MA) war eine Überprüfung der einzelnen Unternehmen nicht möglich, gleichzeitig ist in dieser Gruppe der Unternehmen auch eine große Zahl an Handwerksbetrieben vertreten. Deren Beteiligung an den zukünftigen Energiewendeaktivitäten kann mit Hilfe von Annahmen auf Basis von Erkenntnissen aus früheren Regionalstudien abgeschätzt werden. Aus den vorgenannten Gründen musste folglich für die Klein- und Kleinstunternehmen eine Vorgehensweise gefunden werden, die angesichts der Größe des Datensatzes handhabbar ist und gleichzeitig sicherstellt, dass Unternehmen mit explizitem Schwerpunkt im Bereich Energiewende, die nicht dem Handwerk zuzuordnen sind, identifiziert werden können. Dabei orientierte sich das Vorgehen an der Haupttätigkeit der Unternehmen, da nur hier eine ausführlichere Tätigkeitsbeschreibung vorhanden ist. Eine Nichtberücksichtigung der Nebentätigkeiten ist angesichts der geringen Zahl an Beschäftigten und dem geringen Umsatz, den die Klein- und Kleinstunternehmen hier voraussichtlich haben, vertretbar. Zunächst wurden Haupttätigkeiten identifiziert, die für die Energiewendewirtschaft nicht oder nur mit geringer Wahrscheinlichkeit eine Relevanz haben und die dem regionalen Handwerk oder dem Handel zuzuordnen sind. Die entsprechenden Unternehmen wurden aus dem Datensatz entfernt und dieser letztlich auf Betriebe reduziert werden, die mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Relevanz bezüglich der Energiewende haben.

Schritt 6: Einzelfallprüfung und Erfassung relevanter Kennzahlen und Informationen zu den Unternehmen

Für die Unternehmen, die ganz oder anteilig im Bereich der Energiewendewirtschaft tätig sind, mussten ergänzend zu den in der Markus-Creditreform-Datenbank enthaltenen Kennzahlen weitere Informationen ergänzt werden. Dies umfasst die Zuordnung zu Technologien, Wertschöpfungsstufen und -schritten sowie die Abschätzung, welcher Anteil des Umsatzes und der Mitarbeitenden dem Bereich Energiewende bzw. den einzelnen Technologien zuzuordnen ist. Aufbauend auf den ersten Überblickrecherchen (Schritt 5) erfolgte eine genauere Recherche zu den Geschäftsfeldern und Leistungskennzahlen der Unternehmen (Umsatz, Mitarbeiterzahl) mit Blick auf den Bereich Energiewende. Neben dem Internetauftritt und Veröffentlichungen der Unternehmen selbst wurden Jahresabschlüsse (u. a. abgerufen über den Bundesanzeiger (BMJ 2022) und Medienberichte ausgewertet aber auch auf Vorarbeiten (siehe Richwien et al. 2018) aufgebaut. Die Geschäftsfelder der jeweiligen Unternehmen wurden somit genauer betrachtet und die wesentlichen Technologiebereiche sowie Wertschöpfungsstufen und -schritte im Bereich der Energiewende detailliert aufgeschlüsselt. Im Kontext des gesamten Unternehmensportfolios konnte dadurch eine Einschätzung vorgenommen werden, wie hoch der Anteil der Wertschöpfung im Bereich der Energiewende am Gesamtumsatz des Unternehmens ist und wie viele Mitarbeiter in diesen Wertschöpfungsprozessen eingebunden sind. Dabei wurde das gesamte Leistungssegment betrachtet und in Haupt- und Nebengeschäftsfeldern eingeordnet sowie individuell nach Umsatzanteilen gewichtet. Trotz der detaillierten Prüfung und Recherche ist die Einschätzung des Anteils der Unternehmensaktivitäten im Bereich Energiewende bei Mischunternehmen mit Unsicherheiten behaftet. Mischunternehmen bieten nicht ausschließlich Produkte und Dienstleistungen im Bereich Energiewendewirtschaft an, sondern bspw. auch im Bereich der konventionellen Energieerzeugung.

