



Brüssel, den 26.10.2021
COM(2021) 952 final

**BERICHT DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DEN
RAT**

**Fortschritte bei der Wettbewerbsfähigkeit im Bereich der Technologien für saubere
Energie**

{COM(2021) 950 final} - {SWD(2021) 307 final}

INHALT

1.	EINLEITUNG.....	2
2.	ALLGEMEINE WETTBEWERBSFÄHIGKEIT DES BEREICHS SAUBERE ENERGIE IN DER EU	4
2.1	Hintergrund: jüngste Entwicklungen, Auswirkungen der COVID-19-Krise, Wiederaufbau, Humankapital und Wertschöpfung	4
2.1	Trends in Forschung und Innovation.....	10
2.2	Die Förderlandschaft für saubere Technologien in der EU.....	14
3.	FOKUS AUF SCHLÜSSELTECHNOLOGIEN UND LÖSUNGEN FÜR SAUBERE ENERGIE.....	18
3.1	Offshore- und Onshore-Windkraft	18
3.2	Photovoltaik (PV).....	22
3.3	Wärmepumpen für Anwendungen in Gebäuden	25
3.4	Batterien	28
3.5	Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff durch Elektrolyse	31
3.6	Intelligente Netze (Automatisierung von Verteilernetzen, intelligente Verbrauchsmessung, Energiemanagementsysteme für Wohngebäude und intelligentes Laden von Elektrofahrzeugen).....	33
3.7	Erneuerbare Kraftstoffe für Luftfahrt und Schifffahrt	36
4.	SCHLUSSFOLGERUNGEN	39

1. EINLEITUNG

Der europäische Grüne Deal bildet den übergeordneten Rahmen für die Politik der EU im Bereich der sauberen Energie. Es handelt sich um eine neue Wachstumsstrategie, durch die Europa auf faire, ressourcenschonende, kostenwirksame und wettbewerbsfähige Weise zum ersten klimaneutralen Kontinent der Welt werden soll. Um die Klimaziele des europäischen Grünen Deals auf operativer Ebene umzusetzen, wurde im Europäischen Klimagesetz¹ die politische Priorität, bis 2050 klimaneutral zu werden und die Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55 % gegenüber 1990 zu reduzieren, gesetzlich verankert.

Ergänzt wird dieser politische Kontext dadurch, dass auf Ebene der EU finanzielle Mittel in noch nie da gewesenem Umfang freigegeben wurden, die sowohl Mittel aus dem neuen EU-Haushalt² als auch aus dem 2020 vereinbarten Aufbau- und Resilienzpaket des Instruments „NextGenerationEU“ umfassen.³ Diese Mittel werden maßgeblich zum Erreichen der Ziele des europäischen Grünen Deals beitragen, da ein Anteil von insgesamt 30 % für Klimaschutzausgaben vorgesehen ist. Insbesondere wurden in Anerkennung der Rolle von Forschung und Innovation bei der Verwirklichung dieser Ziele das EU-Forschungs- und Innovationsprogramm „Horizont Europa“⁴ sowie weitere Finanzierungsprogramme wie der Innovationsfonds oder LIFE erheblich gestärkt.

Darüber hinaus hat die Europäische Kommission im Juli 2021 ein umfassendes Paket zur Umsetzung des europäischen Grünen Deals vorgelegt; darin wird angeregt, bestehende Instrumente zu überarbeiten und neue Instrumente vorzuschlagen⁵, um die EU auf Kurs zu bringen, damit sie ihre Klimaziele bis 2030 erreicht. Dabei handelt es sich um eines der umfassendsten Vorschlagspakete im Bereich Klima und Energie, das die Kommission je vorgelegt hat. Das Paket wird im kommenden Jahrzehnt unter anderem zur Entwicklung des Systems für saubere Energie beitragen, indem EU-weit Innovationen und Investitionen angeregt werden und neue Nachfrage auf den Märkten geschaffen wird, während gleichzeitig ein sozial gerechter Übergang gewährleistet und die globale Führungsrolle der EU im Kampf gegen die Klimakrise gefestigt wird.

Wie in der Folgenabschätzung zum Klimazielpfad 2030⁶ hervorgehoben wird, ist technologischer Fortschritt innerhalb des Systems für saubere Energie⁷ von entscheidender

¹ Verordnung (EU) 2021/1119 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Juni 2021.

² Der mehrjährige Finanzrahmen für den Zeitraum 2021–2027.

³ Zu Preisen von 2018 beläuft sich der EU-Haushalt über einen Zeitraum von sieben Jahren auf 1074 Mrd. EUR; die Mittelausstattung des Instruments „NextGenerationEU“ beträgt 750 Mrd. EUR.

⁴ 95,5 Mrd. EUR zu jeweiligen Preisen für den Zeitraum 2021–2027.

⁵ Zu den legislativen Dossiers zählen Vorschläge zur Überarbeitung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie, der Energieeffizienzrichtlinie, der Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, der Energiebesteuerungsrichtlinie sowie des EU-Emissionshandelssystems, die Überarbeitung des dritten Energiepakets für Gas, der Lastenteilungsverordnung, der Richtlinie über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe, der Verordnung über Flächennutzung, Forst- und Landwirtschaft, der CO₂-Emissionsnormen für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge sowie Vorschläge zur Schaffung eines neuen Emissionshandels für den Straßenverkehr und den Gebäudesektor, eines CO₂-Grenzausgleichssystems, die Initiativen „ReFuelEU Aviation“ und „FuelEU Maritime“, eine EU-Forststrategie und ein Vorschlag zur Schaffung eines sozialen Klimafonds.

⁶ Folgenabschätzung zur Mitteilung der Kommission „Mehr Ehrgeiz für das Klimaziel Europas bis 2030 – In eine klimaneutrale Zukunft zum Wohl der Menschen investieren“ (SWD/2020/176 final).

⁷ In diesem Bericht erstreckt sich das System für saubere Energie auf drei Marktsegmente: 1) Erneuerbare Energie, einschließlich Herstellung, Installation und Erzeugung; 2) Energieeffizienz und Energiemanagementsysteme, die

Bedeutung, um das Klima- und Energieziel der EU bis 2050 zu erreichen. Laut Prognosen der Internationalen Energieagentur (IEA) wird ein Großteil der bis 2030 zu erzielenden Verringerungen der CO₂-Emissionen durch Technologien erreicht werden, die bereits heute auf dem Markt sind, während fast die Hälfte der bis 2050 erforderlichen Verringerungen mithilfe von Technologien erreicht werden wird, die sich derzeit noch in der Demonstrations- oder Prototypphase befinden.⁸ Dieser zweite jährliche Bericht über die Wettbewerbsfähigkeit⁹ gibt einen Überblick über den aktuellen Stand und die Prognosen im Zusammenhang mit verschiedenen Technologien für saubere Energie. Zudem wird aufgezeigt, wie das System für saubere Energie dazu beiträgt, die EU bis 2050 klimaneutral zu machen und gleichzeitig das grüne Gebot des europäischen Grünen Deals – „Verursache keine Schäden“ – einzuhalten. Im Rahmen einer Analyse der verschiedenen Facetten der Wettbewerbsfähigkeit werden in diesem Bericht die Stärken und Herausforderungen sowie weitere wichtige Schwerpunkte des EU-Systems für saubere Energie herausgestellt. Insbesondere wird gezeigt, dass der Bereich der sauberen Energie sowohl in Bezug auf die Bruttowertschöpfung als auch hinsichtlich der Beschäftigung – unter Vernachlässigung der Unterschiede innerhalb des Sektors – eine bessere Entwicklung verzeichnet als die EU-Wirtschaft insgesamt; gleichzeitig konnte bei den öffentlichen Investitionen in Forschung und Innovation (FuI) im Bereich der sauberen Energie in den letzten fünf Jahren eine Erholung festgestellt werden, wenngleich sie noch nicht wieder das Niveau von 2010 erreicht haben. Das europäische Innovationsökosystem ist führend, wenn es um hochwertige Patente und die Unterstützung von sich in der Frühphase befindlichen Start-ups im Bereich der Klimatechnologie geht. Was jedoch die Wachstumsphase von Unternehmen anbelangt, so liegt die EU weit hinter anderen geografischen Regionen zurück. In Bezug auf Technologien hat die EU nach wie vor eine starke Position in der Windenergiebranche inne, steht jedoch möglicherweise an einem Scheideweg in zahlreichen anderen Branchen wie Photovoltaik, erneuerbarer Wasserstoff, Wärmepumpen oder erneuerbare Kraftstoffe.

Die Wettbewerbsfähigkeit des EU-Systems für saubere Energie wird in diesem Bericht gemäß Artikel 35 Absatz 1 Buchstabe m der Verordnung über die Governance der Energieunion und für den Klimaschutz im Rahmen des Berichts zur Lage der Energieunion bewertet. Wettbewerbsfähigkeit ist ein komplexes und vielschichtiges Konzept, das nicht durch einen einzigen Indikator definiert werden kann.¹⁰ Daher wird in diesem Bericht eine Reihe allgemein anerkannter Indikatoren vorgeschlagen¹¹, die das gesamte Energiesystem (Erzeugung,

Technologien und Aktivitäten wie intelligente Zähler, intelligente Netze, Speicherung und die energetische Sanierung von Gebäuden umfassen; und 3) Elektromobilität, die Komponenten wie Batterien und Brennstoffzellen umfasst, die für Elektrofahrzeuge und Ladeinfrastrukturen unerlässlich sind.

⁸ IEA, *Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector* (CO₂-neutral bis 2050. Ein Fahrplan für die weltweite Energiewirtschaft), Flaggschiff-Bericht, Mai 2021.

⁹ Der erste Bericht über die Fortschritte bei der Wettbewerbsfähigkeit sauberer Energie war COM(2020) 953 final.

¹⁰ Auf der Grundlage der Schlussfolgerungen des Rates „Wettbewerbsfähigkeit“ vom 28 Juli 2020.

¹¹ In Abschnitt 2 des Berichts werden folgende Indikatoren bewertet: die Primärenergie- und Endenergieintensität, der Anteil erneuerbarer Energiequellen, die Einfuhrabhängigkeit, die Strom- und Gaspreise für industrielle Verbraucher, der Umsatz des Sektors in der EU (saubere gegenüber fossilen Energieträgern) im Vergleich zu anderen Wirtschaftszweigen, die Bruttowertschöpfung der Erzeugung erneuerbarer Energien, die Beschäftigung im Sektor in der EU im weltweiten Vergleich, einschließlich geschlechtsspezifischer Statistiken, sowie Störungen aufgrund der COVID-19-Krise.

Die Indikatoren in Abschnitt 3 des Berichts werden, sofern nicht anders angegeben, für jede einzelne Technologie und für die EU bewertet. Sie umfassen die installierte Leistung (heute und im Jahr 2050), die Kosten und/oder die Stromgestehungskosten (LCoE), die öffentliche Finanzierung von FuI, die private Finanzierung von FuI, Trends in Bezug auf Patentanmeldungen und den Umfang der wissenschaftlichen Veröffentlichungen. Die Bewertung der Analyse der Wertschöpfungskette erfolgt anhand folgender Indikatoren: Umsatz, Wachstum der Bruttowertschöpfung, Anzahl der EU-Unternehmen in der Lieferkette, Beschäftigung im Segment der Wertschöpfungskette, Energieintensität und Arbeitsproduktivität sowie Gemeinschaftsproduktion. Die Bewertung der Analyse des globalen Markts erfolgt schließlich anhand von Handelsaspekten, einer Gegenüberstellung von Marktführern weltweit und Marktführern in der EU sowie der Ressourceneffizienz und -abhängigkeit für Segmente der Wertschöpfungskette, die von kritischen Rohstoffen abhängen.

Übertragung und Verbrauch) erfassen und auf drei Ebenen (Technologie, Wertschöpfungskette und globaler Markt) analysiert werden. Die den einzelnen Indikatoren zugrunde liegenden Daten sind in der beigelegten Arbeitsunterlage der Kommissionsdienststellen enthalten.

2. ALLGEMEINE WETTBEWERBSFÄHIGKEIT DES BEREICHS SAUBERE ENERGIE IN DER EU

2.1 Hintergrund: jüngste Entwicklungen, Auswirkungen der COVID-19-Krise, Wiederaufbau, Humankapital und Wertschöpfung

2.1.1 Jüngste Entwicklungen

Wie zahlreiche andere Regionen weltweit sieht sich die Europäische Union derzeit mit drastisch steigenden Energiepreisen konfrontiert. Der Preisanstieg ist in erster Linie auf die weltweit gestiegene Nachfrage nach Energie im Allgemeinen und Gas im Besonderen im Zusammenhang mit der Erholung von der COVID-19-Krise zurückzuführen. Die Preise, die in den letzten Monaten einen historischen Höchststand erreicht haben,¹² sind das Ergebnis einer Kombination von Faktoren, die in erster Linie auf die weltweite Nachfrage nach Gas zurückzuführen sind, die wiederum einen Anstieg der Strompreise zur Folge hat. Ein weiterer Grund für die Erhöhung der Strompreise waren die jahreszeitlichen Witterungsbedingungen (wenig Wasser und wenig Wind im vergangenen Sommer), die zu einer geringeren Produktion von erneuerbaren Energien in Europa geführt haben. Darüber hinaus sind im Jahr 2021 auch die europäischen CO₂-Preise stark angestiegen¹³, wenn auch in weitaus geringerem Maße als der Gaspreis. Die Entwicklung des Gaspreises hat eine neunmal so starke Auswirkung auf den Strompreis wie der Anstieg der CO₂-Preise.¹⁴

Diese Faktoren hatten zur Folge, dass die Großhandels- und Endkundenpreise für Strom in den meisten großen Volkswirtschaften der Welt seit dem zweiten Halbjahr 2020 gestiegen sind. Die hohen Großhandelspreise für Strom sind mittlerweile in allen EU-Mitgliedstaaten angekommen; einige Staaten sind jedoch stärker betroffen, was insbesondere vom Anteil fossiler Brennstoffe an der Stromerzeugung abhängt. Wie schnell sich der Anstieg der Großhandelspreise für Gas auf die Endkundenpreise auswirkt, hängt auch von den Bedingungen der Endkundenverträge ab (d. h. Vertragslaufzeit, feste oder variable Preise usw.). Die Europäische Kommission sieht die negativen Auswirkungen des Preisanstiegs auf Haushalte und Unternehmen mit Sorge. Nach Anhörung der Mitgliedstaaten und des Europäischen Parlaments hat die Kommission eine Mitteilung vorgelegt, mit der geeignete Maßnahmen getroffen und unterstützt werden sollen, um die Auswirkungen vorübergehender Energiepreiserhöhungen abzufedern und die Widerstandsfähigkeit gegen künftige Schocks weiter zu verbessern.¹⁵

¹² Im September erreichten die durchschnittlichen Großhandelspreise für Strom mehr als 125 EUR pro MWh, die Gaspreise fast 65 EUR pro MWh und der Preis für EU-EHS-Zertifikate mehr als 60 EUR pro tCO₂.

¹³ Der Anteil der Kohlekraft liegt in der EU noch immer bei 14 %.

¹⁴ Zwischen Januar und September 2021 ist der EHS-Preis um etwa 30 EUR/t CO₂ gestiegen. Aus Gas erzeugter Strom verteuerte sich damit um etwa 10 EUR/MWh (angenommener Wirkungsgrad: 50 %), der entsprechende Anstieg bei der Kohleverstromung liegt bei ca. 25 EUR/MWh (angenommener Wirkungsgrad: 40 %). Deutlich übertroffen wird dies durch den Anstieg des Gaspreises um rund 45 EUR/MWh in demselben Zeitraum, durch den sich die Stromerzeugung um rund 90 EUR/MWh verteuert hat.

¹⁵ Mitteilung der Kommission: „Steigende Energiepreise – eine ‚Toolbox‘ mit Gegenmaßnahmen und Hilfeleistungen“ (COM(2021) 660).

Der Anstieg der Großhandelspreise für Strom kann ein Signal für die verbesserte Wettbewerbsfähigkeit des Sektors für erneuerbare Energien sein. Dadurch können sich Anreize für mehr Investitionen in diesem Sektor ergeben, was langfristig zu einer Senkung der Strompreise beitragen wird, da erneuerbare Energien mit niedrigeren Produktions- und Betriebskosten verbunden und von der CO₂-Bepreisung ausgenommen sind und mit sinkenden Kapitalkosten zu rechnen ist. Der derzeitige Preisanstieg im europäischen Energiesektor zeigt zudem, dass die EU ihre Abhängigkeit von importierten fossilen Brennstoffen verringern muss. Was die künftige Entwicklung anbelangt, so werden die neuen Klima- und Energieziele neue Investitionen erforderlich machen. In den kommenden zehn Jahren werden im Vergleich zu den jährlichen Investitionen der letzten zehn Jahre zusätzliche Investitionen in Höhe von 390 Mrd. EUR benötigt werden.¹⁶ Um das derzeitige Ziel eines Anteils von 32 % an erneuerbaren Energien im Jahr 2030 zu erreichen, muss deren Ausbau erheblich beschleunigt werden. Noch stärker gilt es diesen zu beschleunigen, wenn das im Paket zur Umsetzung des europäischen Grünen Deals vom Juli neu vorgeschlagene Ziel von 40 % erreicht werden soll. Da Verzögerungen bei der Erteilung von Genehmigungen ein großes Hindernis für den Übergang zu einem dekarbonisierten Energiesystem darstellen und den Ausbau von sowie Investitionen in Infrastrukturen und Technologien für saubere Energie um viele Jahre verzögern, wird die Kommission im Jahr 2022 Leitlinien zur Beschleunigung der Genehmigungsverfahren für erneuerbare Energien herausgeben und weiterhin eng mit den nationalen Verwaltungen zusammenarbeiten, um bewährte Verfahren zu ermitteln und auszutauschen. Genehmigungsverfahren müssen dringend vereinfacht und gestrafft werden, um einen gemeinsamen Markt für erneuerbare Energien zu schaffen, auf dem diese effizient und kostenwirksam eingesetzt werden können und Sicherheit für Investoren besteht, auch mit Blick auf die erforderlichen umfangreichen Investitionen.

Ein integrierter und gut funktionierender EU-Energiemarkt wäre der kosteneffizienteste Weg, um eine sichere und erschwingliche Energieversorgung für alle Arten von Kunden zu gewährleisten. Die Preise könnten unter Kontrolle gehalten werden, indem für Wettbewerb gesorgt würde und die Verbraucher die Möglichkeit erhielten, ihren Energieversorger selbst zu wählen. In der Mitteilung zu den Energiepreisen¹⁷ werden kurzfristige Maßnahmen der Mitgliedstaaten wie finanzielle Soforthilfen für Haushalte, staatliche Beihilfen für Unternehmen und gezielte Steuersenkungen vorgeschlagen. Mittelfristig schlägt die Kommission unter anderem vor, Investitionen in erneuerbare Energien und Energieeffizienz zu fördern und mögliche Maßnahmen zur Energiespeicherung sowie zum Erwerb von Gasreserven zu prüfen. Wenngleich es derzeit noch keine klaren Belege dafür gibt, dass ein alternatives Marktmodell niedrigere Preise und bessere Anreize bieten würde, hat die Kommission zudem die Agentur für die Zusammenarbeit der Energieregulierungsbehörden (ACER) beauftragt, die Vor- und Nachteile der derzeitigen Gestaltung des Strommarktes zu bewerten und bis April 2022 entsprechende Empfehlungen vorzulegen.

Zu diesem Zweck ist die EU bestrebt, die Verbindungsleitungen zwischen den Mitgliedstaaten weiter auszubauen und dafür zu sorgen, dass ein möglichst großer Teil der Verbindungskapazitäten für den Handel zur Verfügung steht. Sie überwacht die Umsetzung des bestehenden Besitzstands (z. B. Netzkodizes) und hat zusätzliche Instrumente zur Sicherstellung der Liquidität auf den Märkten vorgeschlagen, darunter die Überarbeitung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie, einschließlich der weiteren Förderung von Stromkaufvereinbarungen zwischen Unternehmen, sowie der Vorschlag für die Überarbeitung

¹⁶ COM(2021) 557 final, Tabelle 7, MIX-Szenario, S. 133.

¹⁷ Mitteilung der Kommission: „Steigende Energiepreise – eine ‚Toolbox‘ mit Gegenmaßnahmen und Hilfeleistungen“ (COM(2021) 660).

der Energieeffizienzrichtlinie, wodurch die Energieeffizienz Vorrang erhalten und in den Mittelpunkt der europäischen Wirtschaft gerückt werden soll.

2.1.2 Auswirkungen der COVID-19-Krise und Wiederaufbau

Die Nachfrage nach Technologien für saubere Energie wird zwar durch den politischen Rahmen des europäischen Grünen Deals angekurbelt werden, doch das Angebot, die Entwicklung und die Wettbewerbsfähigkeit dieser Technologien werden durch die COVID-19-Pandemie zweifelsohne auf die Probe gestellt. Die Umsetzung der Energie- und Klimapolitik hängt von der Verfügbarkeit von Technologien für erneuerbare Energie, von unterbrechungsfreien Wertschöpfungsketten sowie vom Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen und ihrer qualifizierten Arbeitskräfte ab. Einerseits drohen die wirtschaftlichen Auswirkungen einer Pandemie die Wettbewerbsfähigkeit der Technologien für saubere Energie erheblich zu schwächen. Andererseits bieten die politischen Maßnahmen für den wirtschaftlichen Wiederaufbau dank der Fazilität „NextGenerationEU“ auch die Möglichkeit, die Investitionen in den Bereich der sauberen Energien neu auszurichten und zu erhöhen.

