



Brüssel, den 15.11.2022
COM(2022) 643 final

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

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

Inhalt

1.	Einleitung.....	1
2.	Allgemeine Wettbewerbsfähigkeit des Bereichs saubere Energie in der EU	3
	2.1 Hintergrund: jüngste Entwicklungen	3
	2.1.1 <i>Energiepreise und -kosten: aktuelle Trends</i>	3
	2.1.1 <i>Globale Ressourcen- und Materiallieferketten: Schwachstellen und Störungen</i>	6
	2.1.2 <i>Auswirkungen der COVID-19-Pandemie und Wiederaufbau</i>	8
	2.1.3 <i>Humankapital und Kompetenzen</i>	10
	2.2 Trends in Forschung und Innovation	14
	2.3 Die globale Wettbewerbslandschaft für saubere Energie	17
	2.4 Die Förderlandschaft für Innovation in der EU	19
	2.5 Auswirkungen des systemischen Wandels	22
3.	Fokus auf Schlüsseltechnologien und Lösungen für saubere Energie.....	24
	3.1. Fotovoltaik	24
	3.2. Offshore- und Onshore-Windkraft	26
	3.3. Wärmepumpen für Anwendungen in Gebäuden	29
	3.4. Batterien	31
	3.5. Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff durch Elektrolyse von Wasser	33
	3.6. Erneuerbare Kraftstoffe	35
	3.7. Intelligente Technologien für das Energiemanagement	38
	3.8. Wichtigste Erkenntnisse zu sonstigen Technologien für saubere Energie	41
4.	Schlussfolgerungen	45
	ANHANG I: Methodischer Rahmen für die Bewertung der Wettbewerbsfähigkeit der EU ..	48

1. EINLEITUNG

Russlands unprovocierter und ungerechtfertigter militärischer Angriff gegen die Ukraine hat eine erhebliche Störung des globalen Energiesystems ausgelöst. Diese hat die übermäßige Abhängigkeit der EU von fossilen Brennstoffen aus Russland vor Augen geführt und gezeigt, dass die Widerstandsfähigkeit des Energiesystems der EU, die bereits durch die COVID-19-Krise infrage gestellt wurde, gestärkt werden muss.¹ Angesichts der Energiepreise, die einen historischen Höchststand erreicht haben, und des Risikos von Versorgungsengpässen in der gesamten EU ist es noch dringlicher geworden, den doppelten ökologischen und digitalen Wandel im Rahmen des europäischen Grünen Deals² zu beschleunigen und für ein sichereres, erschwinglicheres, widerstandsfähigeres und unabhängigeres Energiesystem zu sorgen.

Als wesentliches Element der politischen Reaktion der EU auf diese beispiellose Krise wurde 2022 der REPowerEU-Plan³ vorgestellt. Dabei handelt es sich um einen Fahrplan, mit dem die Abhängigkeit der EU von russischen Energieimporten durch Maßnahmen zur Energieeinsparung, durch Diversifizierung der Energieversorgung und durch einen beschleunigten Ausbau erneuerbarer Energien so bald wie möglich beendet werden soll.

Darüber hinaus hat die Kommission mit der Mitteilung „Gaseinsparungen für einen sicheren Winter“⁴ einen Plan zur Verringerung des Gasverbrauchs in der EU um 15 % bis zum nächsten Frühjahr vorgelegt. Der Rat hat zwei Verordnungen über die Gasspeicherung bzw. über koordinierte Maßnahmen zur Senkung der Gasnachfrage⁵ angenommen. Im September 2022 einigte sich der Rat auf den Vorschlag der Kommission für eine Verordnung über Notfallmaßnahmen als Reaktion auf die hohen Energiepreise⁶, um die Auswirkungen der Energiepreise auf die Verbraucher in der EU abzumildern und gleichzeitig den beispiellosen Schwankungen und der Unsicherheit auf den Energiemärkten in der EU und weltweit zu begegnen. Diese Maßnahmen umfassen insbesondere eine Senkung des Stromverbrauchs, eine Erlösobergrenze für inframarginale Stromerzeugungstechnologien und einen befristeten, obligatorischen Solidaritätsbeitrag von Unternehmen im Sektor für fossile Brennstoffe.

Um die REPowerEU-Ziele zu verwirklichen, werden bis 2027 zusätzliche Investitionen in Höhe von insgesamt 210 Mrd. EUR erforderlich sein, zusätzlich zu den Investitionen, die bereits benötigt werden, um bis 2050 Klimaneutralität zu erreichen.⁷ Mit diesen Investitionen wird die massive Ausweitung und Beschleunigung des Ausbaus von Technologien für saubere Energie (z. B. Fotovoltaik, Windkraft, Wärmepumpen, Energiespartechnologien, Biomethan und erneuerbarer Wasserstoff) unterstützt, was angesichts der Energie- und Klimakrise von entscheidender Bedeutung ist. Für die Bewältigung der entsprechenden technologischen und

¹ COM(2021) 952 final und SWD(2021) 307 final („Fortschritte bei der Wettbewerbsfähigkeit im Bereich der Technologien für saubere Energie“).

² COM(2019) 640 final („Der europäische Grüne Deal“).

³ COM(2022) 230 final („REPowerEU-Plan“).

⁴ COM(2022) 360 final („Gaseinsparungen für einen sicheren Winter“).

⁵ ABl. L 173 vom 30.6.2022. Verordnung (EU) 2022/1032 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. Juni 2022 zur Änderung der Verordnungen (EU) 2017/1938 und (EG) Nr. 715/2009 im Hinblick auf die Gasspeicherung (ABl. L 206 vom 8.8.2022). Verordnung (EU) 2022/1369 des Rates vom 5. August 2022 über koordinierte Maßnahmen zur Senkung der Gasnachfrage.

⁶ COM(2022) 473 final („Vorschlag für eine Verordnung des Rates über Notfallmaßnahmen als Reaktion auf die hohen Energiepreise“).

⁷ COM(2021) 557 final („Änderung der Richtlinie (EU) 2018/2001, der Verordnung (EU) 2018/1999 und der Richtlinie 98/70/EG im Hinblick auf die Förderung von Energie aus erneuerbaren Quellen“).

nicht technologischen Herausforderungen ist darüber hinaus ein starker und wettbewerbsfähiger Bereich saubere Energie in der EU erforderlich.

Im REPowerEU-Plan wurde die Verpflichtung bekräftigt, das langfristige Ziel des europäischen Grünen Deals, die EU bis 2050 klimaneutral zu machen, zu verwirklichen und das im Juli 2021 vorgelegte Paket „Fit für 55“ vollständig umzusetzen⁸. Um die Ziele des europäischen Grünen Deals zu erreichen, muss die EU innovative Lösungen für Energieeffizienz und erneuerbare Energien entwickeln, umsetzen und ausbauen. Für die Hälfte der bis 2050 notwendigen Reduzierungen von Treibhausgasemissionen werden Technologien erforderlich sein, die noch nicht marktreif sind⁹, daher sind Forschung und Innovation (FuI) ein entscheidendes Element für die Stärkung der technologischen Souveränität und globalen Wettbewerbsfähigkeit der EU.