Tab. 6-22: Bewertungsschema zur Abschätzung des Anteils der Energiewendeaktivitäten am Umsatz und den Beschäftigten bei Mischunternehmen

| Einschätzung bzgl. Leistungsportfolio / Geschäftsfeldern | Einschätzung bzgl. Referenzen / bisherigen Projekten | Geschätzter Anteil am Umsatz / den Beschäftigten |
|---|---|---|
| Portfolio nur zu einem sehr geringen Teil auf Energiewende ausgerichtet; Energiewendetätigkeiten sind nur kleine Nebengeschäftsfelder | Bisherige Projekte nach Umfang und/oder Anzahl nur zu einem sehr geringen Teil im Bereich Energiewende bzw. generieren kaum Umsatz | 1 % bis 25 % |
| Portfolio nur zu einem kleinen Teil auf Energiewende ausgerichtet; Energiewendetätigkeiten sind Nebengeschäftsfelder | Bisherige Projekte nach Umfang und/oder Anzahl zum größten Teil in anderen Bereichen bzw. Umsatz im Bereich Energiewende eher gering | 26 % bis 49 % |
| Portfolio zwischen Energiewende und anderen Bereichen hält sich die Waage | Bisherige Projekte halten sich die Waage zwischen Energiewende und anderen Bereichen | 50 % |
| Portfolio zum überwiegenden Teil auf Energiewende ausgerichtet; andere Bereiche sind nur Nebengeschäftsfelder | Bisherige Projekte nach Umfang und/oder Anzahl zum überwiegenden Teil im Bereich Energiewende bzw. generieren hohen Anteil des Umsatzes | 51 % bis 74 % |
| Portfolio zum größten Teil auf Energiewende ausgerichtet; andere Bereiche sind nur kleine Nebengeschäftsfelder | Bisherige Projekte nach Umfang und/oder Anzahl zum größten Teil im Bereich Energiewende bzw. generieren überwiegenden Anteil des Umsatzes | 75 % bis 99 % |
| Gesamtes Portfolio auf Energiewende ausgerichtet | Bisherige Projekte ausschließlich im Bereich Energiewende | 100 % |

6.3 Annahmen zur regionalen Ansässigkeit zur Berechnung regionalökonomischer Effekte

In den nachfolgenden Tabellen sind die Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Akteuren entlang der EE-Wertschöpfungsketten detailliert für die einzelnen Wertschöpfungsschritte und die beiden Szenarien dargestellt.

Tab. 6-23: Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern bei der Wertschöpfungskette (WSK) Wind Onshore

| Wertschöpfungsschritt | Szenario Current Policies | Szenario Klimaneutral 2045 |
|--|---------------------------|----------------------------|
| Planung & Projektierung | 40 % | 50 % |
| Fundament | 90 % | 90 % |
| Erschließung | 90 % | 90 % |
| Netzanschluss | 5 % | 10 % |
| Ausgleichsmaßnahmen | 50 % | 50 % |
| Wartungsdienstleister | 0 % | 0 % |
| Versicherung | 0 % | 0 % |
| Pachtzahlungen | 90 % | 90 % |
| Finanzierung durch Fremdkapital | 10 % | 30 % |
| Kaufmännische und technische Betriebsführung | 5 % | 10 % |
| Betreiber-gesellschaft | 50 % | 90 % |
| Eigenkapitalgeberinnen und -Geber | 5 % | 50 % |

Tab. 6-24: Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern bei der WSK PV-Freiflächenanlagen

| Wertschöpfungsschritt | Szenario Current Policies | Szenario Klima- neutral 2045 |
|--|--------------------------------------|---|
| Planung & Projektierung | 80 % | 50 % |
| Montage | 35 % | 25 % |
| Infrastruktur / Erschließung | 100 % | 100 % |
| Netzanschluss | 15 % | 10 % |
| Wartungsdienstleister | 5 % | 10 % |
| Versicherung | 0 % | 0 % |
| Pachtzahlungen | 90 % | 90 % |
| Finanzierung durch Fremdkapital | 10 % | 30 % |
| Kaufmännische und technische Betriebsführung | 30 % | 45 % |
| Betreibergesellschaft | 50 % | 90 % |
| Eigenkapitalgeberinnen und -Geber | 5 % | 50 % |