Tatsächlich wurden die erneuerbaren Energieträger weltweit weniger stark durch die COVID-19-Pandemie getroffen als andere Energiequellen.¹⁸ Einzig der Bereich der Biokraftstoffe für den Verkehrssektor war stärker betroffen, da der Verbrauch aufgrund der geringeren Reisetätigkeit in Verbindung mit niedrigen Ölpreisen zurückging.¹⁹ Dank sinkender Kapitalkosten konnten weltweit Solar- und Windenergieanlagen in beispiellosem Umfang installiert werden.²⁰ Folglich ging die Stromerzeugung aus Kohle, Erdgas und Kernenergie zurück, während erneuerbare Energieträger die fossilen Brennstoffe 2020 erstmals als wichtigste Stromquelle in der EU übertrafen (38 % des EU-Stroms aus erneuerbaren Energieträgern gegenüber 37 % aus fossilen Brennstoffen und 25 % aus Kernenergie).²¹

Im Hinblick auf die Erholung von der COVID-19-Pandemie stellt die Verordnung über die Aufbau- und Resilienzfazilität als leistungsbezogenes Programm, das von der Kommission als Teil des Pakets „NextGenerationEU“ vorgeschlagen wurde, ein Novum für die EU dar. Die finanziellen Mittel werden den Mitgliedstaaten auf der Grundlage ihrer umfassenden Aufbau- und Resilienzpläne zur Verfügung gestellt und freigegeben, wenn messbare Etappenziele und Zielwerte erreicht werden. Die Mitgliedstaaten sind verpflichtet, in ihren Aufbau- und Resilienzplänen mindestens 37 % ihrer Gesamtzuweisung im Rahmen der Aufbau- und Resilienzfazilität für die Klimawende vorzusehen; ferner müssen sie Maßnahmen aufnehmen, die mit den im Rahmen des Europäischen Semesters und der nationalen Energie- und Klimapläne ermittelten jeweiligen länderspezifischen Herausforderungen und Prioritäten in Einklang stehen.

¹⁸ IEA, *World Energy Outlook* (Weltenergiebericht), 2020.

¹⁹ IEA, *Energy Technology Perspectives 2020, Special Report on Clean Energy Innovation* (Perspektiven für die Energietechnologien 2020, Sonderbericht über Innovationen im Bereich der sauberen Energie).

²⁰ BloombergNEF, *EnergyTransition Investment Trends, Tracking global investment in the low-carbon energy transition* (Trends bei den Investitionen zur Umsetzung der Energiewende, Übersicht über weltweite Investitionen in die Umstellung auf CO₂-arme Energie), 2021.

²¹ Agora Energiewende und Ember, *The European Power Sector in 2020: Up-to-Date Analysis on the Electricity Transition* (Der europäische Stromsektor im Jahr 2020: Aktuelle Analyse zur Stromwende), 2021.

Aus der Analyse der 22²² von der Kommission bis zum 5. Oktober 2021 genehmigten Aufbau- und Resilienzpläne²³ geht hervor, dass Mittel in Höhe von 177 Mrd. EUR für klimabezogene Investitionen bereitgestellt wurden, was 40 % der Gesamtzuweisung dieser Mitgliedstaaten (Finanzhilfen und Darlehen) entspricht. Etwa 43 % dieses Betrags (76 Mrd. EUR) sind für die Bereiche Energieeffizienz (27,9 %) sowie erneuerbare Energien und Netze (14,8 %) bestimmt²⁴, während rund 62 Mrd. EUR für nachhaltige Mobilität (35 %) vorgesehen sind.

Auch auf den Bereich Forschung und Innovation entfiel ein erheblicher Anteil der Mittel: So haben die Mitgliedstaaten in ihren Aufbau- und Resilienzplänen fast 12,3 Mrd. EUR für Investitionen in FuI zur Eindämmung des Klimawandels und Anpassung an seine Folgen sowie für die Kreislaufwirtschaft bereitgestellt.²⁵

2.1.3 Humankapital und Wertschöpfung

Es ist zwar noch zu früh, um zu bewerten, wie sich die Pandemie und die Finanzierung für den Wiederaufbau auf das Humankapital ausgewirkt haben, dennoch zeigen die jüngsten Daten von Eurostat, dass im Bereich der sauberen Energie noch kurz vor der Pandemie bessere Entwicklungen zu verzeichnen waren als in der Gesamtwirtschaft. Im Jahr 2018 erreichte die Zahl der direkt im Bereich der sauberen Energie Beschäftigten²⁶ 1,7 Millionen; das durchschnittliche jährliche Wachstum in diesem Sektor betrug 2 %, während die Beschäftigung in der Gesamtwirtschaft im Durchschnitt um 1 % pro Jahr zunahm. Während die Beschäftigung im Bereich „Energieeffizienz und Energiemanagementsysteme“ seit 2010 jährlich um durchschnittlich 6 % zunahm, ging die Zahl der direkten Arbeitsplätze in den Bereichen „Erneuerbare Energien“ und „Elektromobilität“ um 3 % zurück (2010–2018). Dies ist auf das geringere Wachstum der erneuerbaren Energien in einigen Mitgliedstaaten zurückzuführen; in Deutschland beispielsweise, wo der Beschäftigungsrückgang am stärksten ausgeprägt ist (siehe auch Abschnitt 3.1), behindern komplexe Genehmigungsvorschriften sowie Rechtsstreitigkeiten den Bau neuer Windkraftanlagen. Darüber hinaus hatten Verbesserungen der Technologien sowie Produktivitätssteigerungen, insbesondere auf reifen Märkten (z. B. Wind- und Solarenergie), eine Verringerung der Arbeitsintensität zur Folge. Das Beschäftigungswachstum findet zunehmend bei anderen Anwendungen für saubere Energie,

²² AT, BE, CY, CZ, DE, DK, EE, EL, ES, FI, FR, HR, IE, IT, LT, LU, LV, MT, PT, RO, SI, SK.

²³ Bei den für die Aufbau- und Resilienzpläne gemeldeten Ausgaben handelt es sich um Schätzungen, die von der Kommission auf der Grundlage der Informationen über die Verfolgung klimabezogener Ausgaben (veröffentlicht als Teil der Kommissionsanalysen der Aufbau- und Resilienzpläne) verarbeitet wurden. Die gemeldeten Daten beziehen sich auf die 22 nationalen Aufbau- und Resilienzpläne, die die Kommission bis zum 5. Oktober 2021 bewertet und genehmigt hatte. Im Zuge der Bewertung weiterer Pläne wird sich der Betrag ändern.

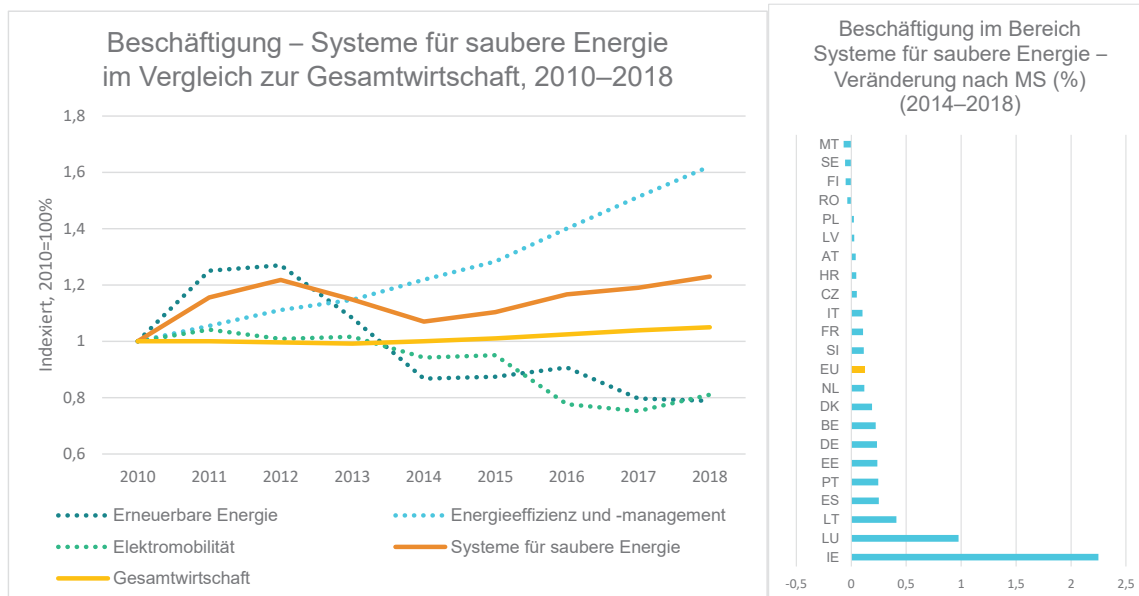
²⁴ Energieeffizienzmaßnahmen umfassen Energieeffizienzprojekte in KMU oder Großunternehmen, die energetische Sanierung von Privatgebäuden und öffentlichen Infrastrukturen sowie den Bau von Gebäuden. Maßnahmen für saubere Energie umfassen insbesondere die Erzeugung erneuerbarer Energien, den Ausbau von Energienetzen und -infrastrukturen sowie Investitionen im Bereich Wasserstoff.

²⁵ Abbildung: Verteilung der klimabezogenen Investitionen in den Aufbau- und Resilienzplänen der Mitgliedstaaten. Quelle: Eigene vorläufige Bewertung der 22 von der Kommission (bis zum 5. Oktober) angenommenen Aufbau- und Resilienzpläne, Mitteilung zur Lage der Energieunion 2021 (COM(2021) 950 final).

²⁶ Im Vergleich zum letzten Jahr wurde die Kategorie CEPA1 hinzugefügt, um den Umfang der im Bericht behandelten Technologien besser wiederzugeben. Somit basieren die Zahlen zu Beschäftigung, Bruttowertschöpfung und Arbeitsproduktivität in diesem Bericht auf folgenden EGSS-Kategorien von Eurostat: „CREMA13A“, „CREMA13B“ und „CEPA1“. „CREMA13A“ – Energiegewinnung aus erneuerbaren Quellen – umfasst auch die Herstellung von Technologien, die zur Gewinnung erneuerbarer Energie benötigt werden (vgl. Abbildung: „Erneuerbare Energie“). „CREMA13B“ – Wärme-/Energieeinsparungen und -management – umfasst Wärmepumpen, intelligente Zähler, energetische Sanierungsmaßnahmen, Dämmstoffe und Teile intelligenter Netze (vgl. Abbildung: „Energiemanagement“). „CEPA1“ – Luftreinhaltung und Klimaschutz – umfasst Pkws und Busse mit Elektro- und Hybridantrieb und andere sauberere und effizientere Fahrzeuge sowie die für den Betrieb von Elektrofahrzeugen erforderliche Ladeinfrastruktur. Dazu zählen auch Komponenten wie Batterien, Brennstoffzellen und Elektroantriebe, die für Elektrofahrzeuge erforderlich sind (vgl. Abbildung: „Elektromobilität“).

z. B. intelligenten Zählern, intelligenten Netzen oder Speicherung, sowie bei anderen Produkten und Tätigkeiten im Zusammenhang mit Energieeffizienz und -management statt.

Abbildung 1: Beschäftigung im Bereich Systeme für saubere Energie im Vergleich zum Wachstum der Gesamtwirtschaft in der EU27 im Zeitraum 2010–2018 und Veränderung der Beschäftigung im Bereich Systeme für saubere Energie nach Mitgliedstaaten im Zeitraum 2014–2018



Quelle: JRC auf der Grundlage von Eurostat „[env_ac_egss1](#)“²⁷.

Auch in Bezug auf die Bruttowertschöpfung haben die Systeme für saubere Energie vor der Pandemie mit einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 5 %²⁸ die Gesamtwirtschaft (Wachstum von 3 %) seit 2010 übertroffen. Auf den Bereich der sauberen Energie entfiel im Jahr 2018 1 % (133 Mrd. EUR) der gesamten Wertschöpfung in der EU; das ist mehr als doppelt so viel wie der Anteil des Sektors der Gewinnung und Verarbeitung fossiler Brennstoffe (59 Mrd. EUR).²⁹ Im Rahmen des Systems für saubere Energie nahm die Bruttowertschöpfung im Bereich „Erneuerbare Energie“ (60 Mrd. EUR) mit einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 2 % zu; im Bereich „Energieeffizienz und Energiemanagementsysteme“ (67 Mrd. EUR) war im gleichen Zeitraum ein Anstieg von 9 %

²⁷ Systeme für saubere Energie umfassen: CREMA13A – Energiegewinnung aus erneuerbaren Quellen, wozu sowohl die Gewinnung erneuerbarer Energie als auch die Herstellung von zur Gewinnung erneuerbarer Energie benötigten Technologien zählen (vgl. Abbildung: „Erneuerbare Energie“); CREMA13B – Wärme-/Energieeinsparungen und -management – wozu Wärmepumpen, intelligente Zähler, intelligente Netze, energetische Gebäudesanierung und Energiespeicherung zählen (vgl. Abbildung: „Energieeffizienz und -management“); und CEP1 – Luftreinhaltung und Klimaschutz – wozu Elektrofahrzeuge und deren Komponenten sowie die für den Betrieb von Elektrofahrzeugen erforderliche Infrastruktur zählen (vgl. Abbildung: „Elektromobilität“).

²⁸ Eurostat „[env_ac_egss2](#)“. Systeme für saubere Energie umfassen: CREMA13A – Energiegewinnung aus erneuerbaren Quellen, wozu sowohl die Gewinnung erneuerbarer Energie als auch die Herstellung von zur Gewinnung erneuerbarer Energie benötigten Technologien zählen („Erneuerbare Energie“); CREMA13B – Wärme-/Energieeinsparungen und -management – wozu Wärmepumpen, intelligente Zähler, intelligente Netze, energetische Gebäudesanierung und Energiespeicherung zählen („Energieeffizienz und -management“); und CEP1 – Luftreinhaltung und Klimaschutz – wozu Elektrofahrzeuge und deren Komponenten sowie die für den Betrieb von Elektrofahrzeugen erforderliche Infrastruktur zählen (vgl. „Elektromobilität“).

²⁹ Die Daten für die Gewinnung und Verarbeitung fossiler Brennstoffe entstammen der strukturellen Unternehmensstatistik von Eurostat. Folgende Codes wurden berücksichtigt: B05 (Kohlenbergbau), B06 (Gewinnung von Erdöl und Erdgas), B07.21 (Bergbau auf Uran- und Thoriumerze), B08.92 (Torfgewinnung), B09.1 (Erbringung von Dienstleistungen für die Gewinnung von Erdöl und Erdgas) und C19 (Kokerei und Mineralölverarbeitung).

zu verzeichnen. Die Bruttowertschöpfung im Bereich „Elektromobilität“ (7 Mrd. EUR) erhöhte sich um weniger als 1 % pro Jahr.

Durch Arbeitsplätze im Bereich „Erneuerbare Energie“ wurde im Jahr 2018 durchschnittlich eine Bruttowertschöpfung von 104 000 EUR je Mitarbeiter erwirtschaftet, wobei das durchschnittliche jährliche Wachstum³⁰ seit 2010 bei 5 % liegt. Dieser Wert übersteigt den für die übrige Wirtschaft verzeichneten Wert (64 000 EUR Bruttowertschöpfung je Mitarbeiter) um mehr als 60 %. Die Wertschöpfung je Mitarbeiter im Bereich „Energieeffizienz und -management“ liegt bei 64 000 EUR und im Bereich „Elektromobilität“ bei 74 000 EUR; sie wuchs im Zeitraum 2015–2018 jährlich um 3 % bzw. 7 % und damit schneller als der Rest der Wirtschaft (2 %).

Angesichts der allgemeinen Widerstandskraft des Bereichs saubere Energie während der Pandemie, der starken Leistung des in diesem Sektor vorhandenen Humankapitals im Vorfeld der Pandemie sowie der von den Mitgliedstaaten in ihren nationalen Aufbau- und Resilienzplänen geplanten klimabezogenen Investitionen in Höhe von 177 Mrd. EUR besteht Grund zu vorsichtigem Optimismus, dass der Bereich saubere Energie auch dann weiterhin ein Motor für Beschäftigung und Wachstum sein wird, wenn sich die Wirtschaft der EU von der Pandemie erholt.

2.1.4 Kompetenzen

Die Umgestaltung des Energiesystems erfordert Umschulungs- und Weiterbildungsmaßnahmen auf allen Kompetenzniveaus, damit Technologien und Lösungen für saubere Energie in verschiedenen Sektoren eingesetzt und weiterentwickelt werden können. Es wird erwartet, dass verschiedenste Berufsprofile, die für die Umstellung auf saubere Energie relevant sind, bis 2030 immer stärker nachgefragt werden, etwa in den Bereichen Bergbau (d. h. für kritische Rohstoffe), Baugewerbe, Fertigung, Verkehr, Gebäude und damit verbundene Gewerbe sowie Wissenschaft und Technik.³¹ Allein durch die EU-Renovierungswelle könnten im Baugewerbe der EU bis 2030 160 000 zusätzliche Arbeitsplätze entstehen.³²

Um die Entwicklung von Kompetenzen der nächsten Generation, die für den Übergang der EU zu einer grünen Wirtschaft unerlässlich sind, voranzutreiben, hat die EU im Jahr 2020 den Kompetenzpakt³³ ins Leben gerufen; mit diesem Pakt werden im Rahmen von runden Tischen Partnerschaften mit industriellen Ökosystemen wie dem Baugewerbe und energieintensiven Branchen aufgebaut.

Im Fall der erneuerbaren Offshore-Energiequellen ist zudem ein Transfer von Kompetenzen aus dem Offshore-Öl- und -Gassektor sowie aus dem militärischen Bereich (z. B. bei der Erkundung potenzieller Projektstandorte) möglich.³⁴

³⁰ Durchschnittliche Wachstumsrate.

³¹ CEDEFOP, *Skills forecast: trends and challenges to 2030* (Prognose zu Kompetenzen: Trends und Herausforderungen bis 2030), 2018.

³² Mitteilung der Kommission: „Eine Renovierungswelle für Europa – umweltfreundlichere Gebäude, mehr Arbeitsplätze und bessere Lebensbedingungen“ (COM(2020) 662 final).

³³ Europäische Kommission, *The Pact for Skills – mobilising all partners to invest in skills* (Der Kompetenzpakt – Mobilisierung aller Partner für Investitionen in Kompetenzen), 2020.

³⁴ MATES, *Baseline report on present skills gaps in shipbuilding and offshore renewables value chains* (Grundlagenbericht über aktuelle Kompetenzlücken in den Wertschöpfungsketten für Schiffbau und erneuerbare Offshore-Energien): [D2.1-MATES-Baseline-Report-on-Present-Skill-Gaps.pdf](https://projectmates.eu/D2.1-MATES-Baseline-Report-on-Present-Skill-Gaps.pdf) (projectmates.eu).

Frauen machten im Jahr 2019 durchschnittlich 32 % der Arbeitskräfte im Bereich der erneuerbaren Energien aus.³⁵ Das ungleiche Geschlechterverhältnis sowohl bei den Arbeitskräften im Energiesektor als auch bei den energiebezogenen Forschungs- und Innovationstätigkeiten ist eng – aber nicht ausschließlich – mit der Unterrepräsentation von Frauen in der Hochschulbildung in einigen Teilbereichen der Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT) verknüpft. In der EU sind Frauen im Bereich der tertiären Bildung (mit 54 % auf allen tertiären Bildungsebenen und Gebieten) überrepräsentiert; weniger als 11 % der Bewerbungen stammen von Frauen, bei den Technologien zur Eindämmung des Klimawandels beträgt der Anteil mehr als 15 %. Die für den Energiesektor besonders relevanten Teilbereiche werden jedoch nach wie vor überwiegend von Männern dominiert; so waren 2019 in den Bereichen Ingenieurwesen, Fertigung und Bauwesen weniger als ein Drittel und auf dem Gebiet der Informations- und Kommunikationstechnologien weniger als ein Fünftel der Hochschulstudierenden weiblich.³⁶

2.1 Trends in Forschung und Innovation

Forschung und Innovation spielen eine Schlüsselrolle, wenn es darum geht, die wettbewerbsfähigen Industriezweige von morgen zu gestalten. Nach der Wirtschaftskrise im Jahr 2008 gingen die öffentlichen Investitionen in FuI, die im Rahmen der Energieunion als vorrangig eingestuft wurden^{37, 38} ein halbes Jahrzehnt lang zurück; erst nach 2016 zeichnete sich wieder eine Erholung ab (Abbildung 2). Seither haben die Mitgliedstaaten der EU zwar Investitionen von durchschnittlich 3,5 Mrd. EUR pro Jahr getätigt, allerdings die Ausgaben noch immer niedriger als vor zehn Jahren. Auf globaler Ebene steht dieser Trend im Einklang mit der Erhöhung der Investitionen in Energie im Allgemeinen – und saubere Energie im Besonderen³⁹ –, kann jedoch nicht mit dem Anstieg des BIP oder der Ausgaben für FuI in anderen Sektoren Schritt halten. Gemessen am BIP weist die EU derzeit die niedrigste Investitionsquote (0,027 %) aller großen Volkswirtschaften weltweit auf und liegt damit nur knapp hinter den USA, wenngleich das Niveau in allen betrachteten Wirtschaftsräumen rückläufig oder stabil zu sein scheint (Abbildung 3).

³⁵ IRENA, *Renewable Energy: A Gender Perspective* (Erneuerbare Energie: Eine geschlechtsspezifische Perspektive), 2019.