In diesem Rahmen und im Einklang mit den vorhergehenden Ausgaben wird in diesem dritten Jahresbericht über die Fortschritte bei der Wettbewerbsfähigkeit¹⁰ der aktuelle und prognostizierte Stand verschiedener Technologien und Lösungen für saubere und CO₂-arme Energie¹¹ präsentiert. Außerdem werden die Aspekte Forschung, Innovation und Wettbewerbsfähigkeit des gesamten Systems für saubere Energie der EU¹² dargestellt.

Die Ausgabe von 2021 war insbesondere für die Bewertung des Wiederaufbaus der Wirtschaft nach COVID-19 wichtig, da sie deutlich machte, wie Verbesserungen der Wettbewerbsfähigkeit die wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen der Pandemie kurz- und mittelfristig abmildern können.

Der diesjährige Bericht muss der Forderung der EU nach einer stärkeren Verbreitung von Technologien für saubere Energie und den Auswirkungen der Energiekrise auf diesen Sektor Rechnung tragen. Vor diesem Hintergrund liefert der Bericht auf der Grundlage verfügbarer Daten Erkenntnisse darüber, wie die Wettbewerbsfähigkeit der EU in strategischen Energiewertschöpfungsketten gestärkt und gleichzeitig die Durchdringung mit Technologien für saubere Energie in der EU erhöht werden kann. Gleichzeitig können aufgrund der kontinuierlichen und sich sehr rasch ändernden geopolitischen, energiewirtschaftlichen und klimabezogenen Entwicklungen auch die aktuellsten quantitativen Daten diese noch nie da gewesene Situation nicht immer angemessen widerspiegeln. Daher konzentriert sich dieser Bericht auf die bis Ende 2021 erzielten Fortschritte und baut dazu auf den bis dahin verfügbaren

⁸ COM(2021) 550 final („Fit für 55“: auf dem Weg zur Klimaneutralität – Umsetzung des EU-Klimaziels für 2030“).

⁹ Europäische Kommission, Generaldirektion Forschung und Innovation, *Research and innovation to REPower the EU*, Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, Luxemburg 2022, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/74947>.

¹⁰ Bericht der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat „Fortschritte bei der Wettbewerbsfähigkeit im Bereich der Technologien für saubere Energie“ (erste Ausgabe: COM(2020) 953 final; zweite Ausgabe: COM(2021) 952 final).

¹¹ Dazu gehören Fotovoltaik, Offshore- und Onshore-Windkraft, Wärmepumpen für Gebäudeanwendungen, Batterien, erneuerbare Wasserstoffherzeugung durch Elektrolyse von Wasser, erneuerbare Kraftstoffe, intelligente Technologien für das Energiemanagement, Wasserkraft, Meeresenergie, Geothermie, CO₂-Abscheidung, -Nutzung und -Speicherung (Carbon Capture Utilisation and Storage, CCUS), Bioenergie, konzentrierte Solarenergie und -wärme (Concentrated Solar Power and Heat, CSP) sowie Kernkraft.

¹² In diesem Bericht erstreckt sich das System für saubere Energie auf drei Marktsegmente:

- (1) erneuerbare Energien, einschließlich Herstellung, Installation und Erzeugung;
- (2) Energieeffizienz und Energiemanagementsysteme, die Technologien und Aktivitäten wie intelligente Zähler, intelligente Stromnetze, 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.

konsolidierten Daten auf. Aktuellere Daten wurden angegeben, wenn sie verfügbar und zuverlässig waren. Sie sind jedoch noch kaum vorhanden und können daher die Auswirkungen der aktuellen Energiekrise auf die Wettbewerbsfähigkeit im Bereich der Technologien für saubere Energie noch nicht vollständig abbilden. Soweit dies möglich ist und um den jüngsten Herausforderungen für den Bereich saubere Energie und den Auswirkungen dieser Herausforderungen Rechnung zu tragen, baut die Analyse auf den bereits sichtbaren Folgen und qualitativen Bewertungen für das Jahr 2022 auf. In vollem Umfang können die Auswirkungen jedoch erst im Fortschrittsbericht des nächsten Jahres bewertet werden.

Wettbewerbsfähigkeit ist ein komplexes und vielschichtiges Konzept, das nicht durch einen einzigen Indikator definiert werden kann.¹³ In diesem Bericht wird daher anhand eines definierten Satzes von Indikatoren (Anhang I) die Wettbewerbsfähigkeit des EU-Systems für saubere Energie insgesamt (Abschnitt 2) und in Bezug auf spezifische Technologien und Lösungen für saubere Energie (Abschnitt 3) bewertet. Ab diesem Jahr wird die Beobachtungsstelle für saubere Energie (Clean Energy Technology Observatory, CETO) der Kommission die diesem Bericht zugrunde liegende eingehende evidenzbasierte Analyse vornehmen.¹⁴

Dieser Bericht wird gemäß Artikel 35 Absatz 1 Buchstabe m der Verordnung über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz¹⁵ veröffentlicht und dem Bericht über die Lage der Energieunion¹⁶ beigelegt.

2. ALLGEMEINE WETTBEWERBSFÄHIGKEIT DES BEREICHS SAUBERE ENERGIE IN DER EU

2.1 Hintergrund: jüngste Entwicklungen

2.1.1 Energiepreise und -kosten: aktuelle Trends

Wie in früheren Berichten über die Fortschritte bei der Wettbewerbsfähigkeit festgehalten wurde, lagen die Strom- und Gaspreise für industrielle Verbraucher in der EU im letzten Jahrzehnt über denen der meisten G20-Ländern außerhalb der EU. Durch Russlands unprovokierten und ungerechtfertigten militärischen Angriff gegen die Ukraine haben sich die Preise, die 2021 in der EU und in vielen anderen Regionen der Welt ohnehin bereits ein nie da gewesenes Niveau erreicht hatten, noch weiter erhöht. Die Großhandelspreise für Gas in Europa waren im ersten Quartal 2022 fünfmal höher als ein Jahr zuvor und erreichten im August 2022 einen historischen Höchststand, bevor sie dann wieder fielen. Da Gaskraftwerke auf den europäischen Märkten häufig preisbestimmend sind, hat dies zu einem ähnlichen Trend bei den Stromgroßhandelspreisen geführt.¹⁷ In einigen Bereichen wirkten sie sich auch auf die Produktionskosten aus, insbesondere in energieintensiven Branchen. Auch die Preise für

¹³ Auf der Grundlage der Schlussfolgerungen des Rates „Wettbewerbsfähigkeit“ vom 28. Juli 2020.