Tab. 6-25: Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern bei der WSK PV-Dachanlagen bis 10 kWp

| Wertschöpfungsschritt | Szenario Current Policies | Szenario Klima- neutral 2045 |
|-----------------------------------|--------------------------------------|---|
| Handel mit Anlagenkomponenten | 80 % | 45 % |
| Planung, Montage, Netzanschluss | 100 % | 100 % |
| Wartungsdienstleister | 100 % | 100 % |
| Versicherung | 10 % | 10 % |
| Finanzierung durch Fremdkapital | 90 % | 90 % |
| Betreibergesellschaft | 100 % | 100 % |
| Eigenkapitalgeberinnen und -Geber | 100 % | 100 % |

Tab. 6-26: Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern bei der WSK PV-Dachanlagen > 10 kWp bis 300 kWp

| Wertschöpfungsschritt | Szenario Current Policies | Szenario Klimaneutral 2045 |
|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Handel mit Anlagenkomponenten | 80 % | 45 % |
| Planung, Montage, Netzanschluss | 100 % | 100 % |
| Wartungsdienstleister | 100 % | 100 % |
| Versicherung | 10 % | 10 % |
| Pachtzahlungen | 90 % | 90 % |
| Finanzierung durch Fremdkapital | 80 % | 90 % |
| Betreiber-gesellschaft | 90 % | 95 % |
| Eigenkapitalgeberinnen und -Geber | 80 % | 90 % |

Tab. 6-27: Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern bei der WSK PV-Dachanlagen > 300 kWp

| Wertschöpfungsschritt | Szenario Current Policies | Szenario Klimaneutral 2045 |
|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Planung | 80 % | 50 % |
| Montage | 35 % | 30 % |
| Netzanschluss | 50 % | 50 % |
| Wartungsdienstleister | 35 % | 30 % |
| Versicherung | 10 % | 10 % |
| Pachtzahlungen | 90 % | 90 % |
| Finanzierung durch Fremdkapital | 80 % | 90 % |
| Betreiber-gesellschaft | 90 % | 95 % |
| Eigenkapitalgeberinnen und -Geber | 80 % | 90 % |

Tab. 6-28: Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern für WSK Biogas (Vor-Ort-Verstromung) bis 150 kW_{el}

| Wertschöpfungsschritt | Szenario Current Policies | Szenario Klimaneutral 2045 |
|-----------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Planung | 0 % | 0 % |
| Montage | 0 % | 0 % |
| Netzanschluss | 0 % | 0 % |
| Betriebsstoffe Strom / weitere | 30 % / 100 % | 30 % / 100 % |
| Wartungsdienstleister | 30 % | 30 % |
| Laboranalysen | 50 % | 50 % |
| Versicherung | 10 % | 10 % |
| Finanzierung durch Fremdkapital | 50 % | 50 % |
| Personal Anlagenbetrieb | 100 % | 100 % |
| Betreiber-gesellschaft | 100 % | 100 % |
| Eigenkapitalgeberinnen und -Geber | 100 % | 100 % |

Tab. 6-29: Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern für WSK Biogas (Vor-Ort-Verstromung) > 150 kW_{el} - 750 kW_{el}

| Wertschöpfungsschritt | Szenario Current Policies | Szenario Klimaneutral 2045 |
|-----------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Planung | 0 % | 0 % |
| Montage | 0 % | 0 % |
| Netzanschluss | 0 % | 0 % |
| Betriebsstoffe Strom / weitere | 30 % / 100 % | 30 % / 100 % |
| Wartungsdienstleister | 30 % | 30 % |
| Laboranalysen | 50 % | 50 % |
| Versicherung | 10 % | 10 % |
| Finanzierung durch Fremdkapital | 50 % | 50 % |
| Personal Anlagenbetrieb | 100 % | 100 % |
| Betreiber-gesellschaft | 90 % | 90 % |
| Eigenkapitalgeberinnen und -Geber | 80 % | 80 % |