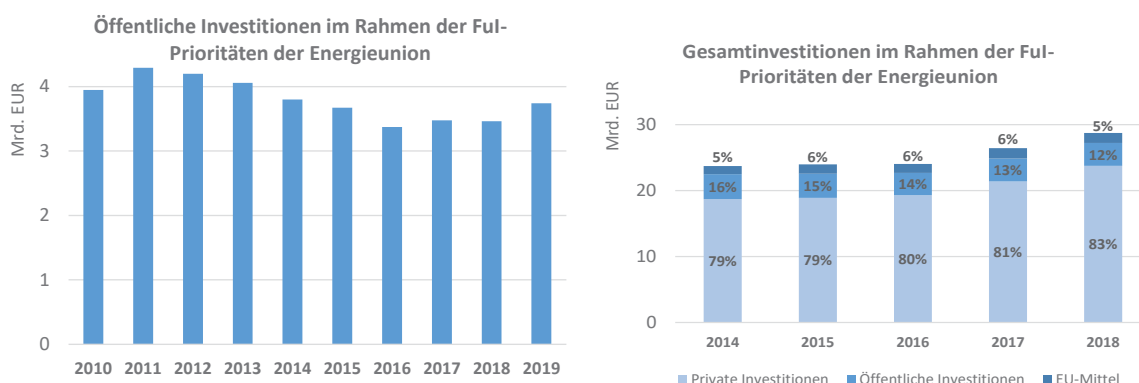
³⁶ JRC auf der Grundlage von Eurostat [EDUC_UOE_ENRT03].

³⁷ Erneuerbare Energien, intelligente Systeme, effiziente Systeme, nachhaltiger Verkehr, CCUS-Technologien und nukleare Sicherheit, COM(2015) 80 final.

³⁸ JRC SETIS https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-research-and-innovation-data_en.

³⁹ <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2020/rd-and-technology-innovation>

Abbildung 2: Öffentliche Finanzierung (links) und Gesamtfinanzierung (rechts) von FuI im Rahmen der FuI-Prioritäten der Energieunion in der EU⁴⁰.



Quelle: JRC⁴¹ auf der Grundlage von Daten der IEA⁴² und eigenen Arbeiten.

Wenngleich die langfristigen Auswirkungen der Pandemie auf die Ausgaben für FuI im Bereich erneuerbare Energien noch nicht konkret absehbar sind, deuten erste Trends auf eine allgemein robuste Entwicklung hin. Bei den weltweiten öffentlichen Ausgaben für FuI im Energiebereich war 2020 ein kontinuierliches, wenn auch verlangsamtes, Wachstum zu verzeichnen.⁴³ Im privaten Sektor der EU gingen die Ausgaben für FuI im Energiebereich insgesamt im Jahr 2020 um 7 % zurück. Die Ausgaben für FuI speziell im Bereich der erneuerbaren Energien waren jedoch robuster und nahmen weiter zu.⁴⁴

Die Forschungsmittel der EU, die für die Aufrechterhaltung des Niveaus der Investitionen in FuI in den letzten Jahren von entscheidender Bedeutung waren, wurden jährlich aufgestockt und trugen mit einem Betrag von durchschnittlich 1,5 Mrd. EUR bei. Zusammen mit den geschätzten privaten Ausgaben in Höhe von durchschnittlich 20 Mrd. EUR⁴⁵ beliefen sich die durchschnittlichen jährlichen Gesamtinvestitionen im Rahmen der FuI-Prioritäten der Energieunion in den letzten Jahren (2014–2018) auf rund 25 Mrd. EUR.⁴⁶ Gerade im Kontext des Wiederaufbaus sind das weltgrößte FuI-Programm „Horizont Europa“ und der Innovationsfonds zusammen mit den kohäsionspolitischen Mitteln und dem Programm „LIFE“ von entscheidender Bedeutung, da sie aktuell und auch künftig FuI im Bereich Klima und Umwelt sowie die Markteinführung entsprechender Technologien fördern.

⁴⁰ Für 2020 liegen nur für einige wenige Mitgliedstaaten Zahlen zu den öffentlichen FuI-Investitionen vor. Die privaten FuI-Investitionen werden anhand von Patenten geschätzt, weshalb entsprechende Daten erst nach einem längeren Zeitraum verfügbar werden; die Daten für 2018 sind vorläufig.

⁴¹ JRC SETIS https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-research-and-innovation-data_en

⁴² In Anlehnung an die Ausgabe 2021 der IEA-Datenbank zu den Mitteln für technologische Forschung, Entwicklung und Demonstration (Energy Technology RD&D Budgets database).

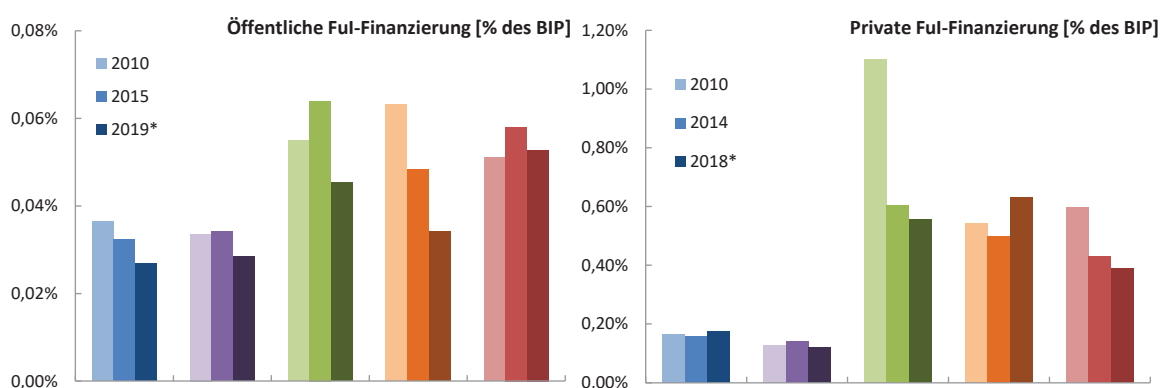
⁴³ IEA, *World Energy Investment* (Weltweite Energieinvestitionen), 2021.

⁴⁴ IEA, *World Energy Investment* (Weltweite Energieinvestitionen), 2021.

⁴⁵ Die Schätzungen für die privaten Investitionen wurden aufgrund von Änderungen in der Klassifikation und der zugrunde liegenden Daten nach oben korrigiert.

⁴⁶ Der gegenüber dem letztjährigen Bericht festzustellende Anstieg der Gesamtinvestitionen ist auf eine Korrektur der Schätzungen für die privaten Investitionen zurückzuführen.

Abbildung 3: Öffentliche (links) und private (rechts) Finanzierung von FuI im Rahmen der FuI-Prioritäten der Energieunion als Anteil des BIP in den wichtigsten Volkswirtschaften



Quelle: JRC⁴⁷ auf der Grundlage von Daten der IEA⁴⁸, der Innovationsmission⁴⁹ und eigenen Arbeiten.

Im Jahr 2019 lagen die öffentlichen Gesamtinvestitionen aller EU-Mitgliedstaaten im Rahmen der FuI-Prioritäten der Energieunion noch immer um 5 % niedriger als im Jahr 2010; gegenüber 2015 war jedoch ein Anstieg von 2 % zu verzeichnen. Rund ein Viertel der Mitgliedstaaten hat die Ausgaben über den gesamten Zeitraum von zehn Jahren kontinuierlich erhöht; bei ebenso vielen Staaten war jedoch ein Rückgang zu beobachten. In den übrigen Mitgliedstaaten entspricht der Trend dem Gesamtwert für die EU, oder es liegen keine Angaben zu den FuI-Ausgaben vor⁵⁰. Die Überwachung der FuI-Investitionen muss zwar eindeutig verbessert werden, dennoch legen die Mitgliedstaaten eine größere Dynamik und mehr Engagement mit Blick auf die in der Verordnung über die Governance der Energieunion für 2023 vorgesehene Berichterstattung an den Tag. Dies zeigt sich nicht nur im Bereich der öffentlichen FuI-Investitionen, sondern auch an den verstärkten Bemühungen auf nationaler Ebene zur Überwachung der FuI-Investitionen des privaten Sektors. Der Strategieplan für Energietechnologie (SET-Plan) ist das wichtigste europäische Instrument, um politische Maßnahmen und finanzielle Förderung für FuI im Bereich der Technologien für saubere Energie auf EU-Ebene und nationaler Ebene abzustimmen und private Investitionen zu mobilisieren.

Die in der EU getätigten privaten Investitionen im Rahmen der FuI-Prioritäten der Energieunion werden auf 0,18 % des BIP geschätzt (Abbildung 3) und liegen damit über denen der USA, aber unter denen anderer großer konkurrierender Volkswirtschaften (Japan, Korea und China). Dieser Anteil entspricht 12 % der Ausgaben der Unternehmen für Forschung und Entwicklung, was über dem für die USA geschätzten Wert von 6 % liegt, aber nur etwa die Hälfte des Anteils großer asiatischer Volkswirtschaften beträgt.

⁴⁷ JRC SETIS https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-research-and-innovation-data_en.

⁴⁸ In Anlehnung an die Ausgabe 2021 der IEA-Datenbank zu den Mitteln für technologische Forschung, Entwicklung und Demonstration (Energy Technology RD&D Budgets database).

⁴⁹ Beobachtung der Fortschritte von Mission Innovation: <http://mission-innovation.net/our-work/tracking-progress/>.

⁵⁰ Dies gilt unter anderem für Bulgarien, Griechenland, Kroatien, Lettland, Luxemburg und Slowenien.

Der (seit 2012) rückläufige Trend⁵¹ bei den Patentanmeldungen im Bereich der Technologien für saubere Energie⁵² scheint sich umzukehren, da die jährliche Zahl der Anmeldungen in der EU und weltweit wieder das Niveau von vor zehn Jahren erreicht. In der EU ist der Anteil „grüner“ Erfindungen im Bereich der Technologien zur Eindämmung des Klimawandels an der Gesamtzahl der Patentanmeldungen höher als in anderen großen Volkswirtschaften (und im weltweiten Durchschnitt), was auf eine stärkere Konzentration und Spezialisierung erfinderischer Tätigkeiten in diesem Bereich hinweist. In Bezug auf hochwertige Erfindungen⁵³ wird die EU lediglich von Japan überholt, was vor allem auf den Vorsprung Japans im Bereich der Verkehrstechnologien zurückzuführen ist; auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz ist die EU jedoch führend (Abbildung 4). Ferner ist in der EU nach wie vor ein Viertel der 100 Unternehmen angesiedelt, die in den letzten fünf Jahren die meisten hochwertigen Patente im Bereich der sauberen Energie angemeldet haben. Dennoch wächst (weltweit) die Sorge über die Auswirkungen von staatlich geförderter oder durch Subventionen gestützter technologischer Vorherrschaft, geschlossenen Märkten und unterschiedlichen Regeln und Maßnahmen zum Schutz des geistigen Eigentums auf Innovationen und Wettbewerbsfähigkeit in diesem Sektor, insbesondere in China. Trotz dieser Bedenken zielen mehr als ein Viertel der in den letzten fünf Jahren von EU-Patentanmeldern gemachten international geschützten Erfindungen im Bereich der sauberen Energie auch auf den chinesischen Markt. Was Kooperationen anbelangt, so arbeiten EU-Unternehmen, abgesehen von den innereuropäischen Allianzen, die aufgrund der geografischen Nähe und der EU-Kooperationsprogramme gebildet werden, tendenziell am häufigsten mit US-amerikanischen Unternehmen zusammen.⁵⁴ In den EU-Mitgliedstaaten werden 33 % der gemeinsamen Erfindungen im Rahmen von Verbindungen innerhalb der EU verwirklicht; 29 % sind das Ergebnis einer Zusammenarbeit mit den USA und nur 6 % werden zusammen mit China realisiert.

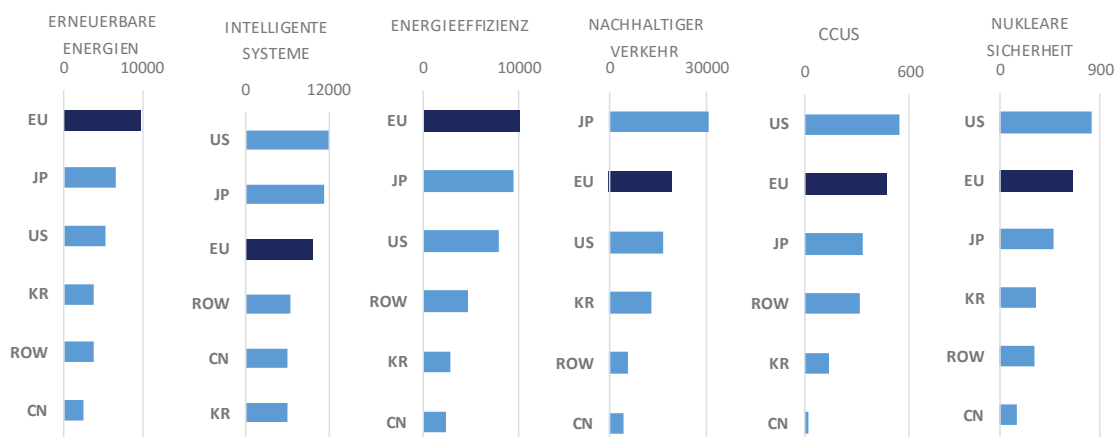
⁵¹ Mit Ausnahme Chinas, wo die Zahl der lokalen Patentanmeldungen weiter zunimmt, jedoch kein internationaler Schutz beantragt wird. (Siehe auch: *Are Patents Indicative of Chinese Innovation?* (Sind Patente ein Indikator für chinesische Innovation?) <https://chinapower.csis.org/patents>).

⁵² Technologien für CO₂-arme Energie im Rahmen der FuE-Prioritäten der Energieunion. Dies ist der allgemeine Trend; Ausnahmen gab es bei bestimmten Technologien (z. B. Batterien), für die während des gesamten Zeitraums ein kontinuierlicher Anstieg zu verzeichnen war. Das Gleiche gilt auch allgemein für die Anmeldung „grüner“ Patente im Bereich der Technologien zur Eindämmung des Klimawandels.

⁵³ Hochwertige Patentfamilien (Erfindungen) sind solche, für die Patentanmeldungen bei mehreren Ämtern eingereicht werden und somit ein Patentschutz in mehr als einem Land/Markt beantragt wird.

⁵⁴ JRC118983 Grassano, N., Hernández, H., Tübke, A., Amoroso, S., Dosso, M., Georgakaki, A. und Pasimeni, F., *The 2020 EU Industrial R&D Investment Scoreboard* (EU-Anzeiger 2020 für FuE-Investitionen der Industrie).

Abbildung 4: Positionierung der EU bei hochwertigen Patenten im Rahmen der FuI-Prioritäten der Energieunion (2005–2018)



Quelle: JRC⁵⁵ auf der Grundlage der Datenbank Pastat des Europäischen Patentamts.

2.2 Die Förderlandschaft für saubere Technologien in der EU

Die Rolle von Risikokapital

Neben der Einführung ausgereifterer Erzeugungstechnologien (z. B. Photovoltaik und Windkraft) werden die Entwicklung und der Ausbau neuartiger Technologien (z. B. lang- und kurzfristige Energiespeicherung, Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff und dessen Einsatz in Sektoren, in denen Emissionen schwer zu verringern sind, sowie CO₂-Abscheidung, -Nutzung und -Speicherung) und insbesondere die Klimatechnologien („Climate Tech“),⁵⁶ eine entscheidende Rolle dabei spielen, bis 2050 CO₂-Neutralität zu erreichen.

Seit der Pariser Klimaschutzkonferenz 2015 hat der Bereich Climate Tech erheblich an Dynamik gewonnen und wird für Risikokapitalinvestitionen, denen im Bereich der Innovation eine Vorreiterrolle zukommt, immer attraktiver. Da derartige Klimatechnologien lange Vorlaufzeiten bis zu ihrer Marktreife haben, während des gesamten Finanzierungszyklus von Start-ups viel Kapital benötigen und hohe Investitionen in FuI erfordern⁵⁷, sind staatliche Maßnahmen von entscheidender Bedeutung, um das Risiko für die Entwicklung und Umsetzung neuer Technologien in großem Maßstab zu verringern und die Beteiligung des Privatsektors zu fördern.

⁵⁵ JRC SETIS https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-research-and-innovation-data_en

⁵⁶ „Climate Tech“ umfasst ein breites Spektrum von Sektoren, mit denen die Herausforderung der Dekarbonisierung der Weltwirtschaft angegangen werden soll, um vor 2050 CO₂-Neutralität zu erreichen. Dazu gehören auf geringen bzw. negativen CO₂-Emissionen beruhende Ansätze zur Verringerung der wichtigsten sektoralen Emissionsquellen in den Bereichen Energie, bauliche Umwelt, Mobilität, Schwerindustrie, Lebensmittel und Landnutzung sowie Querschnittsbereiche wie die CO₂-Abscheidung und -Speicherung oder die Förderung eines besseren CO₂-Managements etwa durch Transparenz und Rechnungslegung.

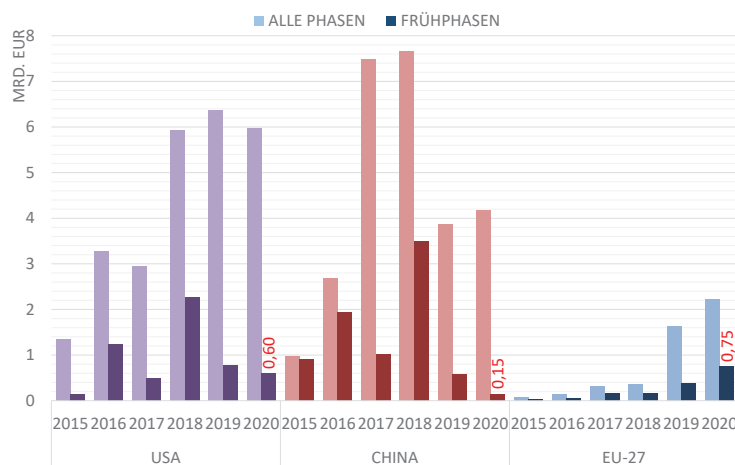
⁵⁷ Daraus entstand der Begriff der sogenannten „Deep Green“-Start-ups, die sich auf Spitzentechnologien zur Bewältigung ökologischer Herausforderungen (z. B. die Herstellung umweltfreundlicher Batterien oder Elektroflugzeuge) spezialisiert haben. „Deep Green“ befindet sich an der Schnittstelle zwischen den Bereichen „Climate Tech“ und „Deep Tech“, wobei Letzterer Unternehmen umfasst, die auf wissenschaftlichen Erkenntnissen in den Bereichen Technik, Mathematik, Physik und Medizin aufbauen. Der Bereich ist durch lange Forschungs- und Entwicklungszyklen sowie unerprobte Geschäftsmodelle geprägt.

Auf globaler Ebene hat sich der Bereich Climate Tech zudem als widerstandsfähig gegenüber der COVID-19-Pandemie erwiesen⁵⁸; er ist für Risikokapitalinvestitionen attraktiv geblieben, obwohl die allgemeine Investitionsdynamik rückläufig war und Risikokapital in beträchtlicher Höhe in für die Pandemiebekämpfung relevante Branchen wie Arzneimittel und Gesundheitswesen umgeschichtet wurde.⁵⁹

Die weltweite Risikokapitalfinanzierung im Bereich Climate Tech belief sich im Jahr 2020 auf 14 Mrd. EUR⁶⁰ und ist damit seit 2010 um mehr als 1250 % gestiegen. Vor diesem Hintergrund waren die Risikokapitalinvestitionen für in der EU ansässige Start-up- und Scale-up-Unternehmen im Bereich Climate Tech in den letzten fünf Jahren elfmal höher als zwischen 2009 und 2014 und beliefen sich im Jahr 2020 auf einen Betrag von rund 2,2 Mrd. EUR.

Im Jahr 2020 erhielten EU-Unternehmen 16 % der weltweiten Risikokapitalfinanzierung im Bereich Climate Tech (gegenüber lediglich 8 % der gesamten Risikokapitalfinanzierung in allen Bereichen).⁶¹ Gleichzeitig war 2020 das erste Jahr, in dem die Frühphaseninvestitionen in Start-ups in der EU höher waren als in den USA und China (Abbildung 5).

Abbildung 5: Risikokapitalinvestitionen in Start-up- und Scale-up-Unternehmen im Bereich Climate Tech



Quelle: Berechnung der JRC auf der Grundlage von Daten von PitchBook.

Allerdings liegen in der EU ansässige Start-ups im Bereich Climate Tech im Hinblick auf ihre Expansionsfähigkeit hinter vergleichbaren Unternehmen zurück, und die Gesamtinvestitionen zugunsten dieser Unternehmen sind in der EU nach wie vor weitaus geringer als in den USA (43 %). In den letzten fünf Jahren erhielten sie nur 6,9 % aller Spätphaseninvestitionen in Start-

⁵⁸ IEA, *World Energy Investment 2020* (Weltweite Energieinvestitionen 2020).

⁵⁹ Bellucci, A., Borisov, A., Gucciardi, G. und Zazzaro, A., *The reallocation effects of COVID-19: Evidence from Venture Capital investments around The World* (Die Umschichtungseffekte von COVID-19: Nachweise anhand von Risikokapitalinvestitionen weltweit), EUR 30494 EN, Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, Luxemburg, 2020, ISBN 978-92-76- 27082-9, doi:10.2760/985244, JRC122165.

⁶⁰ Dieser Betrag entspricht 4 % bzw. 6 % der Risikofinanzierung insgesamt, wie die JRC anhand von Daten von PitchBook bzw. PwC basierend auf Daten von Dealroom berechnet hat.