¹⁴ https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto_en

¹⁵ ABl. L 328 vom 21.12.2018. Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz.

¹⁶ COM(2022) 547 („Lage der Energieunion 2022“).

¹⁷ Europäische Kommission, Generaldirektion Energie, Beobachtungsstelle für den Energiemarkt, *Quarterly Report on European gas markets*, Bd. 15.

Rohstoffe sind gestiegen. Der fünfte Bericht über Energiepreise und Energiekosten¹⁸, der Ende 2022 angenommen werden soll, wird aktualisierte quantitative Daten und Analysen enthalten.

Die EU und die Mitgliedstaaten haben seit 2021 bereits verschiedene Maßnahmen ergriffen, um die Auswirkungen der hohen Energiepreise abzumildern.¹⁹ Der Vorschlag der Kommission für eine Verordnung über Notfallmaßnahmen als Reaktion auf die hohen Energiepreise, auf den sich der Rat im September 2022 geeinigt hat, umfasst Instrumente zur Verringerung der Stromerzeugung aus Gas um rund 4 % im Winter, wodurch der Preisdruck verringert werden soll, und einen Vorschlag, mehr als 140 Mrd. EUR für die Mitgliedstaaten aufzubringen, um die Auswirkungen der hohen Energiepreise auf die Verbraucher zu entschärfen.²⁰

Auch wenn die Auswirkungen dieser Entwicklung auf die Wertschöpfungskette der Technologien für saubere Energie noch immer uneinheitlich sind, könnte sie auf eine Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit dieser Technologien hindeuten, insbesondere im Vergleich zu nicht erneuerbaren Alternativen.²¹ So ist beispielsweise die Fotovoltaik in einer wachsenden Zahl von Ländern bereits die billigste Stromerzeugungsquelle. Bei der Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff durch Elektrolyse von Wasser sind jedoch die Stromkosten einer der Hauptfaktoren, die die Wirtschaftlichkeit von Elektrolyseuren beeinträchtigen.

Abbildung 1 bietet weitere Einblicke in die Kosten von Technologien für saubere Energie. Sie enthält eine Momentaufnahme der Berechnungen der Stromgestehungskosten (Levelized Costs of Producing Energy, LCOE) für das Jahr 2021 für bestimmte repräsentative Bedingungen²² in der gesamten EU. Die Ergebnisse zeigen, dass Technologieflootten mit niedrigen variablen Kosten (einschließlich variabler Betriebskosten und Kraftstoffkosten) im Jahr 2021 äußerst wettbewerbsfähig waren. Dieser Befund gilt insbesondere für Solar- und Windkraftanlagen mit LCOE im Bereich von 40 bis 60 EUR/MWh. Darüber hinaus lässt sich festhalten, dass die Stromerzeugung in Kombikraftwerken (GuD-Anlagen) 2021 im Durchschnitt offenbar wettbewerbsfähiger war als die Kohleverstromung. Die GuD-Anlagen profitierten in den ersten drei Quartalen des Jahres 2021 von der bevorzugten Einspeisung; der Brennstoffwechsel wurde erst im vierten Quartal 2021 ausschlaggebend. Dies ermöglichte 2021 deutlich höhere Kapazitätsfaktoren für GuD-Anlagen.²³ Der Gaspreisanstieg hat den Wechsel von Gas zu Kohle im ersten Quartal 2022 trotz des Anstiegs der CO₂-Preise weiter begünstigt. Mit den hohen Kohlepreisen zu Beginn des zweiten Quartals 2022 wurde diese Lücke jedoch kleiner, und die jüngsten Ankündigungen einiger Mitgliedstaaten, Kohlekraftwerke vorübergehend stärker einzusetzen, haben dazu geführt, dass für die kommenden Monate mit einem weiteren Anstieg der Kohlepreise gerechnet wird.

¹⁸ Vorherige Ausgabe 2020: COM(2020) 951 final („Energiepreise und Energiekosten in Europa“).

¹⁹ Zu den Maßnahmen gehören die Mitteilung der Kommission COM(2021) 660 final („Steigende Energiepreise – eine ‚Toolbox‘ mit Gegenmaßnahmen und Hilfeleistungen“) und die Mitteilung COM(2022) 138 final („Versorgungssicherheit und erschwingliche Energiepreise“).

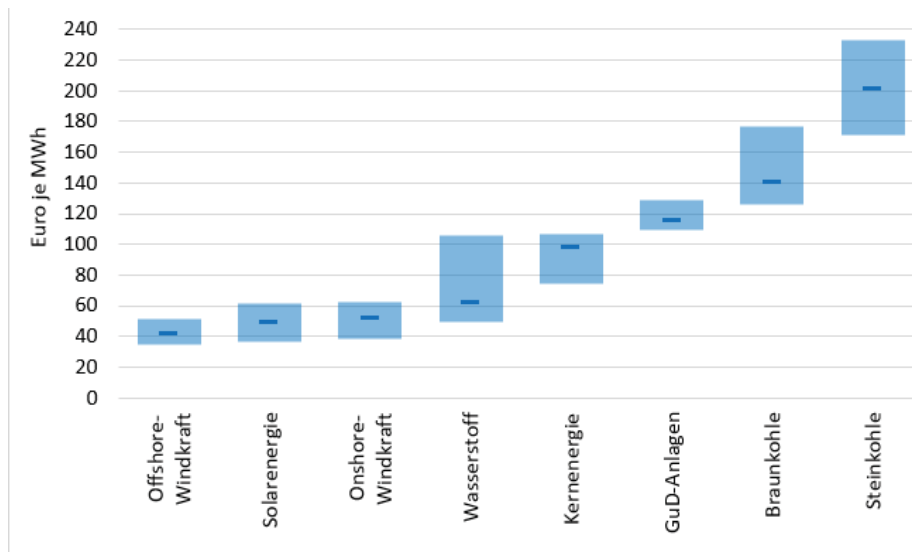
²⁰ COM(2022) 473 final („Vorschlag für eine Verordnung des Rates über Notfallmaßnahmen als Reaktion auf die hohen Energiepreise“).

²¹ Internationale Agentur für Erneuerbare Energien (IRENA), [World Energy Transitions – Outlook 2022: 1.5° C Pathway](#), Abu Dhabi.

²² Die Datenpunkte werden für den ersten bis dritten Interquartilbereich angezeigt, um Ausreißer herauszufiltern.

²³ Bei den modellierten Kapazitätsfaktoren könnten der tatsächliche Brennstoffwechsel und damit die Unterschiede bei den Kapazitätsfaktoren in gewissem Umfang überschätzt sein (siehe Abschnitt 2.1 in Kanellopoulos, K., De Felice, M., Busch, S., und Koolen, D., [Simulating the electricity price hike in 2021](#), JRC127862, EUR 30965 EN, Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, Luxemburg 2022).