Tab. 6-30: Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern für WSK Biogas (Vor-Ort-Verstromung) > 750 kW_{el}

| Wertschöpfungsschritt | Szenario Current Policies | Szenario Klima- neutral 2045 |
|-----------------------------------|--------------------------------------|---|
| Planung | 0 % | 0 % |
| Montage | 0 % | 0 % |
| Netzanschluss | 0 % | 0 % |
| Betriebsstoffe Strom / weitere | 30 % / 100 % | 30 % / 100 % |
| Wartungsdienstleister | 30 % | 30 % |
| Laboranalysen | 50 % | 50 % |
| Versicherung | 10 % | 10 % |
| Finanzierung durch Fremdkapital | 30 % | 30 % |
| Personal Anlagenbetrieb | 100 % | 100 % |
| Betreibergesellschaft | 80 % | 80 % |
| Eigenkapitalgeberinnen und -Geber | 70 % | 70 % |

Tab. 6-31: Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern bei der WSK Biogasaufbereitungsanlagen

| Wertschöpfungsschritt | Szenario Current Policies | Szenario Klima- neutral 2045 |
|-----------------------------------|--------------------------------------|---|
| Planung | 0 % | 50 % |
| Grundstückskauf | 0 % | 90 % |
| Erschließung | 0 % | 100 % |
| Transport | 0 % | 50 % |
| Montage | 0 % | 50 % |
| Netzanschluss | 0 % | 50 % |
| Betriebsstoffe Strom / weitere | 30 % / 100 % | 30 % / 100 % |
| Wartungsdienstleister | 0 % | 0 % |
| Laboranalysen | 50 % | 50 % |
| Versicherung | 10 % | 10 % |
| Gasnetzeinspeisung | 50 % | 50 % |
| Finanzierung durch Fremdkapital | 30 % | 30 % |
| Personal Anlagenbetrieb | 100 % | 100 % |
| Betreibergesellschaft | 60 % | 80 % |
| Eigenkapitalgeberinnen und -Geber | 10 % | 20 % |

Tab. 6-32: Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern bei der WSK Holzheizkraftwerke

| Wertschöpfungsschritt | Szenario Current Policies | Szenario Klima- neutral 2045 |
|-----------------------------------|--------------------------------------|---|
| Planung | 0 % | 0 % |
| Montage | 0 % | 0 % |
| Grundstückskauf | 0 % | 90 % |
| Betriebsstoffe | 50 % | 50 % |
| Wartungsdienstleister | 30 % | 40 % |
| Ascheentsorgung | 100 % | 100 % |
| Versicherung | 0 % | 0 % |
| Finanzierung durch Fremdkapital | 10 % | 15 % |
| Personal Anlagenbetrieb | 100 % | 100 % |
| Betreiber-gesellschaft | 10 % | 15 % |
| Eigenkapitalgeberinnen und -Geber | 10 % | 15 % |

Tab. 6-33: Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern für WSK holzbefeuerte Zentralheizungsanlagen bis 100 kW_{th}

| Wertschöpfungsschritt | Szenario Current Policies | Szenario Klima- neutral 2045 |
|---|--------------------------------------|---|
| Installation (Lieferung, Montage, Inbetriebnahme) | 100 % | 100 % |
| Wartungsdienstleister | 100 % | 100 % |
| Emissionsmessung, Kehren | 100 % | 100 % |
| Reinigungs- und Betriebskosten | 100 % | 100 % |
| Versicherung | 10 % | 10 % |
| Stromkosten | 30 % | 30 % |

Tab. 6-34: Annahmen zur regionalen Ansässigkeit von Unternehmen und Eigenkapitalgeberinnen und -Gebern bei der WSK Wärmepumpen bis 150 kW_{th}

| Wertschöpfungsschritt | Szenario Current Policies | Szenario Klima- neutral 2045 |
|-------------------------------|--------------------------------------|---|
| Handel mit Anlagenkomponenten | 80 % | 80 % |
| Installation | 100 % | 100 % |
| Wartungsdienstleister | 100 % | 100 % |
| Stromkosten | 30 % | 30 % |

ADRESSE UND KONTAKT

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung GmbH, gemeinnützig

Potsdamer Straße 105

10785 Berlin

Telefon: + 49 – 30 – 884 594-0

Fax: + 49 – 30 – 882 54 39

E-mail: mailbox@ioew.de

www.ioew.de