⁶¹ Berechnung der JRC auf der Grundlage von Daten von PitchBook für 2021.

ups im Bereich Climate Tech und damit deutlich weniger als vergleichbare Unternehmen in den USA (44 %) und China (40 %).⁶²

Auf den Energiesektor entfielen zwischen 2013 und 2019 8,2 % der weltweiten Risikokapitalinvestitionen im Bereich Climate Tech.⁶³ Europa (die EU und das Vereinigte Königreich) investiert einen größeren Anteil an Risikokapital in Energielösungen (23,5 %) als die USA (9,4 %) und China (weniger als 1 %); investiert wird vor allem in die Entwicklung von Schlüsseltechnologien für die Erzeugung erneuerbarer Energien (vor allem Photovoltaikzellen) und die Energiespeicherung (Batterien), um deren Verbreitung zu fördern.⁶⁴

Hindernisse und Chancen im Ökosystem für Risikokapital

Sowohl die allgemeine Dynamik der Risikokapitalfinanzierung im Bereich Climate Tech in der EU als auch die Attraktivität von EU-Energieunternehmen für Risikokapitalinvestoren sind verbunden mit den zahlreichen übergeordneten politischen Zielen in den Bereichen Klima und Energie, die auf Ebene der EU und der Mitgliedstaaten festgelegt wurden, sowie mit den Instrumenten zur Unterstützung des Bereichs Climate Tech (z. B. Dachfonds, Zuschüsse und Finanzinstrumente, Koinvestitionen in Eigenkapital und Fremdkapital sowie Forschung und Entwicklung).

Im Vergleich zur Situation in den USA und in China wird der Ausbau von in der EU ansässigen Unternehmen im Bereich Climate Tech noch immer durch strukturelle Hemmnisse behindert, etwa durch die Fragmentierung des Marktes und der Rechtsvorschriften in der EU, die das Wachstum hemmen und dazu führen, dass die Ökosysteme für Risikokapital unterschiedlich ausgereift sind. Weitere wesentliche Herausforderungen, die es zu bewältigen gilt, sind die Schwierigkeiten der EU bei der Umsetzung starker Forschungsleistungen in Innovation, das Erfordernis einer klaren Marschroute von der Frühphasenfinanzierung zu Investitionen in der Wachstumsphase, die Entwicklung internationaler Partnerschaften und grenzüberschreitender Fonds und der Mangel an geduldigem Kapital.

Zu diesem Zweck zielt Pfeiler III des Programms „Horizont Europa“ („Innovatives Europa“) darauf ab, die Entwicklung von bahnbrechenden und marktschaffenden Innovationen zu fördern; hierfür wurde der Europäische Innovationsrat (EIC) eingerichtet, der als zentrale Anlaufstelle Innovatoren dabei helfen soll, Märkte zu eröffnen, private Finanzmittel zu mobilisieren und ihre Unternehmen zu vergrößern. Ferner werden über „Horizont Europa“ die Initiative für europäische Innovationsökosysteme sowie das Europäische Innovations- und Technologieinstitut (EIT) unterstützt. EIT InnoEnergy beispielsweise verfügt über ein Portfolio von mehr als 250 innovativen Start-ups und Scale-ups, die bis zum Ende des Jahrzehnts 1,1 Gigatonnen CO₂-Äquivalent – das entspricht einem Drittel des europäischen CO₂-Reduktionsziels bis 2030 – und Energiekosten in Höhe von 9,1 Mrd. EUR pro Jahr einsparen sollen.⁶⁵ Auch über das Programm „InvestEU“ und die Kohäsionspolitik werden der Zugang zu und die Verfügbarkeit von Finanzmitteln gefördert, vor allem für KMU, aber auch für Midcap- und andere Unternehmen. Ferner leisten die Europäische Investitionsbank (EIB) und

⁶² Berechnung der JRC auf der Grundlage von Daten von PitchBook für 2021.

⁶³ PwC, *The State of Climate Tech 2020. The next frontier for venture capital* (Die aktuelle Lage im Climate-Tech-Sektor 2020. Die nächste Grenze für Risikokapital), 2020.

⁶⁴ PwC, *The State of Climate Tech 2020. The next frontier for venture capital* (Die aktuelle Lage im Climate-Tech-Sektor 2020. Die nächste Grenze für Risikokapital), 2020.

⁶⁵ EIT InnoEnergy, *Impact Report 2020* (Bericht über die Auswirkungen 2020).

der Europäische Investitionsfonds (EIF) wirksame Unterstützung für die Entwicklungen des Deep-Tech-Sektors, den Europa benötigt, um seine Nachhaltigkeitsziele zu erreichen.

Darüber hinaus tragen weitere Finanzierungsprogramme wie der Innovationsfonds, der Modernisierungsfonds und der Klima-Sozialfonds dazu bei, Einnahmen aus klimabezogenen Maßnahmen für die Unterstützung der Energiewende einzusetzen.

Um die mit Blick auf die Expansionsfähigkeit von Unternehmen bestehende Lücke zwischen der EU und anderen großen Volkswirtschaften zu schließen, gilt es zudem, private Investoren dafür zu gewinnen, sich aktiver am europäischen Risikokapitalmarkt und an der Finanzierung von Start-ups in den Bereichen Climate Tech und Deep Climate Tech zu beteiligen.⁶⁶ Beispielsweise ermöglicht der von der Europäischen Kommission, der Europäischen Investitionsbank (EIB) und Breakthrough Energy Ventures Europe (BEV-E) eingerichtete gemeinsame Pilotfonds in Höhe von 100 Mio. EUR die Kombination von institutionellen (risikoaversen) Ansätzen mit auf Risikokapitalinvestitionen basierenden (weniger risikoaversen) Ansätzen.⁶⁷ Die EIB hat dazu beigetragen, private Investitionen in das 2016 gegründete schwedische Unternehmen Northvolt zu mobilisieren, das in Schweden die europaweit erste Anlage zur Herstellung von „grünen“ Batterien im kommerziellen Maßstab baut und im Juni 2020 Finanzmittel in Höhe von 1,4 Mrd. EUR erhalten hat. EIT InnoEnergy hat das Unternehmen bei der Zusammenstellung eines Investorenkonsortiums und beim Zugang zu Mitteln der EIB unterstützt: Das EIB-Darlehen in Höhe von 350 Mio. EUR wird durch 886 Mio. EUR von privaten Investoren ergänzt.

Die EU-Taxonomie für nachhaltige Tätigkeiten bietet einen Rahmen zur Förderung von Investitionen mit Langzeitwirkung und definiert ökologisch nachhaltige Wirtschaftstätigkeiten. Das Paket zur EU-Industriestrategie 2020, das auch den sogenannten EU Start-up Nations Standard im Rahmen der KMU-Strategie umfasst, zeigt, dass die Europäische Kommission neue Initiativen ergreifen wird, um das Volumen der Risikokapitalinvestitionen zu erhöhen, private Investitionen zu steigern und die grenzüberschreitende Expansion und Vergrößerung von KMU zu erleichtern. Durch die EU-Strategie für ein nachhaltiges Finanzwesen von 2021 sollen geeignete Instrumente und Anreize für den Zugang zu Übergangsfinanzierung geschaffen werden, wobei insbesondere die Unterstützung von KMU im Mittelpunkt steht. Die Initiative zur digitalen Innovation und Expansion konzentriert sich auf die Frühphase und die Wachstumsphase innovativer Start-ups und KMU im Deep-Tech-Bereich in der Region Mittel-, Ost- und Südosteuropa. Weitere Mechanismen zur Förderung der Einführung und umfassenden Umsetzung innovativer Lösungen sind die Fazilität „Connecting Europe“ und die Fonds der Kohäsionspolitik.

Durch eine wirksame Straffung dieser Mechanismen und die Nutzung von Synergien zwischen den einzelnen Instrumenten kann in der EU ansässigen Start-ups im Bereich Climate Tech weiter zum Aufschwung verholfen werden, indem die Unterstützung durch Risikokapitalfonds branchenübergreifend verbessert und beschleunigt und somit die Verbindung zwischen technologischer Innovation und deren Umsetzung gestärkt wird.

⁶⁶ Start-ups im Bereich Deep Tech bauen auf wissenschaftlichen Erkenntnissen auf und sind durch lange Forschungs- und Entwicklungszyklen sowie unerprobte Geschäftsmodelle gekennzeichnet. Sie nutzen Spitzentechnologien, um ökologische Herausforderungen zu bewältigen.

⁶⁷ [Europäische Kommission, EIB und „Breakthrough Energy Ventures“ richten neuen Fonds von 100 Millionen Euro für Investitionen in saubere Energien ein \(eib.org\)](#)

3. FOKUS AUF SCHLÜSSELTECHNOLOGIEN UND LÖSUNGEN FÜR SAUBERE ENERGIE

Im folgenden Abschnitt wird die Wettbewerbsfähigkeit ausgewählter Technologien bewertet, die im Zusammenhang mit dem von der Europäischen Kommission im Juli 2021 verabschiedeten Paket von Legislativvorschlägen zur Umsetzung des europäischen Grünen Deals eine entscheidende Rolle spielen.

Zunächst werden die Bereiche Wind- und Solarenergie betrachtet, für die ein höheres relatives Wachstum bis 2030 prognostiziert wird. Im Anschluss daran befasst sich die Analyse mit Stromspeichertechnologien wie Batterien und erneuerbarem Wasserstoff, da diese von entscheidender Bedeutung sind, um die allgemeine Flexibilität des Energiesystems zu erhöhen und gleichzeitig für eine optimale Marktintegration von Strom aus erneuerbaren Quellen zu sorgen. Im Zusammenhang mit der Elektrifizierung unserer Gesellschaft befasst sich die Studie mit der Wettbewerbsfähigkeit von Wärmepumpen, da diese eine maßgebliche Rolle bei der Dekarbonisierung des Gebäudesektors spielen. Darüber hinaus werden erneuerbare Kraftstoffe beleuchtet, die erforderlich sind, um die Dekarbonisierung bestimmter Verkehrsträger zu erleichtern. Schließlich widmet sich die Analyse intelligenten Netzen, die als horizontale Technologie die Kombination verschiedener Technologien erleichtern werden. Im Rahmen der Bewertung der einzelnen Technologien wird zunächst die aktuelle Situation dargestellt und ein Ausblick gegeben, danach folgen eine Analyse der jeweiligen Wertschöpfungskette und schließlich eine Analyse des globalen Marktes.

3.1 Offshore- und Onshore-Windkraft

Analyse der Technologie

Im Jahr 2020 wurde in der EU eine Windkraftleistung (sowohl Onshore als auch Offshore) in Höhe von 10,5 GW installiert, womit sich die Gesamtleistung der Windkraft in der EU auf 178,7 GW erhöht hat.⁶⁸ Allein im Bereich der Offshore-Windenergie ist die Gesamtleistung von 1,6 GW im Jahr 2010 auf 14,6 GW im Jahr 2020 deutlich gestiegen.⁶⁹ Die derzeitigen nationalen Ziele, wie sie in den nationalen Energie- und Klimaplänen (NEKP) formuliert sind, lassen vermuten, dass die Ziele für erneuerbare Offshore-Energie für 2030 (mindestens 60 GW) erreicht werden können. Die meisten der bis 2030 zu installierenden Offshore-Windkraftanlagen werden in der Nordsee (47 GW) errichtet, doch auch in anderen Meeresräumen, insbesondere in der Ostsee (21,6 GW), im Atlantik (11,1 GW), im Mittelmeer (2,7 GW) und im Schwarzen Meer (0,3 GW), ist mit erheblichen Kapazitäten zu rechnen. Die Erschließung neuer Meeresräume erfordert eine Weiterentwicklung von schwimmenden Technologien sowie den Ausbau von Hafeninfrastrukturen. Darüber hinaus wird es für den Ausbau der Offshore-Windenergie wichtig sein, das künftige Offshore-Netz auf der Grundlage von hybriden Projekten⁷⁰ zu errichten, wenn sich dadurch die Kosten und die Nutzung des Meeresraums verringern lassen.

⁶⁸ JRC auf der Grundlage von Informationen des Global Wind Energy Council (GWEC), 2021.

⁶⁹ JRC auf der Grundlage von Informationen des Global Wind Energy Council (GWEC), 2021.

⁷⁰ Sogenannte Offshore-Hybrideinrichtungen haben eine Doppelfunktion, da die Übertragung von Offshore-Windenergie an Land (zum Verbrauch) mit Verbindungsleitungen kombiniert wird (siehe Erwägungsgrund 66 der Verordnung (EG) 2019/943 über den Elektrizitätsbinnenmarkt sowie COM(2020) 741 final, S. 14).

Gemäß aktuellen Prognosen zu den künftigen Kosten von Energie aus im Boden verankerten Offshore-Windkraftanlagen ist bis 2050 mit Stromgestehungskosten in Höhe von 30–60 EUR pro MWh (und somit ähnlichen Kosten wie bei Onshore-Anlagen) zu rechnen.⁷¹

Was die Onshore-Windkraft anbelangt, so ist der seit 2018 zu beobachtende Rückgang des jährlichen Zubaus auf den mäßigen Ausbau in Deutschland zurückzuführen, der durch komplexe Genehmigungsvorschriften und mögliche Rechtsstreitigkeiten bedingt ist. Aufgrund der Altersstruktur der Onshore- und Offshore-Windkraftanlagen in der EU ist damit zu rechnen, dass das Repowering in den kommenden Jahren eine entscheidende Rolle spielen wird. Der Ersatz von Windkraftanlagen am Ende ihrer Lebensdauer durch neue Anlagen oder die Verlängerung der Lebensdauer durch Aufrüstung bestimmter Komponenten bietet die Möglichkeit, die Anlagen zu modernisieren, die Ressource Wind an den besten Standorten zu nutzen und womöglich auch die soziale Akzeptanz zu verbessern, da bestehende Standorte weiter genutzt werden können, wodurch Arbeitsplätze und Einnahmen für die Kommunen vor Ort erhalten bleiben. Allerdings ist die Stilllegung und Erneuerung bestehender Windenergieanlagen mit Herausforderungen in Bezug auf Ressourceneffizienz, Rohstoffversorgung und Abfallaufkommen verbunden, da viele Komponenten der bestehenden Anlagen noch nicht wiederverwendet oder recycelt werden können. Für eine bessere Kreislauffähigkeit von Windenergieanlagen bedarf es weiterer Anstrengungen in Bezug auf Forschung und Entwicklung sowie beim Ausbau. Ob sich Eigentümer von Windkraftanlagen für eine Stilllegung oder für eine der bestehenden Möglichkeiten des Repowering entscheiden, hängt von Strompreisen, Förderregelungen und Genehmigungsverfahren ab. Der derzeitige Anteil der Onshore-Windkraft an der gesamten Stromerzeugung beträgt 13,7 % (2020). In den Szenarien des Klimaplan 2030 wird davon ausgegangen, dass durch Onshore-Windenergie im Jahr 2030 847 TWh (Anteil an der Gesamtstromerzeugung: 27,3 %) und im Jahr 2050 2259 TWh (Anteil an der Gesamtstromerzeugung: 32,9 %) produziert werden.⁷²

Die privaten Ausgaben für FuI im Bereich der Windtechnologie bewegten sich im Laufe der letzten zehn Jahre konstant zwischen 1,6 und 1,9 Mrd. EUR pro Jahr⁷³ und übertrafen damit die öffentlichen Investitionen in Forschung und Entwicklung in diesem Zeitraum um das Zehnfache.

Mit einem Anteil von 57 % im Zeitraum 2015–2017 ist die EU weltweit führend bei hochwertigen Patenten auf dem Gebiet der Windtechnologien. Blickt man auf andere große Volkswirtschaften, so liegt der Anteil der USA bei 18 %, Japans bei 11 %, Chinas bei 5 % und Koreas bei 1 %.⁷⁴ Die Länder mit den meisten hochwertigen Patenten weltweit waren zwischen 2015 und 2017 Dänemark, Deutschland, die USA, Japan und China. Die meisten hochwertigen Patente werden von großen Erstausrüstern aus der EU angemeldet; dennoch ist seit 2012 ein Rückgang zu verzeichnen, da große Unternehmen aus den USA (z. B. General Electric) und Japan (z. B. Mitsubishi Heavy Industries oder Hitachi) bei der Anmeldung hochwertiger Patente immer mehr an Boden gewinnen. Die auf dem Gebiet der Windenergie tätigen EU-Forschungseinrichtungen zählen zu den anerkanntesten Institutionen auf diesem Gebiet. Von den 20 Einrichtungen, die am häufigsten zitiert werden, befinden sich neun in der EU.

⁷¹ Beiter P., Cooperman A., Lantz E., Stehly T., Shields M., Wiser R., Telsnig T., Kitzing L., Berkhout V., Kikuchi Y., *Wind power costs driven by innovation and experience with further reductions on the horizon* (Durch Innovation und Erfahrung bedingte Kosten der Windenergie, weitere Kostensenkungen absehbar), WIREs Energy Environ, 2021.

⁷² CTP-MIX-Szenario der Kommission.

⁷³ WindEurope, 2021.

⁷⁴ JRC auf der Grundlage der Datenbank Pastat des Europäischen Patentamts.

Analyse der Wertschöpfungskette

Die Energieerzeugung aus Windkraft hat für Europa strategische Bedeutung. Laut Schätzungen sind in diesem Sektor zwischen 240 000 und 300 000 Menschen beschäftigt.⁷⁵ Die meisten europäischen Fertigungsanlagen befinden sich in dem Land, in dem das jeweilige Unternehmen seinen Hauptsitz hat, oder in Ländern, in denen die Windenergie verstärkt genutzt wird. 48 % der in der Windbranche tätigen Unternehmen haben ihren Hauptsitz in der EU. 214 operative Fertigungsanlagen (und damit 26 % aller Anlagen weltweit) sind in der EU ansässig.⁷⁶ Im Jahr 2018 erwirtschaftete die Wertschöpfungskette der Windenergie in der EU einen Umsatz von 36 Mrd. EUR.⁷⁷

Der Windkraftsektor in der EU hat seine Innovationsfähigkeit unter Beweis gestellt. In den Teilen der Wertschöpfungskette, die sich mit Mess- und Überwachungssystemen für Onshore-Windkraftanlagen befassen, einschließlich Forschung und Produktion, ist die EU führend. Darüber hinaus verfügt die Windkraftindustrie der EU über hohe Fertigungskapazitäten für die Komponenten, auf die ein großer Anteil der Kosten von Windkraftanlagen entfällt (Türme, Getriebe und Rotorblätter), sowie die Komponenten, bei denen Synergien mit anderen Industriezweigen bestehen (Generatoren, Stromrichter und Kontrollsysteme).

Allerdings sind weitere Anstrengungen erforderlich, um die Kreislauffähigkeit der Windenergiekomponenten zu verbessern. Außerdem gilt es, die kumulativen Auswirkungen der Offshore-Windenergie auf die Ökosysteme der Ozeane zu erforschen.

Analyse des globalen Markts

Unter den zehn wichtigsten Erstausrüstern waren europäische Unternehmen 2018 mit einem Marktanteil von 43 % führend, gefolgt von chinesischen (32 %) und nordamerikanischen (10 %) Unternehmen. Die europäischen Erstausrüster im Windenergiesektor nahmen in den letzten Jahren eine führende Position ein. 2020 wurden sie erstmals von chinesischen Erstausrüstern überholt (EU: 28 %; China: 42 %)⁷⁸, was darauf zurückzuführen, dass China von Einspeisetarifen zu einem ausschreibungs-basierten Fördersystem übergegangen ist und dadurch die Zahl der neuen Anlagen auf dem chinesischen Markt für Windkraft deutlich zugenommen hat.

In den letzten 20 Jahren verzeichnete die EU eine positive Handelsbilanz bei Ausrüstungsgegenständen im Bereich Windenergie. Allerdings ist dieser Indikator ins Stocken geraten.⁷⁹ Dies ist zum Teil darauf zurückzuführen, dass andere Volkswirtschaften gegenüber der EU und ihrer Vorreiterrolle aufholen, zum Teil aber auch auf politische Maßnahmen von Drittländern, durch die deren heimischer Markt geschützt bzw. EU-Unternehmen gezwungen werden sollen, ihre Produktionskapazitäten lokal auszurichten (z. B. durch Auflagen bezüglich des heimischen Fertigungsanteils). So sind beispielsweise die Ausfuhren von Windkraft-Stromerzeugungsaggregaten nach China seit 2007 drastisch zurückgegangen, nachdem politische Maßnahmen zur Unterstützung der dortigen Industrie eingeführt worden waren, und

⁷⁵ WindEurope, 2021.

⁷⁶ WindEurope, 2021.

⁷⁷ JRC, im Auftrag der GD GROW, *European climate-neutral industry competitiveness scoreboard – CIndECS* (Anzeiger zur Wettbewerbsfähigkeit der klimaneutralen Industrie in Europa) (Entwurf), 2021. IEA-Codes: 32 Windenergie.

⁷⁸ Das ergibt eine Analyse der wichtigsten zehn Erstausrüster in Bezug auf ihren Marktanteil. GWEC, *Global Offshore Wind Report 2020* (Bericht über die globale Offshore-Windkraft 2020), 2020.

⁷⁹ JRC auf der Grundlage von Eurostat (Comext).

haben sich bis heute nicht erholt. Umgekehrt waren 21 % der chinesischen Exporte im Bereich Windenergie im Jahr 2018 für den EU-Markt bestimmt, was knapp 10 % des EU-Marktes entspricht.

Seit 2016 sind die Gewinnmargen vor Zinsen und Steuern (EBIT) der EU-Erstausrüster rückläufig, was auf den starken Wettbewerb bei Aufträgen für Turbinen insbesondere im Zeitraum 2017–2018 sowie die gestiegenen Materialkosten für wichtige Turbinenbauteile zurückzuführen ist. Obwohl 2020 in Bezug auf Windkraftanlagen ein Rekordjahr war⁸⁰, wurden diese Faktoren durch die Auswirkungen der COVID-19-Pandemie, die alle Hersteller vor logistische Herausforderungen stellten, noch verschärft.