Abbildung 1: Momentaufnahme der technologieflottenspezifischen Stromgestehungskosten (LCOE) für 2021. Die hellblauen Balken stellen die Spanne in der gesamten EU-27 dar. Die dicken blauen Linien zeigen den Median an.



Quelle: Gemeinsame Forschungsstelle, METIS-Modellsimulation, 2022²⁴

Die sehr hohen Energiepreise haben den Stromerzeugern mit niedrigeren Grenzkosten (z. B. im Bereich der Wind- und Solarenergie) große finanzielle Gewinne beschert. Die Kommission verfasste daher einen Vorschlag für eine Verordnung über Notfallmaßnahmen als Reaktion auf die hohen Energiepreise²⁵, über den auf der außerordentlichen Tagung des Rates „Energie“ am 30. September eine politische Einigung erzielt wurde. Diese Verordnung beinhaltet eine zeitweilige Obergrenze und Umverteilung der Erlöse aus inframarginalen Erzeugungstechnologien, um Schwierigkeiten für die Energieverbraucher und die Gesellschaft im Allgemeinen zu verringern. Sie umfasst auch einen befristeten obligatorischen Solidaritätsbeitrag für die Gewinne von Unternehmen aus Tätigkeiten im Erdöl-, Erdgas-, Kohle- und Raffineriebereich, die im Vergleich zu den Vorjahren erheblich gestiegen sind. Die derzeitige Krise im Bereich der Energie und der fossilen Brennstoffe ist die jüngste Mahnung an die Notwendigkeit eines Paradigmenwechsels, um zukünftig Stabilität gewährleisten zu können.

Im REPowerEU-Plan wird eine massive Ausweitung und Beschleunigung des Einsatzes erneuerbarer Energien bei der Stromerzeugung, in der Industrie, in Gebäuden und im Verkehrssektor gefordert – nicht nur, um die Energieunabhängigkeit der EU zu beschleunigen und den ökologischen Wandel voranzutreiben, sondern auch, um die Strompreise zu senken und die Einfuhren fossiler Brennstoffe mit der Zeit zu verringern.²⁶ Zu den entsprechenden Maßnahmen gehört eine verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien, was eine geeignete Strominfrastruktur voraussetzt. Um die Ziele von REPowerEU zu erreichen, muss der Ausbau

²⁴ JRC127862 Kanellopoulos, K., De Felice, M., Busch, S., und Koolen, D., Simulating the electricity price hike in 2021, EUR 30965 EN, Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, Luxemburg 2022.

²⁵ COM(2022) 473 final („Vorschlag für eine Verordnung des Rates über Notfallmaßnahmen als Reaktion auf die hohen Energiepreise“).

²⁶ Siehe COM(2022) 230 final („REPowerEU-Plan“), Abschnitt 3, Seite 6.

erneuerbarer Energien mit Maßnahmen zur Energieeinsparung und Energieeffizienz kombiniert werden.²⁷

2.1.1 Globale Ressourcen- und Materiallieferketten: Schwachstellen und Störungen

Neben den Problemen bezüglich der Zuverlässigkeit bestehender Lieferketten und insbesondere der Versorgung mit Erdgas haben sowohl die COVID-19-Pandemie als auch der derzeitige geopolitische Kontext zu Störungen in bestimmten globalen Lieferketten für Materialien und Ressourcen geführt und sich dadurch negativ auf den Bereich saubere Energie ausgewirkt. Die EU ist in hohem Maße auf Lieferungen aus Drittländern angewiesen, und der doppelte ökologische und digitale Wandel wird durch den Zugang zu Rohstoffen angekurbelt. Die jüngsten Entwicklungen in den globalen Lieferketten für Materialien und Ressourcen haben gezeigt, dass die Widerstandsfähigkeit der EU und ihre Energieversorgungssicherheit dringend durch Material- und Ressourcenunabhängigkeit und technologische Souveränität gestärkt werden müssen.

Die Verfügbarkeit von Materialien und die Belastbarkeit der Lieferketten sind wichtige Voraussetzungen für die Verwirklichung des REPowerEU-Plans, denn die steigende Nachfrage nach sauberen Technologien geht Hand in Hand mit einer höheren Nachfrage nach Ressourcen wie Metallen und Mineralien. Zu den Technologien, die in hohem Maße von eingeführten Rohmaterialien oder Bauteilen, die diese Materialien enthalten, abhängig sind, gehören Windenergie (Dauermagnete, Seltenerdmetalle), Fotovoltaik (Silber, Germanium, Gallium, Indium, Cadmium, Siliziummetall) und Batterien (Kobalt, Lithium, Graphit, Mangan, Nickel).²⁸ Die Internationale Energieagentur (IEA) prognostiziert, dass sich der weltweite Gesamtbedarf an Mineralien aufgrund des angekündigten Ausbaus der erneuerbaren Energien bis 2040 verdoppeln oder sogar vervierfachen wird.²⁹

Die steigenden Rohstoffpreise wirken sich auch auf die Kosten für Technologien für saubere Energie aus. Die Preise der für diese Technologien benötigten Materialien wie Lithium und Kobalt haben sich 2021 mehr als verdoppelt, während sich die Preise für Kupfer und Aluminium um etwa 25 % auf 40 % erhöht haben.³⁰ Im selben Jahr kehrte sich der jahrzehntelange Trend des Kostenrückgangs bei Windturbinen und Fotovoltaikmodulen um: Im Vergleich zu 2020 waren hier Preissteigerungen um 9 % bzw. 16 % zu verzeichnen. Batteriesätze werden 2022 mindestens 15 % teurer sein als 2021.³¹

Eine neue Herausforderung besteht darin, zu vermeiden, dass die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen abgelöst wird durch eine Abhängigkeit von eingeführten Rohstoffen und technologischem Know-how für deren Verarbeitung und die Fertigung von Bauteilen. So hat China beispielsweise ein Beinahe-Monopol beim Abbau und der Verarbeitung von

²⁷ COM(2022) 360 final („Gaseinsparungen für einen sicheren Winter“).

²⁸ Europäische Kommission, *Critical materials for strategic technologies and sectors in the EU – a foresight study*, 2020, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42882>.

²⁹ IEA, *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, überarbeitete Fassung, Mai 2022.

³⁰ Kim, T., *Critical minerals threaten a decades-long trend of cost declines for clean energy technologies*, IEA-Website, Mai 2022.

³¹ IEA, *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, überarbeitete Fassung, Mai 2022.

Seltenerdmetallen, die für Technologien für saubere Energie unverzichtbar sind, und verfügt über eine starke Marktposition in der Produktionskette dieser Elemente.

Das Problem der Ressourcenabhängigkeit besteht in dreifacher Hinsicht. Erstens muss sich die EU mit einem verstärkten Wettbewerb um den Zugang zu kritischen Rohstoffen auseinandersetzen, da auch andere Länder ihre diesbezüglichen Kapazitäten ausbauen wollen und ihre Ausfuhren möglicherweise einschränken. Bei der Hälfte der 30 von der EU aufgelisteten kritischen Rohstoffe³² werden mehr als 80 % des Bedarfs eingeführt, was besonders dann besorgniserregend ist, wenn sich das Angebot auf sehr wenige Länder konzentriert.

Zweitens werden trotz der bedeutenden Fortschritte in Bezug auf Kreislaufwirtschaft und Recyclingquoten (bei einigen Metallen werden inzwischen mehr als 50 %³³ recycelt, was mehr als 25 % ihres Verbrauchs entspricht³⁴) Sekundärrohstoffe allein nicht ausreichen, um die hohe – und nach wie vor steigende – Nachfrage zu decken. Auch sind Sekundärrohstoffe mit zusätzlichen Herausforderungen verbunden (z. B. höhere Recyclingkosten einiger Materialien, technische Machbarkeit und unzureichende Verfügbarkeit alter Baugruppen (End-of-Life-Baugruppen)). Die Wirtschaftlichkeit des Recyclings wird sich jedoch verbessern, da die Kosten für Primärmaterialien und der Umfang der verfügbaren End-of-Life-Baugruppen steigen. Sekundärrohstoffe werden daher nach 2030 eine wichtige Versorgungsquelle sein – vorausgesetzt, die notwendigen Investitionen werden unverzüglich begonnen. Eine innovativ gestaltete Recyclingfähigkeit ist ebenfalls überaus wichtig.

Drittens besteht ein theoretisches Potenzial, zwischen 5 und 55 % des europäischen Bedarfs im Jahr 2030 durch die Gewinnung von Rohstoffen aus europäischen Böden zu decken.³⁵ Der Ausbau einheimischer Bergbaukapazitäten wird jedoch durch langwierige Genehmigungsverfahren und ökologische Bedenken, unzureichende Raffinationskapazitäten und einen Mangel an Fachkräften und Fachwissen behindert. Der neue Vorschlag für eine Batterieverordnung³⁶ ist ein Beispiel für eine Leitinitiative, die Europa helfen wird, eine führende Rolle in der Kreislaufwirtschaft für Batterien zu übernehmen – vom nachhaltigen Rohstoffabbau bis zum Recycling.

Die Knappheit von Ressourcen wie Land und Wasser – sei es für die Standortwahl für Solar-, Wind- oder Bioenergie oder für die Elektrolyse von Wasser zur Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff – könnte den weiteren Ausbau von Technologien für saubere Energie auf das gewünschte Niveau in der EU behindern. Die Erleichterung der Mehrfachnutzung von Flächen, wie z. B. Agri-Fotovoltaik (Kombination von Landwirtschaft und Fotovoltaik), und die Ausweisung von Standorten in der maritimen Raumplanung für gleichzeitige Tätigkeiten wie Fischerei und erneuerbare Offshore-Energieerzeugung können dazu beitragen, diese

³² COM(2020) 474 final („Widerstandsfähigkeit der EU bei kritischen Rohstoffen: Einen Pfad hin zu größerer Sicherheit und Nachhaltigkeit abstecken“).

³³ Eisen, Zink oder Platin.

³⁴ Europäische Kommission, Generaldirektion Energie: Guevara Opinska, L., Gérard, F., Hoogland, O. et al., *Study on the resilience of critical supply chains for energy security and clean energy transition during and after the COVID-19 crisis: final report*, Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, Luxemburg 2021, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/946002>.

³⁵ KU Leuven, *Metals for Clean Energy: Pathways to solving Europe's raw materials challenge*, 2022.

³⁶ COM(2020) 798 final („Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über Batterien und Altbatterien, zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020“).

Hindernisse zu überwinden. Gleichzeitig müssen die Mitgliedstaaten bei ihrer Energiemixgestaltung unbedingt die Verfügbarkeit von Wasser berücksichtigen.

Ein wirksames Konzept zur Überwindung der Abhängigkeit der EU von Rohstoffeinfuhren für die Produktion von Technologien für saubere Energie wird ausschlaggebend dafür sein, die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit des Sektors (in Bezug auf Kosten, technologische Souveränität und Resilienz) sicherzustellen und den doppelten ökologischen und digitalen Wandel zu verwirklichen. Die Kommission veröffentlichte 2020 einen Aktionsplan³⁷ zur Abschwächung des Versorgungsrisikos. Dieser umfasste Maßnahmen zur Diversifizierung der Beschaffung außerhalb der EU (z. B. durch strategische Partnerschaften mit rohstoffreichen Ländern), zur Förderung der Kreislaufwirtschaft (z. B. durch nachhaltiges Design, Forschung und Innovation oder Kartierung der Verfügbarkeit kritischer Rohstoffe in „Urban Mines“ oder Tailings) und zur Erschließung des einheimischen Potenzials (z. B. durch Einsatz von Erdbeobachtungstechnologien). Neben der Sicherung der Versorgung muss die EU möglicherweise auch strategische Reserven aufbauen, wenn die Versorgung gefährdet ist. Die Präsidentin der Europäischen Kommission hat daher in ihrer Rede zur Lage der Union am 14. September 2022 ein Europäisches Gesetz über kritische Rohstoffe angekündigt.

2.1.2 Auswirkungen der COVID-19-Pandemie und Wiederaufbau

Die unterschiedlichen wirtschaftlichen Auswirkungen von COVID-19 stellten für den Bereich saubere Energie in der EU im Zeitraum 2020–2021 eine große Bedrohung dar.

Einerseits wuchs die Branche der erneuerbaren Energien der EU mit einem Umsatz von 163 Mrd. EUR im Jahr 2020 und einer Bruttowertschöpfung von 70 Mrd. EUR im Vergleich zu den Zahlen von 2019 um 9 % bzw. 8 %. Insgesamt erwirtschaftete sie etwa viermal mehr Wertschöpfung je Euro Umsatz als die Branche der fossilen Brennstoffe³⁸ und fast 70 % mehr als die verarbeitende Industrie der EU insgesamt³⁹. Dieser Prozentsatz hat sich jedoch im Jahr 2020 leicht verschlechtert, was auf einen zunehmenden Verlust (z. B. in Form von Einfuhren) hindeutet.