Ein großer Teil der kritischen Rohstoffe für Windkraftanlagen wird aus China importiert⁸¹; allgemein ist in diesem Bereich eine Konzentration der vorgelagerten Lieferketten zu beobachten. Käme es künftig zu Problemen bei der Versorgung mit Materialien, würde dies ein potenzielles Risiko für die Windenergieindustrie der EU darstellen. Darüber hinaus gibt es ökologische Bedenken im Zusammenhang mit den Verbundrotorblättern von Windkraftanlagen, die das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben, da diese noch immer schwer zu recyceln sind. Im Einklang mit dem Aktionsplan 2020 der Kommission zu kritischen Rohstoffen⁸² werden derzeit Maßnahmen ergriffen, um die Versorgung mit kritischen Rohstoffen sowohl aus primären als auch aus sekundären Quellen zu diversifizieren, die Ressourceneffizienz und die Kreislauffähigkeit zu verbessern und gleichzeitig eine verantwortungsvolle Beschaffung weltweit zu fördern. Die Kreislauffähigkeit und die damit verbundene Wiederverwendung, Wiederverwertung und Substitution sind zudem vorrangige Innovationsbereiche, um diese Risiken zu mindern und gleichzeitig die Nachhaltigkeit des Sektors insgesamt zu verbessern, und sind Teil des Arbeitsprogramms 2021–2022 für Horizont Europa. Des Weiteren hat sich die europäische Windkraftindustrie verpflichtet, 100 % der ausgemusterten Rotorblätter wiederzuverwenden, zu recyceln oder zu verwerten, und will einen Fahrplan entwickeln, um die Kreislauffähigkeit von Rotorblättern für Windkraftanlagen weiter zu beschleunigen.⁸³

Die EU hat 42 % des Markts für Offshore-Windkraftanlagen kommerzialisiert, wobei die installierte Gesamtleistung im Jahr 2020 bei 14,6 GW lag. Es wird erwartet, dass Europa in den nächsten zehn Jahren seine Führungsposition in Bezug auf das jährliche Wachstum der Offshore-Windenergie behaupten wird. Allerdings ist damit zu rechnen, dass China, der asiatisch-pazifische Raum und Nordamerika in den kommenden Jahren einen bedeutenden Marktanteil (d. h. installierte Leistung) im Offshore-Windsegment⁸⁴ erlangen werden. Im Bereich der Onshore-Windkraft wird China (mit einem durchschnittlichen jährlichen Marktanteil von rund 50 % im Zeitraum 2020–2025) der größte Markt bleiben, gefolgt von Europa (18 %), Nordamerika (14 %) und Asien (ohne China) (8 %).

Die europäische Fertigung von Offshore-Anlagen in Häfen (geschätzte derzeitige Produktionskapazität von 6–8 GW/Jahr) wird erheblich ausgebaut werden müssen, um dem

⁸⁰ Global Wind Energy Council, *Global Wind Report* (Bericht über die globale Windkraft), 2021.

⁸¹ Europäische Kommission, *Critical Raw Materials in strategic technologies and sectors – a foresight study* (Zukunftsstudie über kritische Rohstoffe für strategische Technologien und Sektoren), 2020.

⁸² Mitteilung der Kommission: „Widerstandsfähigkeit der EU bei kritischen Rohstoffen: Einen Pfad hin zu größerer Sicherheit und Nachhaltigkeit abstecken“ (COM(2020) 474 final).

⁸³ [Wind industry calls for Europe-wide ban on landfilling turbine blades | WindEurope](#) (Windkraftindustrie fordert europaweites Verbot der Deponierung von Turbinenblättern | WindEurope).

⁸⁴ GWEC, *Global Offshore Wind Report 2020* (Bericht über die globale Offshore-Windkraft 2020), 2020.

jährlichen Kapazitätzuwachs von schätzungsweise 16 GW Rechnung zu tragen und die Nachfrage im Zeitraum 2030–2050 zu decken.⁸⁵

3.2 Photovoltaik (PV)

Analyse der Technologie

Die Photovoltaikbranche entwickelt sich zu einem sehr großen und innovativen Industriezweig, der unerwartet schnell wächst. Dies ist das kombinierte Ergebnis einer beschleunigten technologischen Entwicklung, von Ausbaustrategien und der Einrichtung großer Produktionsanlagen mit niedrigen Kosten, vor allem in Asien. Photovoltaik ist für künftige klimaneutrale Stromerzeugungssysteme von zentraler Bedeutung.

Weltweit dürften bis 2030 mehr als 3,1 TW und bis 2050 etwa 14 TW an Photovoltaik-Leistung installiert werden. Die im Zeitraum 2020–2050 für die zusätzliche Solarstromleistung erforderlichen Investitionen werden auf rund 4,2 Billionen USD geschätzt.⁸⁶ In der EU werden bis 2030 voraussichtlich 0,4 TW (bis 2021 schätzungsweise fast 160 GW) und bis 2050 1 TW an Photovoltaik-Leistung installiert.^{87,88} Die Branche selbst geht in ihren Szenarien von einer noch größeren Durchdringung aus.⁸⁹

Was den Anteil an installierter Leistung anbelangt, so stehen Systeme für Privathaushalte, die noch vor fünf Jahren in der EU vorherrschend waren, mit 25,4 % mittlerweile an zweiter Stelle nach dem Segment der Großanlagen mit einem Anteil von 30,5 %. Nachdem die Investitionen im Jahr 2011 ihren Höchststand erreicht hatten, sind die öffentlichen Gesamtinvestitionen der EU in Forschung, Entwicklung und Demonstration im Bereich Photovoltaik zurückgegangen und liegen nun unter dem Niveau vom Anfang des Jahrzehnts.⁹⁰

Im Laufe des vergangenen Jahres ist die EU, was hochwertige Erfindungen anbelangt, von Platz zwei (nach Japan) auf Platz drei (nach Japan und Korea) abgerutscht.⁹¹ Wenn der derzeitige Trend anhält, wird die EU auch bald von China und seinen „hochwertigen“ Erfindungen überholt. Was die Überlebensfähigkeit des Fertigungssektors in der EU anbelangt, so werden insbesondere Zellen und Module immer komplexer, weshalb weitere Investitionen erforderlich sind, um auf dem neuesten Stand zu bleiben.

Analyse der Wertschöpfungskette

Die EU ist in mehreren Segmenten der Wertschöpfungskette der Photovoltaikbranche weltweit führend, und zwar in den Bereichen Forschung und Entwicklung, Herstellung von Polysilizium sowie Ausrüstung und Maschinen für die Fertigung von Photovoltaikanlagen.⁹²

⁸⁵ JRC, Datenbank der Windkraftanlagenhersteller, 2021, und WindEurope, 2020.

⁸⁶ CTP-MIX-Szenario der Kommission.

⁸⁷ IEA, *World Energy Outlook 2020* (Weltenergiebericht 2020) – *Sustainable Development Scenario* (Szenario für nachhaltige Entwicklung).

⁸⁸ Internationale Agentur für Erneuerbare Energien (IRENA), *World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway* (Ausblick auf die weltweite Energiewende: Der Weg zu 1,5°C), 2019.

⁸⁹ https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2020/04/SolarPower-Europe-LUT_100-percent-Renewable-Europe_mr.pdf?cf_id=11789

⁹⁰ JRC 2021, auf der Grundlage von Daten der IEA.

⁹¹ JRC 2021, auf der Grundlage der Datenbank Patstat des EPA.

⁹² BNEF, *Solar PV Trade and Manufacturing – A Deep Dive* (Handel und Fertigung im Photovoltaikbereich – Ein vertiefter Einblick), 2021.

Einer der führenden Hersteller von Polysilizium ist in der EU ansässig. Darüber hinaus sind die EU-Unternehmen im nachgelagerten Teil der Wertschöpfungskette wettbewerbsfähiger und spielen eine Schlüsselrolle in den Segmenten Überwachung und Steuerung sowie Systembilanz, insbesondere was die Fertigung von Wechselrichtern und Solartrackern angeht. Auch im Segment der schlüsselfertigen Errichtung haben europäische Unternehmen ihre führende Position behauptet.

Bei der Herstellung von Solarzellen und -modulen hingegen hat die EU ihren Marktanteil verloren. Im Falle einer Wiederbelebung der europäischen Fertigungsindustrie im Bereich der Silizium-Solarzellen und -Module, die angesichts der aktuellen Zahl potenzieller Projekte nicht allzu unrealistisch erscheint, müsste die Abhängigkeit von einigen kritischen Rohstoffen wie Bor, Gallium, Germanium und Indium in der Lieferkette berücksichtigt werden. Aus einer unlängst durchgeführten Studie⁹³ geht hervor, dass die EU, was das Verhältnis zwischen erzeugter Energie und der bei der Herstellung und dem Betrieb von Photovoltaikanlagen verbrauchten Energie angeht, die besten Ergebnisse aufweist, gefolgt von China und den USA. Ebenso hat die von Photovoltaikanlagen erzeugte Energie in der EU, gefolgt von USA und China, die niedrigste CO₂-Intensität. Zudem weist die EU die höchste Energierendite für CO₂ auf, wobei China diesbezüglich am schlechtesten abschneidet und die USA im Mittelfeld liegen.⁹⁴ Dieser letztgenannte Indikator bildet die CO₂-Intensität des Produktionszyklus der in den Fertigungsverfahren verwendeten Elektrizität ab.

Für das Jahr 2018 wurden in der EU 109 000 direkte und indirekte Arbeitsplätze in der Photovoltaikbranche gemeldet, wobei zwischen 2015 und 2018 ein Anstieg von 42 % zu verzeichnen war.⁹⁵ In den vorläufigen Ergebnissen einer neueren Studie ist für 2020 von rund 123 000 direkten und 164 000 indirekten Vollzeitbeschäftigten, d. h. insgesamt 287 000 Arbeitsplätzen, in der EU-Photovoltaikindustrie die Rede.⁹⁶

Was die beruflichen Qualifikationen angeht, so sind in der Photovoltaikbranche hoch qualifizierte Arbeitskräfte in den Bereichen Forschung und Entwicklung, Polysilizium- und Waferproduktion sowie Zellen- und Modulherstellung tätig. Auch die Bereiche Planung, Beschaffung und Bau (Engineering, Procurement, Construction – EPC), Betrieb und Wartung (Operation and Maintenance – O&M) sowie Stilllegung und Recycling erfordern ein hohes Qualifikationsniveau.

Analyse des globalen Markts

Mit der Zunahme der installierten Photovoltaikanlagen ist das Handelsdefizit der EU in Bezug auf die Einfuhr von Solarmodulen seit 2016 wieder gestiegen, nachdem es zwischen 2011 und 2016 aufgrund des rückläufigen Ausbaus von Photovoltaikanlagen zurückgegangen war. Im Jahr 2019 ist das Defizit auf 5,7 Mrd. EUR gewachsen. Da sich die Ausfuhren im Laufe der Jahre nicht erheblich verändert haben, ist dieses Ungleichgewicht auf das Einfuhrvolumen

⁹³ F. Liu und J.C.J.M. van den Berg, Energy Policy 138 (2020) 111234.

⁹⁴ F. Liu und J.C.J.M. van den Berg, Energy Policy 138 (2020) 111234.

⁹⁵ JRC 2021, auf der Grundlage von Daten von EurObserv'ER.

⁹⁶ Solar Power Europe, *Solar PV job market study for the European Union* (Studie über den Arbeitsmarkt im Bereich Photovoltaik in der Europäischen Union), 2021.

zurückzuführen. Die EU ist bei ihren Einfuhren im Bereich Photovoltaik stark von chinesischen und anderen asiatischen Unternehmen abhängig.⁹⁷

Die weltweite Wertschöpfung der Polysilizium-, Ingots- und Waferproduktion sowie der Solarzellen- und Modulfertigung liegt derzeit bei rund 57,8 Mrd. EUR. Der Anteil der EU (12,8 %) entspricht einem Betrag von 7,4 Mrd. EUR. Dieser Anteil wird hauptsächlich durch die Herstellung von Polysilizium erwirtschaftet. Bei der Herstellung von Solarzellen und -modulen findet nahezu das gesamte Wachstum außerhalb der EU statt.⁹⁸ Angesichts der steigenden Marktnachfrage in Europa und weltweit sowie der Entwicklung neuer Produktionstechniken zeigen europäische Hersteller wieder mehr Interesse am Aufbau von Produktionskapazitäten in der EU, die auf den modernsten Technologien basieren. In diesem Zusammenhang begrüßte die Europäische Kommission in ihrer aktualisierten EU-Industriestrategie⁹⁹ die Bemühungen im Rahmen der Europäischen Solarinitiative der Industrie, die Produktion im Bereich der Photovoltaik auszuweiten. In der EU laufen derzeit bereits mehrere Projekte zur Herstellung von Wafern, Solarzellen und Modulen an. Die Europäische Kommission wird 2022 eine Mitteilung zur Solarenergie veröffentlichen.

Die Rolle der Prosumenten und Energiegemeinschaften

Die Nutzung und Erzeugung erneuerbarer Energien wie der Photovoltaik, aber auch die Energieeffizienz können durch Energiegemeinschaften gestärkt werden, die es den Verbrauchern ermöglichen, eine aktive Rolle auf dem Energiemarkt zu übernehmen. Mittlerweile engagieren sich mindestens zwei Millionen europäische Bürgerinnen und Bürger gemeinsam in mehr als 8400 Energiegemeinschaften, in deren Rahmen seit dem Jahr 2000 mindestens 13 000 Projekte realisiert wurden.¹⁰⁰ Die derzeit von den Energiegemeinschaften in Europa installierte Gesamtleistung an erneuerbaren Energien beläuft sich laut Schätzungen auf mindestens 6,3 GW und trägt in der Regel mit rund 1 bis 2 % zur installierten Leistung auf nationaler Ebene bei, wobei der höchste Beitrag im Falle Belgiens bei 7 % liegt. Der Löwenanteil der installierten Leistung entfällt auf die Photovoltaik, gefolgt von der Onshore-Windkraft. Einer vorsichtigen Schätzung zufolge beläuft sich der Gesamtbetrag der investierten Finanzmittel auf mindestens 2,6 Mrd. EUR.¹⁰¹

Energiegemeinschaften sind heutzutage in verschiedenen Rechtsformen organisiert. Sie unterscheiden sich in Bezug auf ihre Tätigkeitsbereiche, Technologieportfolios, Größe und Mitgliederstruktur. Aktuell leisten Energiegemeinschaften Folgendes: Sie steigern das Bewusstsein für und die Akzeptanz von Technologien, fördern die Energieeffizienz, erzeugen und verteilen Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien, bieten Dienstleistungen im Bereich der E-Mobilität und betreiben Energieberatungsdienste. Sie experimentieren auf innovative Weise mit Geschäftsmodellen und Selbstversorgungskonzepten, die lokalen Gemeinschaften zugutekommen sollen. Inwieweit Energiegemeinschaften aufrechterhalten und ausgeweitet

⁹⁷ Bericht der JRC: *EU energy technology trade* (Der Handel mit Energietechnik in der EU) (<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC107048>).

⁹⁸ JRC, *Snapshot of Photovoltaics* (Momentaufnahme zur Photovoltaik), 2021.

⁹⁹ Mitteilung der Kommission: „Aktualisierung der neuen Industriestrategie von 2020: einen stärkeren Binnenmarkt für die Erholung Europas aufbauen“ (COM(2021) 350 final).

¹⁰⁰ Schwanitz, V. J., Wierling, A., Zeiss, J. P., von Beck, C., Koren, I. K., Marcroft, T., ... Dufner, S., *The contribution of collective prosumers to the energy transition in Europe - Preliminary estimates at European and country-level from the COMETS inventory* (Der Beitrag kollektiver Prosumenten zur Energiewende in Europa – Vorläufige Schätzungen auf europäischer und Länderebene auf Grundlage einer Bestandsaufnahme von COMETS), 22. August 2021 (<https://doi.org/10.31235/osf.io/2ymuh>).

¹⁰¹ Ebd.

werden können, hängt von davon ab, ob günstige Rechtsvorschriften und finanzielle Anreize bestehen und ob Technologien, die für die Bürger zugänglich sind, wettbewerbsfähig sind.

Durch die politischen Rahmenbedingungen der EU sollen Impulse für die Entwicklung von Energiegemeinschaften in der gesamten EU, auch grenzüberschreitend, gegeben werden;¹⁰² doch viel wird davon abhängen, wie die Mitgliedstaaten den Regelungsrahmen für diese Art von Modellen umsetzen werden.¹⁰³ Im Rahmen der nationalen Energie- und Klimapläne (NEKP) sind die Mitgliedstaaten bereits verpflichtet, über Gemeinschaften im Bereich der erneuerbaren Energien Bericht zu erstatten, doch nur wenige Mitgliedstaaten haben quantitative Ziele und konkrete Maßnahmen für die Entwicklung von Energiegemeinschaften in ihre NEKP aufgenommen. Um die Entwicklung von Energiegemeinschaften im Sinne der EU-Richtlinie zu fördern, richtet die Kommission derzeit ein Datenarchiv über Energiegemeinschaften ein, mit dem EU-weit zur Verbreitung bewährter Verfahren beigetragen und technische Unterstützung für die Entwicklung konkreter Initiativen für Energiegemeinschaften geleistet werden soll.

Ebenso wie die Energiegemeinschaften wird durch den EU-Rahmen auch der Eigenverbrauch (durch sogenannte Prosumenten) gefördert, und zwar durch das Erfordernis, dass Möglichkeiten für den individuellen und kollektiven Eigenverbrauch und die Befreiung von Netztarifen geschaffen werden müssen. Auch hier wird viel davon abhängen, wie der rechtliche Rahmen, die geltenden Netztarife und Steuern sowie die zentralen Informationsstellen ausgestaltet werden, um den kollektiven Eigenverbrauch in mehrstöckigen Wohngebäuden – und darüber hinaus, wenn die Mitgliedstaaten dies beschließen – zu fördern. Rechtliche Einschränkungen und eine ungünstige Besteuerung können ernsthafte Hindernisse für den Ausbau des Eigenverbrauchs darstellen.

3.3 Wärmepumpen für Anwendungen in Gebäuden

Analyse der Technologie

Bei Wärmepumpen für Anwendungen in Gebäuden¹⁰⁴ handelt es sich um ausgereifte, handelsübliche Produkte. Sie lassen sich anhand verschiedener Kriterien einstufen, etwa nach der Quelle, aus der die erneuerbare Energie gewonnen wird (Luft, Wasser oder Boden), dem verwendeten Wärmeübertragungsmittel (Luft oder Wasser), ihrem Zweck (Raumkühlung/-heizung, Erwärmung von Wasser für den häuslichen Gebrauch) sowie den anvisierten Marktsegmenten (Wohngebäude, kleine Gewerbebetriebe und Wärmenetze).

In der EU hat die Wärmeerzeugung durch Wärmepumpen in den letzten fünf Jahren um jährlich 11,5 % zugenommen und im Jahr 2020 eine Leistung von 250 TWh erreicht.¹⁰⁵ Dieser Trend wird weiter zunehmen, da die Elektrifizierung im Wärmebereich einen maßgeblichen Beitrag auf dem Weg zur Klimaneutralität im Gebäudesektor leisten wird.

¹⁰² Auch durch finanzielle Unterstützung, etwa im Rahmen der Kohäsionspolitik.

¹⁰³ Dieser Rahmen umfasst die Erneuerbare-Energien-Richtlinie II und die Elektrizitätsbinnenmarkttrichtlinie. In beiden Richtlinien werden die Bedingungen festgelegt, unter denen die Mitgliedstaaten in ihren nationalen Umsetzungsbestimmungen Optionen für die grenzüberschreitende Umsetzung von Energiegemeinschaften vorsehen können.

¹⁰⁴ Wärmepumpen für die industrielle Nutzung sind nicht Gegenstand dieses Berichts.

¹⁰⁵ Datenbank der European Heat Pump Association.

Wärmepumpen sind überaus effizient: Ihre jahreszeitbedingte Leistungszahl beträgt in der Regel 3, was bedeutet, dass für jede verbrauchte kWh Strom 3 kWh Wärme erzeugt werden.¹⁰⁶ Folglich kann der Betrieb einer Wärmepumpe für die Gebäudeheizung im Vergleich zu Gasheizkesseln nur dann kosteneffizient sein, wenn das Verhältnis zwischen Strom- und Gaspreis nicht höher als 3 ist. Dieses Verhältnis variiert stark – je nach Mitgliedstaat zwischen 1,5 und 5,5¹⁰⁷, was häufig auf höhere Steuern und Abgaben auf Strom im Vergleich zu fossilen Brennstoffen sowie auf eine mangelnde Internalisierung der externen Kosten von Treibhausgasemissionen bei den Gas- und Ölpreisen zurückzuführen ist. Diese Themen werden in dem im Juli 2021 vorgelegten Maßnahmenpaket zur Umsetzung des europäischen Grünen Deals behandelt, insbesondere in den Vorschlägen zur Änderung der Energiebesteuerungsrichtlinie und zur Einführung eines neuen Emissionshandels für den Gebäudesektor und den Straßenverkehr.

Der Wärmepumpensektor ist durch einen globalen und wettbewerbsintensiven Markt gekennzeichnet, in dem Innovation von zentraler Bedeutung ist. Einerseits gilt es, sich an die sich wandelnden Vorschriften und Strategien der EU im Bereich Klima und Umwelt anzupassen, andererseits müssen kleine, mittlere und große Unternehmen der EU, deren Kapazitäten im Bereich Forschung und Entwicklung begrenzt sind, aber auch die Leistung und Kosten ihrer Produkte verbessern. Dennoch bieten die Vorschriften und Strategien der EU der Industrie Möglichkeiten, innovative Produkte vorzulegen.