Im Jahr 2021 nahm die Produktion⁴⁰ der meisten Technologien und Lösungen für saubere Energie erheblich zu, sodass sich der im Jahr 2020 beobachtete Trend umkehrte. Die Batterieproduktion in der EU verzeichnete ein Rekordjahr: Der Produktionswert vervierfachte sich im Vergleich zu den Werten von 2020, da mehr Kapazitäten in Betrieb genommen wurden. Die Produktion von Wärmepumpen sowie Windkraft- und Solaranlagen stieg 2021 um 30 % (für den Wärmepumpenbereich war es ein Rekordjahr, bei der Windenergie wurde das Niveau von vor der Pandemie erreicht, und bei der Fotovoltaik kehrte sich der seit 2011 zu beobachtende rückläufige Trend um). Die Produktion von Biokraftstoffen, vor allem von Biodiesel, stieg um 40 % und nahm in allen Mitgliedstaaten stark zu, während die Produktion von Bioenergie (z. B. Pellets, Rückstände aus der Stärkegewinnung und Holzspäne) um 5 %

³⁷ COM(2020) 474 final („Widerstandsfähigkeit der EU bei kritischen Rohstoffen: Einen Pfad hin zu größerer Sicherheit und Nachhaltigkeit abstecken“).

³⁸ In der Branche der fossilen Brennstoffe beträgt die Bruttowertschöpfung je Euro Umsatz weniger als 0,10 EUR (Eurostat – Strukturelle Unternehmensstatistiken).

³⁹ Das Verhältnis der Bruttowertschöpfung zum Umsatz beträgt im verarbeitenden Gewerbe (NACE C) in der EU rund 0,25 EUR (Eurostat-Daten SBS_NA_IND_R2).

⁴⁰ Dies bezieht sich auf den Geldwert (EUR) der Produktion.

zunahm. Die Wasserstoffherzeugung⁴¹ stieg um fast 50 %, da sich die Produktion in den Niederlanden im Jahr 2021 mehr als verdoppelt hat.

Der ab 2021 beginnende simultane Anstieg der Preise könnte jedoch ein zu positives Bild des Produktionswachstums vermitteln. Darüber hinaus war bei einigen Technologien ein Anstieg der Einfuhren zu verzeichnen, um die wachsende Nachfrage in der EU decken zu können. Beispielsweise war 2021 das Jahr mit dem größten relativen Anstieg des EU-Handelsdefizits bei Wärmepumpen (390 Mio. EUR 2021 gegenüber 40 Mio. EUR 2020, wobei 2020 das erste Jahr war, in dem sich der EU-Handelsüberschuss in ein Defizit wandelte), gefolgt vom Handelsdefizit bei Biokraftstoffen (2,3 Mrd. EUR 2021 gegenüber 1,4 Mrd. EUR 2020) und bei Fotovoltaikanlagen (9,2 Mrd. EUR 2021 gegenüber 6,1 Mrd. EUR 2020). Eine positive Handelsbilanz behielt die EU indes im Bereich der Windenergietechnik (2,6 Mrd. EUR 2021 gegenüber 2 Mrd. EUR 2020) und der Wasserkrafttechnologie bei, trotz eines seit 2015 zu beobachtenden rückläufigen Trends (211 Mio. EUR 2021 gegenüber 232 Mio. EUR 2020).

Die EU-Maßnahmen zur Konjunkturbelebung, wie z. B. die Aufbau- und Resilienzfazilität im Rahmen von NextGenerationEU⁴², sind eine wichtige Triebkraft für die Neuausrichtung und die Steigerung der Investitionen im Bereich saubere Energie. Im Oktober 2022 einigte sich der Rat⁴³ auf den Vorschlag der Europäischen Kommission⁴⁴, in die Aufbau- und Resilienzpläne der Mitgliedstaaten ein eigenes REPowerEU-Kapitel aufzunehmen, um wichtige Investitionen und Reformen zu finanzieren, die zur Verwirklichung der REPowerEU-Ziele beitragen.⁴⁵

Bei den von den Mitgliedstaaten in ihren Aufbau- und Resilienzplänen vorgeschlagenen Reformen und Investitionen wurden bisher die Ausgabenziele sowohl für den Klimaschutz als auch für den digitalen Wandel übertroffen (mindestens 37 % bzw. 20 % der Ausgaben in den Aufbau- und Resilienzplänen).⁴⁶ In den 26⁴⁷ von der Kommission bis zum 8. September 2022 genehmigten Aufbau- und Resilienzplänen sind Maßnahmen im Wert von ca. 200 Mrd. EUR für den Klimaschutz und 128 Mrd. EUR für den digitalen Wandel vorgesehen⁴⁸, was 40 % bzw. 26 % der Gesamtzuweisungen dieser Mitgliedstaaten (Zuschüsse und Darlehen) entspricht.

⁴¹ Bezieht sich auf den gesamten Wasserstoff, unabhängig vom Erzeugungsweg.

⁴² COM(2020) 456 final („Die Stunde Europas – Schäden beheben und Perspektiven für die nächste Generation eröffnen“).

⁴³ <https://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2022/10/04/repowereu-council-agrees-its-position/>

⁴⁴ COM(2022) 231 final („Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Verordnung (EU) 2021/241 in Bezug auf REPowerEU-Kapitel in den Aufbau- und Resilienzplänen und zur Änderung der Verordnung (EU) 2021/1060, der Verordnung (EU) 2021/2115, der Richtlinie 2003/87/EG und des Beschlusses (EU) 2015/1814“).

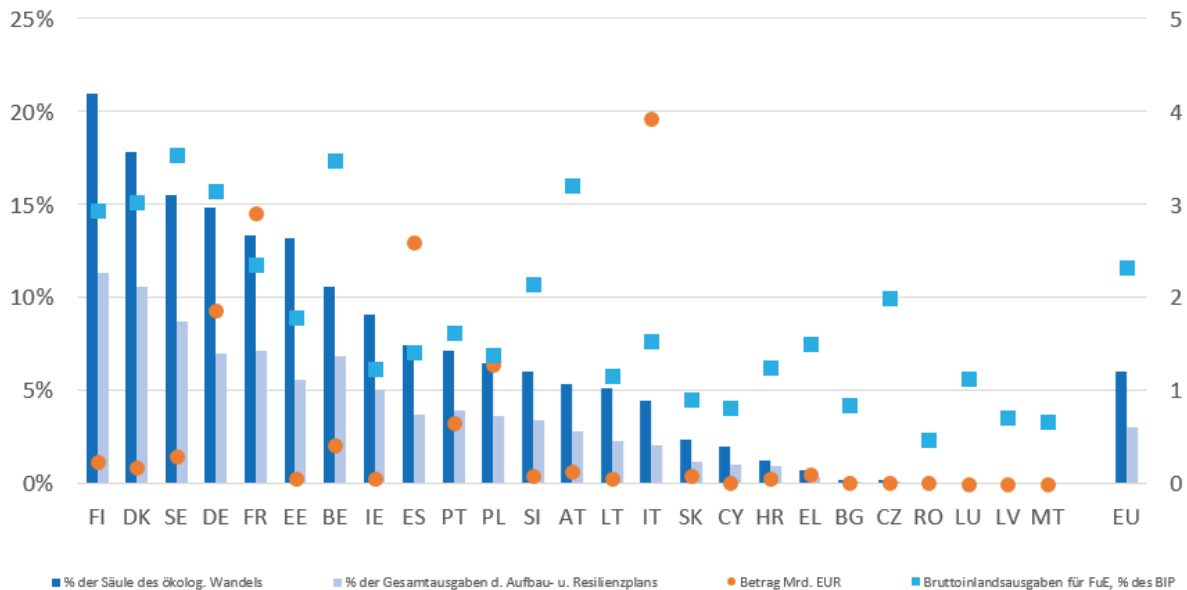
⁴⁵ In dem Vorschlag ist eine zusätzliche Umschichtung im EU-Haushalt vorgesehen, um die noch verfügbaren 225 Mrd. EUR an Darlehen der Aufbau- und Resilienzfazilität zu ergänzen; zudem wird eine Aufstockung der Mittel für die Aufbau- und Resilienzfazilität gefordert. Die Europäische Kommission hat bilaterale Gespräche mit den Mitgliedstaaten aufgenommen, um zu ermitteln, welche Reformen und Investitionen für eine Finanzierung im Rahmen der neuen REPowerEU-Kapitel infrage kommen könnten. Die EU-Förderung stellt eine Ergänzung zu anderen verfügbaren öffentlichen und privaten Mitteln dar, die für die Bereitstellung der für REPowerEU erforderlichen Investitionen von vorrangiger Bedeutung sein werden.