Im Zeitraum 2011–2021 wurden mehr als 37 % der häufig zitierten wissenschaftlichen Arbeiten im Bereich der Wärmepumpentechnologie in der EU veröffentlicht, gefolgt von China (23 %) und den USA (20 %). Die EU ist zudem führend bei Erfindungen in Bezug auf Wärmepumpen, die hauptsächlich für Heizzwecke in Gebäuden eingesetzt werden: Im Zeitraum 2015–2017 wurden 42 % der hochwertigen Erfindungen in der EU angemeldet, gefolgt von Japan (20 %), den USA (8 %), Südkorea (7 %) und China (4 %).¹⁰⁸

Dank dieser Wissens- und Innovationsgrundlage verfügen Forschungseinrichtungen und die Industrie in der EU über die erforderlichen Kapazitäten, um innovative Lösungen vorzuschlagen. Im Zeitraum 2014–2020 wurden Projekte im Bereich der Wärmepumpen für Anwendungen in Gebäuden im Rahmen von „Horizont 2020“, dem Forschungs- und Innovationsprogramm der EU, mit einem Betrag von insgesamt 146,8 Mio. EUR gefördert. Der größte Anteil dieser Förderung entfiel auf die Integration von Wärmepumpen mit anderen erneuerbaren Energiequellen (60,9 %), verglichen mit der Entwicklung von Wärmepumpen für Anwendungen in Innenräumen (6,5 %) und für Fernwärmeanwendungen (32,6 %).

Analyse der Wertschöpfungskette

Laut EurObserver¹⁰⁹ belief sich der Umsatz im Bereich Wärmepumpen in der EU im Jahr 2018 auf 26,6 Mrd. EUR, was einem Wachstum von 18 % gegenüber 2017 entspricht. Gleichzeitig lag die Zahl der direkten und indirekten Arbeitsplätze im Jahr 2018 bei 222 400, womit ein Anstieg von 17 % gegenüber 2017 zu verzeichnen war. Diese Daten umfassen alle Arten von Wärmepumpen, einschließlich Luft-Luft-Wärmepumpen, die nur zum Kühlen bzw. zum Heizen und Kühlen verwendet werden und einen Anteil von 86 % aller im Jahr 2019 verkauften Geräte ausmachten.

¹⁰⁶ Dieser Koeffizient kann je nach Klimazone, Art der Wärmequelle und Temperatur niedriger oder höher ausfallen.

¹⁰⁷ Bericht der Kommission: „Energiepreise und Energiekosten in Europa“ (COM(2020) 951 final).

¹⁰⁸ JRC, auf der Grundlage der Datenbank Patstat des EPA, CPC-Codes: Y02B 10/40, 30/12, 30/13, 30/52.

¹⁰⁹ Euroserver, *The state of renewable energy in Europe* (Der Stand der erneuerbaren Energien in Europa), 2019.

Was die Qualifikationen betrifft, so sind im Bereich der Wärmepumpen gut ausgebildete Arbeitskräfte in den Bereichen Forschung und Entwicklung, Komponenten und Fertigung, thermotechnische Ingenieure und Geologen, Monteure (einschließlich Bohrfachkräfte) sowie Fachkräfte in den Bereichen Service und Wartung tätig.

Analyse des globalen Markts

Was die Exporte auf dem Markt für Luft-Luft-Wärmepumpen für die Wohnraumklimatisierung¹¹⁰ anbelangt, sind Asien und Amerika führend. Mit Blick auf umschaltbare Luftkonditionierer¹¹¹ fällt das Ungleichgewicht geringer aus: Asiatische Länder sind nach wie vor führend, gefolgt von europäischen Ländern. Betrachtet man Heizpumpen, die hauptsächlich für Heizzwecke eingesetzt werden,¹¹² so liegen EU-Länder an der Spitze der Exporte, gefolgt von asiatischen Ländern. In den letzten fünf Jahren jedoch standen dem Wachstum des EU-Marktes für Wärmepumpen, die hauptsächlich für Heizzwecke eingesetzt werden, Einfuhren aus Asien gegenüber, bei denen zwischen 2015 und 2020 ein durchschnittliches jährliches Wachstum von 21 % zu verzeichnen war. Daher ist die Handelsbilanz von einem Überschuss von 249 Mio. EUR im Jahr 2015 in ein Defizit von 40 Mio. EUR im Jahr 2020 gerutscht.

Ausgehend von den Prognosen der langfristigen EU-Strategie¹¹³ dürfte der Absatz von Wärmepumpen zur Elektrifizierung des Gebäudeheizungssektors in der EU bis zum Jahr 2030 rasch ansteigen; danach ist mit einer weniger raschen Verbreitung zu rechnen. Die schnellere Verbreitung in der EU als Vorreitermarkt bietet der EU-Industrie Gelegenheit, zu wachsen und bis 2030 eine wettbewerbsfähige Produktion zu entwickeln, um dann das anhaltende Wachstum – wie von der IEA prognostiziert¹¹⁴ – weltweit zu nutzen.

Die hohen Kosten in Europa sind zum Teil auf eine starke Fragmentierung und national ausgerichtete Märkte zurückzuführen. In einigen Fällen weisen die nationalen Gesetze Unterschiede auf, insbesondere in Bezug auf die Anforderungen für die Produktzulassung und Genehmigungsvorschriften. Bessere Vermarktungs- und Vertriebsnetze innerhalb und außerhalb der EU sowie eine möglicherweise umfassendere Zusammenarbeit mit Partnern, die über einschlägige Kompetenzen verfügen, würden dazu beitragen, die Wettbewerbsfähigkeit von EU-Unternehmen zu steigern. Dennoch ist sich die Kommission der bedeutenden Rolle von Wärmepumpen für die Integration des Energiesystems bewusst und hat in ihrer Mitteilung zur Renovierungswelle angekündigt, die Nutzung von Wärmepumpen weiter zu fördern.¹¹⁵ Darüber hinaus wird sich die Kommission bemühen, die Rolle von Wärmepumpen mit Blick auf die Flexibilität der Energiesysteme zu stärken, z. B. durch die Entwicklung eines Netzkodex für lastseitige Flexibilität.

¹¹⁰ UN-COMTRADE 8415 „Klimageräte“.

¹¹¹ UN-COMTRADE 8415 81 „Klimageräte mit ... einem Ventil zum Umkehren ... (Umkehrwärmepumpen)“.

¹¹² UN-COMTRADE 8418 61 „Wärmepumpen (ausg. Klimageräte der Pos. 8415)“.

¹¹³ Eingehende Analyse zur Unterstützung der langfristigen Strategie (COM(2018) 773 final).

¹¹⁴ IEA, *Net Zero by 2050* (CO₂-neutral bis 2050), Mai 2021.

¹¹⁵ Mitteilung der Kommission: „Eine Renovierungswelle für Europa – umweltfreundlichere Gebäude, mehr Arbeitsplätze und bessere Lebensbedingungen“ (COM(2020) 662 final).

3.4 Batterien

Analyse der Technologie

Dieser Bericht befasst sich vorrangig mit der Lithium-Ionen-(Li-Ionen-)Batterietechnologie, da diese für den Bereich der Elektromobilität von großer Bedeutung ist, der mit Blick auf die Energiewende die höchste Nachfrage nach Batterien verzeichnet.¹¹⁶ Im Energiesystem im weiteren Sinne werden ortsfeste Batterien als Energiespeicher von entscheidender Bedeutung sein, da sie einen hohen Beitrag zur Energie aus fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen im Strommix ermöglichen. Darüber hinaus bietet die Interaktion von Elektrofahrzeugen mit dem Stromnetz großes Potenzial, das es zu nutzen gilt.

Gemessen an den Gesamtbetriebskosten wurden Elektrofahrzeuge im Jahr 2020 auf mehr als der Hälfte des gesamten europäischen Automobilmarktes wettbewerbsfähig. Die durchschnittlichen Preise für Li-Ionen-Batteriesätze für Elektrofahrzeuge sind seit 2010 real um 89 % auf 137 USD/kWh (115 EUR/kWh) im Jahr 2020 gefallen. Bis 2023 wird mit einem durchschnittlichen Preis von 101 USD/kWh gerechnet, und bis 2027 wird der Kaufpreis von Elektrofahrzeugen voraussichtlich niedriger sein als der von herkömmlichen Autos.¹¹⁷

Die durchschnittliche Energiedichte von Batterien für Elektrofahrzeuge nimmt jährlich um 7 % zu;¹¹⁸ während die durchschnittliche Leistung von Batteriesätzen für alle leichten Elektronutzfahrzeuge (sowohl reine Elektro- als auch Hybridfahrzeuge) von 37 kWh im Jahr 2018 auf 44 kWh im Jahr 2020 gestiegen ist, liegen Batterien für reine Elektrofahrzeuge in den meisten Ländern in einer Größenordnung zwischen 50 und 70 kWh.¹¹⁹ Der Trend zu immer größeren Autos stellt eine Gefahr für die Bemühungen zur Verbesserung der Energieeffizienz und die Verfügbarkeit von wichtigen Rohstoffen dar.

Der Einsatz von Batterietechnologie hat in der EU einen historischen Höchststand erreicht; im Jahr 2020 wurden 10,5 % der Umsätze auf dem Automobilmarkt durch Elektrofahrzeuge erzielt (ein Anstieg gegenüber dem Anteil von 3 % im Jahr 2019).¹²⁰ Dennoch gibt es große Unterschiede innerhalb der EU: So liegt der Anteil von Elektrofahrzeugen am Absatz zwischen 0,5 % in Zypern und 32 % in Schweden. Die Anzahl der Elektrofahrzeuge auf den Straßen der EU hat sich im Laufe des Jahres 2020 auf mehr als zwei Millionen verdoppelt, was einer Speicherkapazität von mehr als 60 GWh entspricht. Bis 2030 dürften auf den Straßen der EU mehr als 50 Millionen Elektrofahrzeuge unterwegs sein.¹²¹

Der im Entstehen begriffene Markt für ortsfeste Batterien in der EU wuchs 2020 auf eine Leistung von etwa 1,3 GWh, wobei die installierte Gesamtleistung rund 4,3 GWh betrug (hauptsächlich Li-Ionen-Batterien).¹²² Durch die Förderung des Eigenverbrauchs konnte sich Deutschland zwei Drittel des europäischen Marktes für Batteriespeicher für Privathaushalte

¹¹⁶ Avicenne energy, *EU battery demand and supply (2019–2030) in a global context* (EU-Batteriebranche: Nachfrage und Angebot (2019–2030) im globalen Kontext), 2021.

¹¹⁷ BloombergNEF, *Electric Vehicle Outlook 2021* (Ausblick für Elektrofahrzeuge 2021), 2021.

¹¹⁸ BloombergNEF, *Electric Vehicle Outlook 2021* (Ausblick für Elektrofahrzeuge 2021), 2021.

¹¹⁹ IEA, *Global EV Outlook 2020* (Globaler Ausblick für Elektrofahrzeuge 2020), 2021.

¹²⁰ *Transport and Environment, CO₂ targets propel Europe to 1st place in e-mobility race* (CO₂-Ziele katapultieren Europa auf Platz 1 im Rennen um die E-Mobilität), 2021.

¹²¹ Zentrales MIX-Szenario der Vorschläge des Pakets „Fit für 55“.

¹²² EASE, *EMMES 5.0 market data and forecasts electrical energy storage* (EMMES 5.0 Marktdaten und Prognosen – Speicherung elektrischer Energie), 2021.

(2,3 GWh) sichern.¹²³ Bis 2030 könnten ortsfeste Batterien, gemessen am Energiedurchsatz, fast so viel speichern wie die heutige Pumpspeicherung. Mit Li-Ionen-Batterien kann eine effiziente Speicherdauer von bis zu fünf Stunden erreicht werden, während neue Technologien, einschließlich Flow-Batterien, eine längere Speicherdauer ermöglichen.

Unter Berücksichtigung zusätzlicher Kostenelemente liegen die Systemkosten für Li-Ionen-Anwendungen für Stromnetze zwischen 300 und 400 EUR/kWh, während die Kosten für Heimspeichersysteme etwa doppelt so hoch sind. Die Senkung der Kosten für Batteriesysteme auf die Hälfte des derzeitigen Preises ist der Schlüssel für einen europaweiten Einsatz im großen Maßstab.¹²⁴

Zwei milliardenschwere wichtige Vorhaben von gemeinsamem europäischem Interesse (IPCEI)¹²⁵, an denen zwölf Mitgliedstaaten und Dutzende von Unternehmen und Forschungseinrichtungen beteiligt sind, machen deutlich, dass der Batteriesektor bei der FuF-Finanzierung zunehmend Priorität genießt. Die EU hat ihrerseits für den Zeitraum 2021–2027 im Rahmen des Programms „Horizont Europa“ einen Betrag von 925 Mio. EUR für die Partnerschaft für Batterien vorgesehen.

Analyse der Wertschöpfungskette

Obwohl in Europa ein zunehmendes Interesse an Projekten zur Gewinnung von Rohstoffen besteht – für die Herstellung von Batterien sind in diesem Zusammenhang insbesondere Lithium und natürliches Graphit von Bedeutung –, muss die Versorgung mit primären und sekundären Rohstoffen für Batterien erheblich ausgeweitet werden, um den steigenden Materialbedarf für Batterien zu decken.¹²⁶ Die EU ist bei der Versorgung mit Kobalt, Lithium und Graphit stark vom internationalen Handel abhängig, und diese Materialien stehen auf der Liste der EU der kritischen Rohstoffe.¹²⁷ Wenngleich die Versorgung mit Nickel stärker diversifiziert ist, bezieht die EU rund 56 % dieses für die Batterieherstellung erforderlichen hochreinen Materials über Importe. Künftige Materialien für Anoden und Kathoden wie Silizium, Titan und Niob stehen ebenfalls auf der Liste der EU der kritischen Rohstoffe.¹²⁸

Abgesehen von der Raffination von Kobalt (wo die EU nach China an zweiter Stelle steht) ist die EU in Bezug auf die Raffination von Rohstoffen für Batterien im Allgemeinen schwach aufgestellt. Obwohl die EU über starke Akteure im Bereich der Kathodenmaterialien verfügt, ist sie noch immer Nettoimporteur dieser Materialien aus Asien. Die Produktionskapazität für Batteriezellen wird sich bis 2025 voraussichtlich einem Wert von 400 GWh annähern und die Binnennachfrage weitgehend decken.¹²⁹

¹²³ Solar Power Europe, *European market outlook for residential battery storage 2020–2024* (Prognosen zum europäischen Markt für Batteriespeicher für Privathaushalte), 2020.

¹²⁴ Batteries Europe, Arbeitsgruppe für stationäre Integration, 2021.

¹²⁵ IP/21/226: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/IP_21_226.

¹²⁶ Aperio Intelligence Ltd. – im Auftrag von Eurobattery Minerals, *Critical materials and e-mobility* (Kritische Materialien und E-Mobilität), 2021.

¹²⁷ Europäisch Kommission, Binnenmarkt, Industrie, Unternehmertum und KMU https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en

¹²⁸ Europäisch Kommission, *Study on the resilience of critical supply chains for energy security and clean energy transition during and after the COVID-19 crisis* (Studie über die Widerstandsfähigkeit von für die Energiesicherheit und die Energiewende kritischen Versorgungsketten während und nach der COVID-19-Krise), 8. Oktober 2021.

¹²⁹ IP/21/1142: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/speech_21_1142

Mit Stand 2021 entfielen auf EU-Tochtergesellschaften ausländischer, meist koreanischer, Unternehmen Produktionskapazitäten für Li-Ionen-Zellen in Höhe von 44 GWh.¹³⁰ Unterdessen werden zehn Unternehmen mit Sitz in der EU in den kommenden Jahren die Produktion von Li-Ionen-Zellen aufnehmen. Auch weltweit führende Hersteller errichten derzeit Werke in der EU. Die Produktionskapazitäten für Li-Ionen-Zellen verzeichnen ein Wachstum in der EU und machten mit Stand 2021 einen Anteil von 6 % der weltweiten Kapazitäten aus¹³¹ – ein Anstieg im Vergleich zu 3 % im Jahr 2018. Europäische Hersteller sind zwar bei Nischenanwendungen für Li-Ionen weiterhin stark aufgestellt, aber in Bezug auf Produktionsanlagen für Batteriezellen nach wie vor von asiatischen Unternehmen abhängig.¹³²

Im Bereich der Enderzeugnisse ist die EU am stärksten aufgestellt. Sämtliche Automobilunternehmen in der EU haben sich dem Umstieg auf Elektromobilität verschrieben; eines von ihnen peilte sogar das Ziel an, bis 2021 eine Million Elektroautos zu verkaufen. In der EU gibt es eine Reihe von Recyclingbetrieben, die jedoch nur über begrenzte Kapazitäten verfügen. Aktuell werden Batterien am Ende ihrer Lebensdauer meist nach Asien verbracht.¹³³ Sobald die unterstützenden Rahmenbedingungen der neuen Verordnung über Batterien¹³⁴ in Kraft sind, kann Europa zum Vorreiter in der Kreislaufwirtschaft für Batterien werden – von der Rohstoffgewinnung bis zum Recycling. Eine wachsende Wertschöpfungskette erfordert größere Anstrengungen im Bereich der allgemeinen und beruflichen Bildung, da bis 2025 800 000 direkte Arbeitsplätze und 3 bis 4 Millionen Arbeitsplätze insgesamt geschaffen werden sollen.¹³⁵ Zu diesem Zweck hat die EU die EBA250-Akademie ins Leben gerufen.

Analyse des globalen Markts

Auf China entfallen 80 % der weltweiten Kapazitäten zur Raffination von Rohstoffen für Batterien, 77 % der Kapazitäten zur Produktion von Batteriezellen und 60 % der Kapazitäten zur Herstellung von Batteriekomponenten.¹³⁶ Das Handelsdefizit der EU bei Li-Ionen-Batterien belief sich 2018 auf 3,6 Mrd. EUR und 2019 auf 4,2 Mrd. EUR. Im Jahr 2020 wurde noch immer ein Großteil der Batteriezellen importiert; zudem handelte es sich bei allen führenden Batterieherstellern um außereuropäische Unternehmen (von denen jedoch einige in der EU produzieren). Der weltweite Markt für Li-Ionen-Batterien belief sich 2020 auf rund 40–47 Mrd. USD.¹³⁷ Mithilfe laufender Investitionsprojekte will die EU bis 2025 zum weltweit zweitgrößten Hersteller von Batteriezellen nach China aufsteigen.¹³⁸

Bei Elektroautos verzeichnete die EU im Jahr 2020 nur ein geringes Handelsdefizit, wobei die Exporte schneller zunahmen als die Importe.¹³⁹ Gleichzeitig bauen EU-Automobilunternehmen

¹³⁰ EBA250.

¹³¹ EBA250; US-Energieministerium, *National blueprint for lithium batteries 2021–2030* (Nationale Blaupause für Lithiumbatterien 2021–2030), 2021.

¹³² Decisive Market Insights, *Lithium battery manufacturing equipment market report* (Marktbericht über Herstellungsanlagen für Lithium-Batterien), 2021.

¹³³ EBA250.

¹³⁴ COM(2020) 798/3 final.

¹³⁵ IP/21/1142: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/speech_21_1142

¹³⁶ Marian Willuhn, *National lithium-ion battery supply chains ranked* (Ranking der nationalen Lieferketten für Lithium-Ionen-Batterien), PV Magazine, 16. September 2020.

¹³⁷ Avicenne energy, *EU battery demand and supply (2019–2030) in a global context* (EU-Batteriebranche: Nachfrage und Angebot (2019–2030) im globalen Kontext), 2021.

¹³⁸ Fraunhofer ISI, *Li-ion Battery cell production capacity to be built up* (Produktionskapazitäten für Li-Ionen-Batteriezellen sollen aufgebaut werden), April 2021; Benchmark Minerals, *Li-ion battery cell capacity by region* (Kapazitäten für Li-Ionen-Batteriezellen nach Regionen), 2021.

¹³⁹ Eurostat, 2021. Daten abgerufen aus: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20210524-1>

ihre Produktionsstätten in Asien und den USA aus und stehen mit den dortigen Unternehmen im Wettbewerb. Auch auf dem Markt für stationäre Speicherung verfügt die EU über starke Akteure, darunter weltweit führende Unternehmen auf dem Markt für Netzanwendungen und Speicher für Privathaushalte.

Was die Produktion und den Einsatz von Elektrobussen anbelangt, so liegt die EU weit abgeschlagen hinter China, das bereits 60 % seiner Busflotte elektrifiziert hat. Im Jahr 2020 wurden in der EU nur 1714 Elektrobusse verkauft;¹⁴⁰ in China lag die Zahl bei 61 000.¹⁴¹

3.5 Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff durch Elektrolyse

Analyse der Technologie

Durch Wasserelektrolyse gewonnener erneuerbarer Wasserstoff (auch als „erneuerbare Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs“ bezeichnet) bietet Potenzial für eine Dekarbonisierung von Sektoren, in denen sich die Elektrifizierung sowie die Verringerung von Emissionen schwierig gestalten, beispielsweise in der Industrie und im Schwerlastverkehr; zudem kann durch diese Technologie ein Beitrag zu Energiedienstleistungen wie der jahreszeitlichen Speicherung geleistet werden. Die größte technologische Herausforderung bilden die mit der Umwandlung von erneuerbarem Strom in Wasserstoff verbundenen Energieeffizienzverluste, da für jede Einheit an produziertem erneuerbarem Wasserstoff 1,5 Einheiten an erneuerbarem Strom benötigt werden. Hierfür sind enorme Mengen an erneuerbarer Energie, vor allem Wind- und Solarenergie, erforderlich; zudem müssen die Kosten für erneuerbaren Strom gesenkt werden, um seine Wettbewerbsfähigkeit gegenüber fossilem Wasserstoff zu gewährleisten.