⁴⁶ Die Fortschritte bei der Umsetzung der Aufbau- und Resilienzpläne können auf dem Aufbau- und Resilienzscoreboard, einer von der Kommission im Dezember 2021 eingerichteten Online-Plattform, live verfolgt werden.

⁴⁷ AT, BE, BG, CY, CZ, DE, DK, EE, EL, ES, FI, FR, HR, IE, IT, LT, LU, LV, MT, NL PL, PT, RO, SE, SI, SK.

⁴⁸ In den Aufbau- und Resilienzplänen musste für jede Maßnahme angegeben und begründet werden, inwieweit sie vollständig (100 %) oder teilweise (40 %) zu dem Klimaziel beiträgt oder keine Auswirkungen (0 %) darauf hat. Die Beiträge zu den Klimazielen wurden anhand der Methodik in Anhang VI der Verordnung zur Einrichtung der Aufbau- und Resilienzfazilität berechnet. Durch Kombination der Koeffizienten mit den Kostenschätzungen für die einzelnen Maßnahmen kann berechnet werden, in welchem Maße die Pläne zu den Klimazielen beitragen.

Abbildung 2: Forschung, Entwicklung und Innovation bei grünen Tätigkeiten in den Aufbau- und Resilienzplänen als anteiliger (linke Achse) und absoluter Betrag (rechte Achse). Zum Vergleich ist auch die FuE-Intensität im Verhältnis zum BIP (rechte Achse) angegeben.



Quelle: JRC auf der Grundlage von Daten der GD ECFIN.

Die 25 vom Rat am 8. September 2022 genehmigten Aufbau- und Resilienzpläne enthalten Maßnahmen im Zusammenhang mit FuI mit einem Gesamtbudget von 47 Mrd. EUR⁴⁹ (einschließlich thematischer und horizontaler Investitionen⁵⁰). Davon wurden 14,9 Mrd. EUR für Investitionen in Forschung, Entwicklung und Innovation (FEI) für grüne Tätigkeiten bereitgestellt (Abbildung 2).

2.1.3 Humankapital und Kompetenzen

Die aktuellen Daten zum weltweiten **Humankapital** zeigen, dass der Bereich saubere Energie während der COVID-19-Pandemie zwar widerstandsfähig war, dass aber Kompetenzdefizite und der Fachkräftemangel im Jahr 2021 zugenommen haben und voraussichtlich auch im Jahr 2022 anhalten werden.

⁴⁹ Die Zahlen beruhen auf der Methodik für die Markierung von Maßnahmen als Beitrag zu einer bestimmten Säule bezogen auf das Aufbau- und Resilienzscoreboard und entsprechen den Maßnahmen, die primär oder sekundär den Politikbereichen „FEI-Maßnahmen für grüne Tätigkeiten“, „Digitalisierungsmaßnahmen im Bereich FEI“ und „FEI“ zugeordnet wurden. Der Rat hat den Aufbau- und Resilienzplan der Niederlande noch nicht angenommen, weshalb hierfür noch keine nach dieser Methodik erhobenen Daten verfügbar sind. Weitere Informationen zum Aufbau- und Resilienzscoreboard sind unter https://ec.europa.eu/economy_finance/recovery-and-resilience-scoreboard/ abrufbar.

⁵⁰ Zu den thematischen FuI-Investitionen zählen Investitionen, die auf den ökologischen Wandel, digitale Technologien und Gesundheit ausgerichtet sind, während horizontale FuI-Investitionen bereichsübergreifende Maßnahmen umfassen, die z. B. Innovationsökosysteme stärken, die Forschungsinfrastruktur verbessern und Unternehmensinnovationen fördern. Weitere Informationen zum Aufbau- und Resilienzscoreboard sind abrufbar unter https://ec.europa.eu/economy_finance/recovery-and-resilience-scoreboard/.

Die EU-weite Beschäftigung im Bereich saubere Energie im weiteren Sinne⁵¹ erreichte 2019 1,8 Millionen, was einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 3 % seit 2015⁵² und einem Anteil von 1 % an der Gesamtbeschäftigung in der EU entsprach. Im Vergleich dazu wuchs die Beschäftigung in der Gesamtwirtschaft im Durchschnitt um 1 % pro Jahr⁵³, während die Beschäftigung in der Branche der fossilen Energie in den letzten zehn Jahren um durchschnittlich 2 % zurückging⁵⁴. Bei der weltweiten Beschäftigung im Sektor „Erneuerbare Energien“, in dem es insgesamt 12 Millionen Arbeitsplätze gab⁵⁵, stand China 2020 weltweit an erster Stelle (39 %), gefolgt von der EU (11 %)⁵⁶.

Die Zusammensetzung der Arbeitsplätze im Bereich saubere Energie im weiteren Sinne in der EU hat sich in mehrfacher Hinsicht verändert.⁵⁷ Als größter Arbeitgeber ist die Wärmepumpenindustrie⁵⁸ dabei, die Sektoren der festen Biokraftstoffe⁵⁹ und der Windenergie zu überholen. Dies ist hauptsächlich auf die zunehmende Installation von Wärmepumpen zurückzuführen. Dieser Trend dürfte sich mit dem REPowerEU-Plan und neuen Produktangeboten für den Renovierungsbereich fortsetzen.⁶⁰ Darüber hinaus ist der Sektor der sauberen Energie im Durchschnitt um 20 % produktiver als die Gesamtwirtschaft. Seit 2015 ist die Arbeitsproduktivität im Bereich saubere Energie schneller gestiegen (2,5 % jährlich) als in der Gesamtwirtschaft (1,8 % jährlich). Dieser Anstieg ist auf den Sektor der Elektromobilität (5 % jährlich) und die erneuerbaren Energien (4 % jährlich) zurückzuführen, wobei je nach Technologie unterschiedliche Trends zu beobachten sind.