Die rund 7,7 Millionen Tonnen an Wasserstoff¹⁴², die derzeit von der EU-Industrie pro Jahr benötigt werden, werden größtenteils aus fossilen Brennstoffen erzeugt. Der Anteil von durch Wasserelektrolyse gewonnenem Wasserstoff an der Gesamtproduktion wird auf weniger als 1 % geschätzt.¹⁴³ Das aktuelle Ziel der EU für 2030 besteht darin, Elektrolyseure mit einer Leistung von 40 GW zu installieren, um bis zu 10 Millionen Tonnen erneuerbaren Wasserstoff pro Jahr zu erzeugen.¹⁴⁴ Die Prognosen für die Elektrolysekapazität auf dem europäischen Markt bis 2050 reichen von 511 GW¹⁴⁵ bis 1000 GW.¹⁴⁶

Nachstehend wird eine Reihe wesentlicher Leistungsindikatoren für Wasserelektrolyseure für verschiedene Technologien zusammengefasst, und zwar für alkalische Elektrolyse, Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM)-Elektrolyse, Anionenaustauschmembran (AEM)-Elektrolyse und Festoxid (SO)-Elektrolyse. Die Anionenaustauschmembran-Elektrolyse ist noch nicht so ausgereift wie die übrigen Technologien (sie befindet sich noch in der Entwicklung, ist aber für

¹⁴⁰ ACEA, *Medium and heavy busses (over 3.5t) new registrations by fuel type in the EU* (Neuzulassungen von mittelschweren und schweren Bussen (über 3,5 t) nach Kraftstoffart in der EU), 2020.

¹⁴¹ <https://insideevs.com/news/481987/ev-buses-sales-2020-china-byd-yutong/>

¹⁴² Fuel Cell Observatory: <https://www.fchobservatory.eu/observatory/technology-and-market/hydrogen-demand>

¹⁴³ Zusätzlich werden laut Schätzungen rund 2 bis 4 % durch Chlor-Alkali-Elektrolyse gewonnen.

¹⁴⁴ Mitteilung der Kommission: „Eine Wasserstoffstrategie für ein klimaneutrales Europa“ (COM(2020) 301 final).

¹⁴⁵ Mitteilung der Kommission: „Ein sauberer Planet für alle. Eine europäische strategische, langfristige Vision für eine wohlhabende, moderne, wettbewerbsfähige und klimaneutrale Wirtschaft“ (COM(2018) 773 final).

¹⁴⁶ Kanellopoulos, K., Blanco Reano, H., *The potential role of H2 production in a sustainable future power system – An analysis with METIS of a decarbonised system powered by renewables in 2050* (Die potenzielle Rolle der Wasserstoffherstellung in einem nachhaltigen Stromsystem der Zukunft – Eine mit METIS erstellte Analyse für ein dekarbonisiertes System auf der Grundlage von erneuerbaren Energien im Jahr 2050), EUR 29695 EN, Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, Luxemburg, 2019, ISBN 978-92-76-00820-0, doi:10.2760/540707, JRC115958.

eine begrenzte kommerzielle Nutzung verfügbar). Die Festoxid-Elektrolyse wird bereits zu Demonstrationszwecken eingesetzt. Alkalische Elektrolyse und Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse sind vollständig kommerzielle Technologien.

Tabelle 1: Wesentliche Leistungsindikatoren für die vier wichtigsten Technologien der Wasserelektrolyse (Stand 2020 und Prognose für 2030). Stack-Degradation ist definiert als prozentualer Wirkungsgradverlust bei Betrieb mit Nennkapazität.

	2020				2030			
	Alkalisch	PEM	AEM	SO	Alkalisch	PEM	AEM	SO
Charakteristische Temperatur [°C]	70-90*	50-80*	40-60*	700-850*	-	-	-	-
Zellendruck [bar]	<30*	<70*	<35*	<10*	-	-	-	-
Effizienz (System) [kWh/kgH ₂]	50	55	57*	40	48	50	<50*	37
Degradation [%/1000h]	0,12	0,19	-	1,9	0,1	0,12	-	0,5
Ungefähre Kapitalkosten [€/kW – basierend auf 100 MW Produktion]	600	900	-	2700	400	500	-	972

Quelle: Nachtrag zum mehrjährigen Arbeitsplan 2014–2020, FCH JU, 2018; für die mit „“ gekennzeichneten Parameter: GD ENERGIE (Europäische Kommission), Berechnung auf der Grundlage von Daten der IRENA aus dem Bericht „Green Hydrogen Cost Reduction“ (Reduzierung der Kosten für grünen Wasserstoff), 2020.*

Das Gemeinsame Unternehmen „Brennstoffzellen und Wasserstoff“ (FCH JU) hat seit 2008 rund 150,5 Mio. EUR in die Entwicklung von Elektrolyseur-Technologien investiert (74,7 Mio. EUR für Maßnahmen im Bereich Forschung und 75,9 Mio. EUR für Maßnahmen im Bereich Innovation). Die wichtigsten Empfängerländer waren Deutschland mit 31 Mio. EUR, Frankreich mit 25 Mio. EUR und das Vereinigte Königreich mit 18 Mio. EUR. Im Rahmen der Aufforderung zum europäischen Grünen Deal im Zuge des Programms „Horizont 2020“ wurden rund 90 Mio. EUR für drei Projektkonsortien zur Verfügung gestellt, um Elektrolyseure mit einer Leistung von 100 MW zu entwickeln und unter realen Bedingungen zu betreiben. Während Japan seit vielen Jahren kontinuierlich Patente in diesem Technologiebereich anmeldet, hat in anderen Regionen (insbesondere in China) die Zahl der Erfindungen im Zusammenhang mit Elektrolyseuren in den letzten Jahren stetig zugenommen. In Bezug auf Elektrolyseure meldet Europa (einschließlich des Vereinigten Königreichs) verhältnismäßig mehr internationale Patentfamilien (Patentanmeldungen, die bei mehreren internationalen Patentämtern eingereicht und veröffentlicht werden) an als andere führende Volkswirtschaften.¹⁴⁷

Analyse der Wertschöpfungskette

Es ist schwierig, genaue Informationen über Wertschöpfungsketten im Zusammenhang mit erneuerbarem und CO₂-armem Wasserstoff und deren prognostiziertes Wachstum zu erhalten, doch die Arbeit der Europäischen Allianz für sauberen Wasserstoff mit ihren mehr als 1500 Mitgliedern deutet auf einen sehr dynamischen und sich schnell entwickelnden Sektor hin. Bislang hat die Europäische Allianz für sauberen Wasserstoff bereits Informationen über

¹⁴⁷ JRC auf der Grundlage von Daten der Datenbank Patstat des Europäischen Patentamts, 2020, und https://iea.blob.core.windows.net/assets/b327e6b8-9e5e-451d-b6f4-cbba6b1d90d8/Patents_and_the_energy_transition.pdf.

Projekte für Elektrolyseure mit einer Leistung von rund 60 GW bis 2030 gesammelt, von denen die überwiegende Mehrheit mit erneuerbarem Strom betrieben werden soll.

Der Markt für Elektrolyse weist starkes Entwicklungspotenzial auf. Ein Überblick über die Hersteller mittlerer bis großer Elektrolysesysteme, bei dem ausschließlich Hersteller kommerzieller Systeme und keine Hersteller von Elektrolyseuren im Labormaßstab berücksichtigt wurden, zeigt, dass Europa sowohl bei der alkalischen Elektrolyse als auch bei der PEM-Elektrolyse eine starke internationale Position und bei der SO-Elektrolyse eine sehr starke internationale Position einnimmt und dass der einzige AEM-Hersteller ebenfalls in der EU ansässig ist.¹⁴⁸ Der großflächige Einsatz dieser Elektrolyseure wird unter anderem von der Verfügbarkeit von Strom aus erneuerbaren und CO₂-armen Energiequellen abhängen, der für die Herstellung von erneuerbarem und CO₂-armem Wasserstoff benötigt wird; doch auch andere Faktoren wie die Erhöhung der Zahl der Betriebsstunden von Elektrolyseuren und die Senkung der Strompreise werden maßgeblich sein.

Analyse des globalen Markts

Die EU hat sich im Bereich der Elektrolyse und der damit verbundenen Technologien einen technologischen Vorsprung erarbeitet, verfügt allerdings bislang nur über relativ geringe Kapazitäten zur Produktion von Elektrolyseuren; diese dürften jedoch in den kommenden Jahren erheblich wachsen. Für die Herstellung von Brennstoffzellen, Elektrolyseuren und Wasserstoffspeichertechnologien werden rund 30 Rohstoffe benötigt. Von diesen werden 13 gemäß der Liste der kritischen Rohstoffe für 2020 als kritisch für die Wirtschaft der EU eingestuft (Elektrolyseure sind nicht Gegenstand der Bewertung).¹⁴⁹ Insbesondere die PEM-Elektrolyse erfordert den Einsatz von Edelmetallkatalysatoren wie Iridium für die Anode und Platin für die Kathode, die beide vor allem aus Südafrika bezogen werden; für SO-Elektrolyseure werden hingegen Seltenerdmetalle benötigt, die hauptsächlich aus China stammen.

3.6 Intelligente Netze (Automatisierung von Verteilernetzen, intelligente Verbrauchsmessung, Energiemanagementsysteme für Wohngebäude und intelligentes Laden von Elektrofahrzeugen)

Der Trend zum Einsatz von Technologien für intelligente Netze dürfte sich im Laufe dieses Jahrzehnts und darüber hinaus stabil fortsetzen; er steht in engem Zusammenhang mit der Elektrifizierung, der Dezentralisierung und der Notwendigkeit einer verbesserten Zuverlässigkeit und Betriebseffizienz von Netzen sowie zunehmenden Investitionen zur Modernisierung veralteter Netzinfrastrukturen. Auf Technologien wie die intelligente Verbrauchsmessung oder die Automatisierung bzw. Elektrifizierung der Mobilität werden jeweils rund 8 % der Investitionen entfallen, die laut Schätzungen bis 2030 in der EU und im Vereinigten Königreich im Bereich der Stromverteilernetze getätigt werden.¹⁵⁰ Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass auch die Märkte für die damit verbundenen digitalen Dienstleistungen weiter wachsen werden. In diesem Abschnitt werden vier Bereiche von

¹⁴⁸ A. Buttler, H. Spliethoff, in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Nr. 82, S. 2440–2454, 2018, aktualisiert durch IRENA, *Green Hydrogen Cost Reduction* (Reduzierung der Kosten für grünen Wasserstoff), 2020.

¹⁴⁹ Europäische Kommission, *Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU – A Foresight Study* (Zukunftsstudie über kritische Rohstoffe für strategische Technologien und Sektoren in der EU), 2020: [CRMs for Strategic Technologies and Sectors in the EU 2020.pdf \(europa.eu\)](#).

¹⁵⁰ Eurelectric, *Connecting the dots: Distribution grid investment to power the energy transition* (Die Punkte verbinden: Investitionen in Verteilernetze für die Umsetzung der Energiewende) [Connecting the dots: Distribution grid investment to power the energy transition - Eurelectric – Powering People](#)

digitalen Technologien und Dienstleistungen analysiert, die für die Ziele der EU in Bezug auf Gebäude und Mobilität von besonderer Bedeutung sind, nämlich die Automatisierung von Verteilernetzen, Energiemanagementsysteme für Wohngebäude, die intelligente Verbrauchsmessung und intelligentes Laden.

Analyse der Technologie

Für die Automatisierung von Verteilernetzen und die intelligente Verbrauchsmessung stehen gut entwickelte, marktreife Geräte und Softwarelösungen zur Verfügung, die bereits seit einem Jahrzehnt im Einsatz sind. So waren Ende 2020 in der EU sowie in Norwegen, in der Schweiz und im Vereinigten Königreich fast 150 Millionen intelligente Zähler installiert (durchschnittliche Durchdringungsrate von 49 %). Bis 2025 dürfte sich diese Zahl auf fast 215 Millionen (Durchdringungsrate von 69 %) erhöhen,¹⁵¹ wobei die Technologie der zweiten Welle stärker auf Dezentralisierung und Dienstleistungen für die Verbraucher ausgerichtet sein wird.

Energiemanagementsysteme für Wohngebäude und Technologien für intelligentes Laden hingegen befinden sich noch in der Anfangsphase; in der EU und anderswo laufen derzeit aber viele vielversprechende Forschungsprojekte, die den Stand der Technik vorantreiben und Einfluss auf diese frühe Wachstumsphase haben werden. Standardisierung, Interoperabilität und Cybersicherheit stellen gemeinsame Herausforderungen für sämtliche Technologien dar und könnten ihre Verbreitung auf einem oftmals fragmentierten Markt verzögern.

Analyse der Wertschöpfungskette

Die Wertschöpfungskette der vier Technologien umfasst eine Kombination aus Hardware-, Software- und Dienstleistungsanbietern. Dies ist einer der Gründe dafür, dass die Wertschöpfungsketten in der EU fragmentiert sind und aus einer Vielzahl unterschiedlicher Akteure bestehen, insbesondere in den Bereichen Energiemanagementsysteme für Wohngebäude und intelligentes Laden. In Bezug auf die Automatisierung von Verteilernetzen und die intelligente Verbrauchsmessung hingegen sind die Wertschöpfungsketten stärker konzentriert. Im Bereich der Automatisierung von Verteilernetzen sind einige europäische Unternehmen in der gesamten Wertschöpfungskette aktiv und wichtige globale Akteure oder Marktführer, wohingegen die Wertschöpfungskette auf dem Gebiet der intelligenten Verbrauchsmessung in der Regel von regionalen Akteuren dominiert wird.

Insgesamt sind mehr als 50 – vorrangig europäische – Unternehmen auf dem Markt für Energiemanagementsysteme für Wohngebäude tätig,¹⁵² von denen einige auf langjährige Erfahrung im Energiebereich zurückblicken können. Seit Kurzem sind auf diesem Markt auch Aggregatoren und Technologieunternehmen aktiv, die ihre Geschäftsmodelle ausschließlich auf Energiemanagementsysteme für Wohngebäude ausgerichtet haben und mitunter Produkte oder Dienstleistungen für große Unternehmen anbieten, sodass diese nicht die gesamte Produktionskette in diesem Bereich abdecken müssen.

Was die Lieferkette der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge anbelangt¹⁵³, so ergeben sich drei wichtige Erkenntnisse: i) Die Lieferkette der Hersteller ist vor allem lokal und/oder

¹⁵¹ ESMIG, auf der Grundlage von Zahlen eines Berichts von Berg Insight, Juni 2020.

¹⁵² Delta-EE, *Accelerating the energy transition with Home Energy Management* (Beschleunigung der Energiewende durch Energiemanagement für Wohngebäude), New Energy Whitepaper, Februar 2020.

¹⁵³ Guidehouse Insights, *Asset Study on Digital Technologies and Use Cases in the Energy Sector* (Asset-Studie zu digitalen Technologien und Anwendungsfällen im Energiesektor), 2020.

regional geprägt, insbesondere bei Anbietern mit Sitz in der EU, ii) die grundlegenden elektronischen Bauteile werden in Asien bezogen und iii) Markt und Wertschöpfungskette sind noch nicht vollständig ausgereift, da die Entwicklungs-, Entwurfs- und Fertigungsprozesse der Anbieter – bei etwas Auftragsfertigung – vor allem intern stattfinden. Mit der rasch voranschreitenden Verbreitung von dezentralen Energieressourcen und Elektrofahrzeugen in diesem Jahrzehnt wird jedoch auch der Sektor für intelligente Ladesysteme seine Stellung als wachsendes Segment des milliardenschweren Marktes für Ladeinfrastruktur behaupten, insbesondere im Bereich des langsamen Ladens, der laut dem jüngsten Globalen Ausblick für Elektrofahrzeuge der IEA bedeutender sein wird als das Schnellladesegment.¹⁵⁴

Zu erwähnen ist, dass sich das Geschäftsmodell angesichts der zunehmende Bedeutung von Softwarelösungen in den Technologien für intelligente Netze teilweise am Modell der rein auf Software spezialisierten Industrie orientiert und sich mehr in Richtung eines Dienstleistungsmarktes entwickelt, bei dem ein großer Teil der Einnahmen nach der anfänglichen Bereitstellung erzielt wird.¹⁵⁵

Analyse des globalen Markts

Alle vier Märkte wachsen mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate (Compound Annual Growth Rate – CAGR) von rund 10 %, der Bereich Ladeinfrastrukturen mit einer Rate von 26 %.¹⁵⁶ Der Bereich Automatisierung der Verteilernetze, das größte der vier Marktsegmente mit einem geschätzten Wert von 12,4 Mrd. USD im Jahr 2020, wird voraussichtlich mit einer CAGR von 7,4 % wachsen und bis 2025 ein Volumen von 17,7 Mrd. USD erreichen. Der Markt für intelligente Verbrauchsmessung wurde 2019 auf 21,3 Mrd. USD geschätzt und wird Prognosen zufolge bis 2027 auf ein Volumen von 38 bis 39 Mrd. USD anwachsen (vor allem aufgrund des Wachstums in Asien). Das weltweite Volumen des Markts für Energiemanagementsysteme für Wohngebäude dürfte sich von knapp 4,4 Mrd. USD im Jahr 2019 mit einer CAGR von 12,3 % (12,1 % in der EU) auf mehr als 12 Mrd. USD im Jahr 2028 erhöhen.

Die Bereiche Ladeinfrastrukturen und -plattformen für Elektrofahrzeuge schließlich könnten in diesem Jahrzehnt in der EU einen echten Boom erleben: So dürfte deren kombiniertes Marktvolumen mit einer CAGR von über 26 % von 0,63 Mrd. EUR im Jahr 2020 auf 6,7 Mrd. EUR im Jahr 2030 ansteigen. Durch den Boom auf dem Markt für Elektrofahrzeuge werden sich enorme Chancen für den Markt für Energiemanagementsysteme in Wohngebäuden eröffnen, da das Elektrofahrzeug zu einem der größten Stromverbraucher im Haushalt werden wird. Durch eine frühe Regelungsinitiative wurde ein wachsender EU-Markt für intelligente Zähler geschaffen, der – zumindest was die Hardware anbelangt – überwiegend von EU-Herstellern beliefert wird; der Softwaremarkt für intelligente Zähler und Managementsysteme scheint – selbst in der EU – ausgeglichener zu sein, da darin auch einige starke Akteure aus den USA vertreten sind. Die asiatischen (und insbesondere die chinesischen) Märkte hingegen sind in Bezug auf die gelieferten Stückzahlen im Vergleich zum europäischen Markt enorm.¹⁵⁷

¹⁵⁴ Internationale Energieagentur (IEA), *Global EV Outlook 2021. Accelerating ambitions despite the pandemic* (Globaler Ausblick für Elektrofahrzeuge 2021. Ehrgeizigere Ziele trotz Pandemie), 2021.

¹⁵⁵ Alexander Krug, Thomas Knoblinger, Florian Saefel: *Electric vehicle charging in Europe* (Laden von Elektrofahrzeugen in Europa), Arthur D. Little Global, Veröffentlichung auf der Website, Januar 2021, www.adlittle.com/en/insights/viewpoints/electric-vehicle-charging-europe.

¹⁵⁶ Guidehouse Insights, *Asset Study on Digital Technologies and Use Cases in the Energy Sector* (Asset-Studie zu digitalen Technologien und Anwendungsfällen im Energiesektor), 2020.

¹⁵⁷ Weitere Daten können der beigelegten Arbeitsunterlage der Kommissionsdienststellen entnommen werden.

Mit ehrgeizigen politischen Zielen (z. B. im Rahmen des europäischen Grünen Deals oder der Integration der Energiesysteme), einem günstigen Regelungsrahmen (z. B. durch die Elektrizitätsrichtlinie) und Finanzierung durch öffentliche Mittel (z. B. im Zuge des Programms „Horizont Europa“, der Kohäsionspolitik, des Europäischen Innovationsfonds oder der Aufbau- und Resilienzfazilität) will die EU beim Ausbau intelligenter Netze eine Vorreiterrolle übernehmen. Mit dieser Zielsetzung und angesichts dessen, dass es in der EU bereits seit Langem etablierte Anbieter von Netztechnologien gibt, wird Europa über Marktführer und erfolgreiche Hersteller in allen vier Technologiebereichen verfügen. Da jedoch Analysen der weltweiten Märkte auch auf eine starke Entwicklung in den USA und im asiatisch-pazifischen Raum (China, Japan, Südkorea) schließen lassen, werden sich europäische Unternehmen bis 2030 einem harten Wettbewerb stellen müssen.

3.7 Erneuerbare Kraftstoffe für Luftfahrt und Schifffahrt

Analyse der Technologie

Erneuerbare Kraftstoffe, einschließlich fortschrittlicher Biokraftstoffe¹⁵⁸ und erneuerbarer synthetischer Kraftstoffe¹⁵⁹, sind auf kurze Sicht die einzige marktreife Lösung für eine Dekarbonisierung des Luft- und Schifffahrtssektors.¹⁶⁰ Es wird davon ausgegangen, dass bis 2030 5 % (d. h. 2,3 Mio. t RÖE) und bis 2050 63 % (d. h. 28 Mio. t RÖE) des gesamten Verbrauchs an Düsenkraftstoff in der EU durch erneuerbare Kraftstoffe gedeckt werden.¹⁶¹ Für die jährliche Gesamtkapazität an erneuerbaren Kraftstoffen für die Luftfahrt in der EU wurde ein Wert von rund 1,7 Millionen Tonnen bis 2025 angekündigt, was 0,05 % des gesamten Flugkraftstoffs in der EU entspricht. Zum Vergleich: Die installierte Leistung in den USA ist doppelt so groß (3,6 Millionen Tonnen) und entspricht etwa 60 % der weltweiten Leistung.¹⁶² Der Anteil der erneuerbaren Schiffskraftstoffe am gesamten Energieträgermix ist derzeit noch zu vernachlässigen, dürfte aber bis 2030 auf 8,6 % und bis 2050 auf 88 % ansteigen.¹⁶³

Die Kommerzialisierung und der Ausbau erneuerbarer Kraftstoffe werden durch hohe Investitionskosten ausgebremst, die bis zu 500 Mio. EUR für eine Anlage betragen und 80 % der gesamten Produktionskosten ausmachen können. So belaufen sich insbesondere die Produktionskosten für erneuerbare Kraftstoffe derzeit laut Schätzungen auf das Drei- bis Sechsfache des aktuellen Marktpreises für konventionelle Kraftstoffe.¹⁶⁴ Die gemeinsame Verarbeitung (oder gemeinsame Wasserstoffbehandlung im Falle von Flugkraftstoffen) in bestehenden Raffinerien und anderen Industrieanlagen wird immer ausgereifter und stellt eine günstige Möglichkeit zur Senkung der Kapitalkosten dar.

¹⁵⁸ Kraftstoffe aus organischen Materialien, die in Anhang IX der Richtlinie (EU) 2018/2001 aufgeführt sind. Im Bereich der fortschrittlichen Biokraftstoffe beträgt die derzeit in der EU installierte Leistung 0,36 Mio. t/Jahr und basiert hauptsächlich auf Zellulose-Ethanol, Kohlenwasserstoff-Kraftstoffen aus Zucker und Pyrolyseölen. Aktuell werden weitere Kapazitäten in Höhe von 0,15 Mio. t/Jahr geschaffen und zusätzliche 1,7 Mio. t/Jahr sind in Planung, wobei etwa die Hälfte aus der Vergasung von Biomasse gewonnen werden soll. In den Bereichen Strom zu Gas („Power-to-Gas“) und Flüssigkraftstoffe sind die Kapazitäten der EU mit lediglich 0,315 Kt/Jahr überaus begrenzt.

¹⁵⁹ Kraftstoffe auf Basis erneuerbarer Energien gemäß Artikel 2 Absatz 36 der Richtlinie (EU) 2018/2001.

¹⁶⁰ IRENA, *Reaching Zero with Renewables: Biojet fuels* (CO₂-neutral durch erneuerbare Energien: Bioflugkraftstoffe), 2021.

¹⁶¹ Folgenabschätzung (SWD(2021) 633), S. 38.

¹⁶² Auf der Grundlage von Daten aus der internen Datenbank von Flightpath, 2020.

¹⁶³ Folgenabschätzung (SWD(2021) 635), S. 53.

¹⁶⁴ Je nach den Kosten für aus Erdöl gewonnenem Düsenkraftstoff und den für die Herstellung erneuerbarer Kraftstoffe verwendeten Ausgangsstoffen.

Die EU leistet einen großen Beitrag zur Kostensenkung im Bereich der erneuerbaren Kraftstoffe, indem sie im weltweiten Vergleich umfangreiche Investitionen in Forschung und Innovation tätigt. Die öffentliche Förderung der Mitgliedstaaten für FuI im Bereich der Biokraftstoffe¹⁶⁵, einschließlich fortschrittlicher Biokraftstoffe, liegt seit 2008 konstant bei rund 400 Mio. EUR pro Jahr. Zudem wurde die Förderung der EU für erneuerbare Kraftstoffe von 430 Mio. EUR im Zeitraum 2012–2016 auf 531 Mio. EUR im Zeitraum 2017–2020 aufgestockt. Was die Förderung speziell von Flug- und Schiffskraftstoffen anbelangt, so wurden die Mittel für die genannten Zeiträume von 84 Mio. EUR auf 229 Mio. EUR erhöht.¹⁶⁶

Für private Investitionen in FuI liegen nur begrenzt Daten vor; diese deuten aber darauf hin, dass in China ansässige Unternehmen im Durchschnitt die höchsten jährlichen Investitionen (809 Mio. EUR) in erneuerbare Kraftstoffe tätigen, gefolgt von Unternehmen aus der EU (652 Mio. EUR) und den USA (578 Mio. EUR).¹⁶⁷ Ein Großteil der Unternehmen mit den höchsten Investitionen in FuI stammt jedoch aus der EU, gefolgt von China und den USA.

Aufgrund der kontinuierlichen Investitionen mag die EU zwar zu den weltweiten Innovationsführern zählen. Die Daten legen jedoch nahe, dass sie insbesondere von US-Unternehmen abgehängt wird: So haben Letztere doppelt so viele Patente im Bereich der Flugkraftstoffe wie in der EU ansässige Unternehmen und verfügen über eine größere Anzahl führender Innovatoren.¹⁶⁸ Auf in Japan und in der EU ansässige Unternehmen entfällt jeweils ein Drittel aller Patente im maritimen Sektor, allerdings sind diese Daten nicht aussagekräftig, da sie auch andere Technologien als erneuerbare Kraftstoffe einbeziehen und nicht ausreichend detailliert sind.

Analyse der Wertschöpfungskette

Insgesamt bilden erneuerbare Kraftstoffe im Luft- und Seeverkehrssektor nicht nur ein strategisches Element beim Übergang zu einer klimaneutralen Wirtschaft, sondern können auch Chancen für Wachstum und Beschäftigung darstellen. Durch das Paket zur Umsetzung des europäischen Grünen Deals dürfte die Nachfrage nach erneuerbaren Kraftstoffen für die Schifffahrt und die Luftfahrt in der EU steigen. Dies könnte dazu beitragen, dass die Wertschöpfung bis 2030 um jährlich bis zu mehrere Milliarden Euro wächst. Wenn man bedenkt, dass in der Produktion flüssiger Biokraftstoffe in der EU, die derzeit 16 Mio. t RÖE beträgt, fast 230 000 Menschen beschäftigt sind,¹⁶⁹ könnten durch eine entsprechende Steigerung der heimischen Produktion bis 2050 bis zu 270 000 zusätzliche Arbeitsplätze geschaffen werden.¹⁷⁰ Aus der aktuellen Beschäftigungsstruktur im Bereich der Biokraftstoffe lässt sich überdies schließen, dass bereits eine solide Qualifikationsbasis vorhanden ist, die für eine Expansion des Marktes erforderlich ist; für eine mögliche Verdoppelung bis 2050 könnten jedoch umfangreichere Qualifizierungsmaßnahmen erforderlich sein.

¹⁶⁵ Die nach 2014 gemeldeten Daten hängen davon ab, wie die Mittel zwischen Biokraftstoffen und anderen Bioenergietechnologien aufgeteilt werden, und sind nicht detailliert genug, um zwischen konventionellen und fortschrittlichen Biokraftstoffen zu unterscheiden.

¹⁶⁶ Daten aus der Datenbank der Europäischen Kommission für EU-finanzierte Projekte im Bereich Forschung und Innovation (<https://cordis.europa.eu/projects/de>).

¹⁶⁷ JRC SETIS, 2021.

¹⁶⁸ JRC SETIS, Daten zu Forschung und Innovation: https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-research-and-innovation-data_en

¹⁶⁹ Daten aus der Datenbank der IRENA zum Thema Beschäftigung: <https://irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Benefits/Renewable-Energy-Employment-by-Country>

¹⁷⁰ Basierend auf den Prognosen der Folgenabschätzung SWD(2021) 633 sowie der Folgenabschätzung SWD(2021) 635 zur Produktion und Beschäftigung im Bereich der erneuerbaren Kraftstoffe.

Die Wertschöpfungsketten der EU profitieren von den vielfältigen Fachkenntnissen über verschiedene Produktionswege und Ausgangsstoffe sowie von den Synergien, die sich aus der zunehmenden Zahl von Joint Ventures zwischen Unternehmen für erneuerbare Kraftstoffe, Öl- und Gasunternehmen sowie Häfen und Flughäfen ergeben und die Beleg dafür sind, dass die EU bereit ist, die Märkte für erneuerbare Kraftstoffe auf den Luft- und Seeverkehrssektor auszuweiten.

Fortschrittliche Biokraftstoffe basieren hauptsächlich auf nicht wiederverwertbaren Abfällen und Reststoffen; sie haben geringere Auswirkungen auf die Flächennutzung und die biologische Vielfalt und stellen somit eine nachhaltigere Option als Biokraftstoffe aus Nahrungs- und Futtermitteln dar. Die Wahl des Biomasserohstoffs kann Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit, die Produktionskosten und mögliche Versorgungsengpässe haben. Insbesondere dann, wenn die Nutzung fortschrittlicher Biokraftstoffe ausgeweitet werden soll, müssen alternative Produktionswege, die auf anderen Rohstoffen als Abfällen basieren, ausreichend ausgereift sein, damit Engpässe vermieden werden können.

Analyse des globalen Markts

Der Markt für erneuerbare Kraftstoffe für die Luft- und Schifffahrt ist derzeit sehr begrenzt. Die neuen Strategien des Pakets zur Umsetzung des europäischen Grünen Deals¹⁷¹ werden aller Voraussicht nach zu einer erheblichen Zunahme der Nachfrage sowie zu einer Expansion dieser Märkte in diesem und in den folgenden Jahrzehnten führen. Aufgrund der starken globalen Marktposition der EU im Bereich der Biokraftstoffe für den Straßenverkehr¹⁷² sowie der Konzentration führender Hersteller von fortschrittlichen Biokraftstoffen kann davon ausgegangen werden, dass sich die EU in einer guten Ausgangslage befindet, um diese neuen Märkte zu erschließen. Doch auch die USA sind mit gezielten Initiativen¹⁷³ und einer installierten Leistung, die doppelt so hoch ist wie die der EU,¹⁷⁴ bei der Produktion von erneuerbaren Flugkraftstoffen potenzielle Mitbewerber auf den Märkten der EU.

Da die Power-to-Liquid-Technologie von kostengünstigem Strom aus erneuerbaren Energiequellen abhängt, könnte die Herstellung synthetischer Kraftstoffe zu einer stärkeren Abhängigkeit von der Region Naher Osten und Nordafrika (MENA) führen. Andererseits bieten die Synergien mit bestehenden Anlagen zur Kraftstoffherstellung in der EU (Integration mit Raffinerien, Wiederverwendung von Produktions- und Zusatzinfrastrukturen, Verfügbarkeit von qualifizierten Arbeitskräften, Verfügbarkeit von CO₂ für die Abscheidung und Wiederverwendung sowie weitere Faktoren) auch Potenzial für eine wirtschaftlich wettbewerbsfähige Herstellung synthetischer Kraftstoffe in der EU.

Die Bedeutung bahnbrechender Technologien am Beispiel solarer Brennstoffe

Aufgrund der Nachfrage nach Alternativen zu flüssigen fossilen Brennstoffen werden zunehmend Forschung und Innovation betrieben, um kosteneffiziente erneuerbare Kraftstoffe zu entwickeln, die eine hohe Energiedichte aufweisen und für die ausreichend Rohstoffe zur Verfügung stehen. Während fortschrittliche Biokraftstoffe und synthetische Kraftstoffe immer ausgereifter werden und einige von ihnen sogar Marktreife erlangt haben, weisen solare

¹⁷¹ Insbesondere: COM(2021) 562 final, COM(2021) 561 final und COM(2021) 557 final.

¹⁷² Die EU ist derzeit mit einer Nettohandelsbilanz von rund 4 Mio. EUR weltweit führend in der Produktion von konventionellen Biokraftstoffen.

¹⁷³ Nämlich die im Jahr 2016 angenommene Strategie der USA für alternative Düsenkraftstoffe und die laufenden Arbeiten an der Initiative für alternative Kraftstoffe in der kommerziellen Luftfahrt (CAAFI).

¹⁷⁴ Einschließlich der bis 2025 geplanten Leistung. Daten aus einer internen Datenbank von Flightpath, 2020.

Brennstoffe noch immer einen niedrigen Technologie-Reifegrad auf und befinden sich noch in der Konzeptions- bzw. Versuchsphase. Bis zum Jahr 2050 könnte jedoch durch angemessene Investitionen erreicht werden, dass dank dieser bahnbrechenden Technologie mehr kosteneffiziente Kraftstoffe mit hoher Energiedichte zur Verfügung stehen und gleichzeitig der Druck auf Rohstoffe und Ressourcen verringert wird.

Um bis 2050 CO₂-Neutralität zu erreichen, müssen nicht nur die verfügbaren Technologien rasch eingesetzt werden, sondern auch weitere Technologien auf den Markt gebracht werden, deren Technologie-Reifegrad derzeit noch gering ist.¹⁷⁵ In ähnlicher Weise war es in der Vergangenheit durch gezielte Forschungs- und Innovationsmaßnahmen möglich, Technologien auf den Markt zu bringen, die noch vor 30 Jahren einen niedrigen Technologie-Reifegrad aufwiesen oder sich sogar erst in der Konzeptphase befanden, wie z. B. Offshore-Windkraft, erneuerbare Kraftstoffe und Lithium-Ionen-Batterien für Elektrofahrzeuge.

Bei der Erzeugung solarer Brennstoffe findet eine Reihe von anthropogenen und biologisch unterstützten Prozessen statt, bei denen Sonnenenergie unmittelbar in Brennstoffe, chemische Produkte und aus Sonnenlicht, Luft (z. B. CO₂ und Stickstoff) und Wasser gewonnene Stoffe umgewandelt wird. Dies umfasst die direkte Nutzung der Lichtenergie des Sonnenlichts, die oft als künstliche Photosynthese bezeichnet wird, sowie der Wärme des Sonnenlichts zum Antrieb thermischer Hochtemperaturprozesse.¹⁷⁶

Insbesondere die photoelektrochemische (PEC) Wasserspaltung ist eine vielversprechende Methode zur Erzeugung von Wasserstoff durch Sonnenenergie, da sie durch niedrige Betriebstemperaturen und unter Verwendung kosteneffizienter Dünnschicht- und/oder Partikel-Halbleitermaterialien Potenzial für eine hohe Umwandlungseffizienz bietet. Mit angemessenen Investitionen könnte diese Methode bis 2040 in Bezug auf die Kosten gegenüber fossilen Brennstoffen wettbewerbsfähig werden und Marktreife erlangen.¹⁷⁷

4. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Ziele des europäischen Grünen Deals können nur erreicht werden, wenn die öffentliche und private Forschung und Innovation in Bezug auf Technologien für saubere Energie erheblich intensiviert wird und mehr Anstrengungen unternommen werden, damit diese Technologien vom Labor auf den Markt gelangen. Dadurch werden nicht nur neue Lösungen zur Verfügung stehen, die erforderlich sind, um bis 2050 CO₂-Neutralität zu erreichen und gleichzeitig den Verlust der biologischen Vielfalt, die Umweltverschmutzung und die Erschöpfung der natürlichen Ressourcen zu bekämpfen, sondern auch das Wachstum und die Beschäftigung im Bereich saubere Energie in der EU gefördert.

Während die entsprechenden Investitionen im Wesentlichen vom Privatsektor selbst getätigt werden müssen, besteht die Aufgabe der EU darin, die geeigneten rechtlichen und finanziellen Rahmenbedingungen zu schaffen. Hierzu zählt die Anregung der Nachfrage durch eine Reihe von Maßnahmen, die im Legislativpaket „Fit für 55“ vorgesehen sind. Darüber hinaus liefern die Aufbau- und Resilienzfazilität, das Programm „InvestEU“ und die neue Generation von

¹⁷⁵ IEA, *Net-zero by 2050 – A roadmap for the global energy sector* (CO₂-neutral bis 2050 – Ein Fahrplan für die weltweite Energiewirtschaft), 2021.

¹⁷⁶ Mission Innovation, *Innovation Challenge 5: Converting Sunlight into Solar Fuels and Chemicals Roadmap 2020–2050* (Innovationsherausforderung 5: Fahrplan 2020–2050 für die Umwandlung von Sonnenlicht in solare Brennstoffe und Chemikalien), 2021.

¹⁷⁷ *Artificial Photosynthesis: Potential and Reality* (Künstliche Photosynthese: Potenzial und Realität), EUR 27987 EN.

EU-Programmen im Rahmen des EU-Haushalts für 2021–2027 starke Impulse, um einige der Herausforderungen anzugehen, indem das verfügbare Expansionskapital erhöht, Markthindernisse beseitigt und politische Reformen vorangetrieben werden. Bei der schrittweisen Dekarbonisierung des EU-Energiesektors und der Einführung von Technologien für saubere Energie muss der Schwerpunkt auf Wettbewerbsfähigkeit, Beschäftigung und Wachstum liegen.

Dieser Bericht macht deutlich, dass die EU bei der Forschung im Bereich der sauberen Energie weiterhin eine Vorreiterrolle spielt. Der rückläufige Trend bei den Patentanmeldungen auf diesem Gebiet scheint sich umzukehren, da die jährliche Zahl der Anmeldungen in der EU und weltweit wieder das Niveau von vor zehn Jahren erreicht. Weltweit betrachtet ist der Anteil „grüner“ Erfindungen im Bereich der Technologien zur Eindämmung des Klimawandels in der EU höher als in anderen großen Volkswirtschaften. Dank einer positiven Handelsbilanz und eines beträchtlichen Marktanteils hat die EU nach wie vor eine starke Position in der Windkraftindustrie inne, steht jedoch möglicherweise an einem Scheideweg in zahlreichen anderen Branchen. In der Photovoltaikindustrie zeigen europäische Hersteller ein erneuertes Interesse, auf der Grundlage neuester Technologien in der EU zu investieren. Ebenso gelingt es der Batteriebranche der EU, durch eine Kombination verschiedener Faktoren ihren Rückstand aufzuholen; maßgeblich sind hier vor allem die Investitionen in die Batterieherstellung, die erhöhte Nachfrage nach Elektrofahrzeugen in Verbindung mit der Neuausrichtung der EU-Automobilindustrie und der Fokus auf Recycling zur Lösung des Rohstoffproblems. Europäische Unternehmen in den Bereichen Wärmepumpen, erneuerbare Kraftstoffe, intelligente Netze und erneuerbarer Wasserstoff sind gut aufgestellt, um von der künftig wachsenden Nachfrage zu profitieren, die sich durch die politisch geförderte Ausweitung der jeweiligen Märkte ergeben wird. Ihre Wettbewerbsposition wird davon abhängen, wie schnell sie die Durchdringung bzw. Entwicklung vorantreiben, inwieweit geplante Investitionen getätigt werden bzw. sich die einschlägigen Märkte entwickeln, inwieweit günstige rechtliche Rahmenbedingungen geschaffen werden und wie sich andere Sektoren (z. B. Luft- und Seeverkehr) entwickeln. Der Ausbau der sauberen Energie erfordert zudem eine fundierte Bewertung der Umweltauswirkungen der Technologien und Minderungsmaßnahmen.

Ferner bedarf es weiterer Anstrengungen, um die Kluft zwischen Innovationen und Markt zu überbrücken. In der EU ansässige Start-ups im Climate-Tech-Bereich liegen im Hinblick auf ihre Expansionsfähigkeit noch immer hinter vergleichbaren Unternehmen zurück; dies führt dazu, dass die EU Schwierigkeiten hat, die Vorteile ihrer eigenen Innovationen für das Klima und die Wettbewerbsfähigkeit zu nutzen, und vielversprechende Unternehmen sich veranlasst sehen, in die USA oder nach Asien abzuwandern, um sich zu vergrößern. Obwohl zahlreiche nationale und lokale Ökosysteme bestehen, stellt die der EU eigene Fragmentierung der Märkte und der Rechtsvorschriften ein Wachstumshindernis dar und führt dazu, dass die Ökosysteme für Risikokapital unterschiedlich ausgereift sind und Unternehmer Schwierigkeiten haben, bahnbrechende Technologien im größeren Maßstab umzusetzen. Weitere Hindernisse für die Einführung von Technologien ergeben sich durch nachfrageseitige Probleme, etwa in Bezug auf Genehmigungen, Repowering und andere strukturelle Hemmnisse, sowie durch Marktverzerrungen aufgrund von Subventionen auf internationalen Märkten, auf denen europäische Unternehmen tätig sind. Darüber hinaus sind stärkere Anstrengungen zur Entwicklung europäischer Standards in Bezug auf Aspekte der Digitalisierung, Zuverlässigkeit und Nachhaltigkeit von entscheidender Bedeutung, um die Einführung innovativer Technologien zu unterstützen.

Parallel zur Förderung von Forschung und Innovation sowie der Markteinführung von Lösungen für saubere Energie muss die EU einen zuverlässigen, nachhaltigen und von Marktverzerrungen unbeeinträchtigten Zugang zu Rohstoffen sicherstellen. Ressourceneffizienz, Kreislauffähigkeit und eine nachhaltige heimische Rohstoffbeschaffung werden von maßgeblicher Bedeutung sein, um Engpässe zu vermeiden, wenn die Nachfrage steigt. Hierfür bedarf es in vielen Fällen weiterer Forschung und Innovation. Um weitere Segmente der Wertschöpfungskette für die EU zu sichern, wird es notwendig sein, die Rahmenbedingungen für die Innovationsförderung zu stärken.

Der jüngste Anstieg der Energiepreise hat deutlich gemacht, dass Europa seine Energieabhängigkeit verringern muss. Mit dem europäischen Grünen Deal und einem steigenden Anteil an sauberer Energie wird der Weg für die Zukunft geebnet. Die Europäische Kommission wird die Fortschritte im Bereich der sauberen Energie weiterhin überwachen. Ferner wird sie ihre Methodik und Datenerfassung in Zusammenarbeit mit den Mitgliedstaaten¹⁷⁸ und den Interessenträgern weiterentwickeln, um Informationen für die politische Entscheidungsfindung zu liefern und dazu beizutragen, dass Europa bis 2050 zu einem wettbewerbsfähigen, ressourceneffizienten und CO₂-neutralen Kontinent wird.

¹⁷⁸ Unter anderem im Rahmen des anstehenden Durchführungsrechtsakts zur Governance-Verordnung.