Fast 30 % der Unternehmen in der EU, die in der Herstellung von elektrischen Ausrüstungen⁶¹ tätig sind, verzeichneten 2022 jedoch einen **Arbeitskräftemangel**, der sogar noch größer war als 2018. Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass sich die Wirtschaft allgemein von der Pandemie erholt, der Aufbau der für den ökologischen und digitalen Wandel erforderlichen

⁵¹ Die Zahlen für den Bereich saubere Energie in diesem Bericht beziehen sich auf Daten, die auf dem EGSS (Kategorien „CReMA13A“, „CReMA13B“ und „CEPA1“) von Eurostat basieren. „CReMA13A“ (Energiegewinnung aus erneuerbaren Quellen) umfasst die Herstellung von Technologien, die zur Gewinnung erneuerbarer Energie benötigt werden. „CReMA13B“ (Wärme-/Energieeinsparungen und -management) umfasst Wärmepumpen, intelligente Zähler, energetische Sanierungsmaßnahmen, Dämmstoffe und Teile intelligenter Netze. „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).

⁵² Eurostat [env_ac_egss1].

⁵³ Eurostat [lfsi_emp_a].

⁵⁴ Eurostat [sbs_na_ind_r2].

⁵⁵ Dies schließt direkte und indirekte Beschäftigung ein.

⁵⁶ Internationale Agentur für Erneuerbare Energien (IRENA) und Internationale Arbeitsorganisation (ILO), *Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2021*, Abu Dhabi und Genf.

⁵⁷ EurObserv'ER. *The State of Renewable Energies in Europe – Edition 2021 20th EurObserv'ER Report*, 2022. In dieser Zahl sind Wärmepumpen eingeschlossen.

⁵⁸ Auf Wärmepumpen entfielen 24 % aller Arbeitsplätze im Bereich der erneuerbaren Energien, auf feste Biobrennstoffe und Windenergie jeweils 20 %. Daten aus: EurObserv'ER. *The State of Renewable Energies in Europe – Edition 2021 20th EurObserv'ER Report*, 2022.

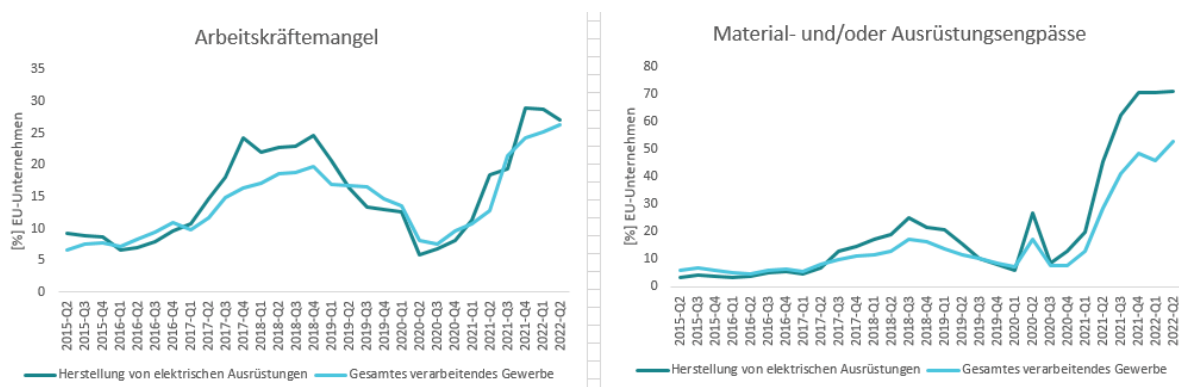
⁵⁹ Insbesondere die Daten zu Biokraftstoffen wurden methodischen Überarbeitungen unterzogen und auf der Grundlage von Projektdaten aus dem Horizont-2020-Projekt ADVANCEFUEL aktualisiert.

⁶⁰ European Heat Pump Association (EHPA). *European Heat Pump Market and Statistics Report 2021*, 2022.

⁶¹ Der NACE-Code „27 – Herstellung von elektrischen Ausrüstungen“ wird stellvertretend für die Herstellung von Technologien für saubere Energie verwendet, da viele Technologien für saubere Energie unter diese Kategorie fallen. Er wird auch stellvertretend für das industrielle Ökosystem erneuerbarer Energien in der Industriestrategie der EU [COM(2020) 108 final und deren kürzlich veröffentlichter Aktualisierung COM(2021) 350 final] verwendet.

Kompetenzen im Bereich saubere Energie aber nur langsam vorankommt.⁶² Angesichts der Tatsache, dass mehr als 70 % der EU-Unternehmen, die elektrische Ausrüstungen herstellen, 2022 mit Materialengpässen konfrontiert sind, zeigen diese Trends das wachsende Risiko einer Unterbrechung der Lieferkette für saubere Energie (Abbildung 3).

Abbildung 3: Arbeitskräftemangel und Materialengpässe bei Herstellern elektrischer Ausrüstungen in der EU und beim gesamten verarbeitenden Gewerbe in der EU [in %].



Quelle: JRC auf der Grundlage von Branchenumfragen der GD ECFIN.⁶³

Im REPowerEU-Plan werden verstärkte Anstrengungen zur Überwindung des Fachkräftemangels in verschiedenen Segmenten der Technologien für saubere Energie gefordert. Zu diesem Zweck wird in dem Plan angekündigt, aufbauend auf bereits bestehenden Tätigkeiten innerhalb der EU⁶⁴ Kompetenzen durch ERASMUS+⁶⁵ und das Gemeinsame Unternehmen für sauberen Wasserstoff⁶⁶ zu fördern. Auch in der EU-Strategie für Solarenergie⁶⁷ werden spezifische Maßnahmen vorgeschlagen. Das Industrieforum für saubere Energie nahm 2022 die Gemeinsame Erklärung zu Kompetenzen an⁶⁸ und verpflichtete sich, konkrete Schritte zu unternehmen, um den festgestellten Fachkräftemangel zu beheben.⁶⁹ Darüber hinaus verabschiedete der Rat 2022 eine Empfehlung, in der die Mitgliedstaaten

⁶² Die langsame Entwicklung ist auf verschiedene beschäftigungsbezogene Missverhältnisse zurückzuführen (z. B. räumliche, sektorale, berufliche und zeitliche). Der rasante Wandel hin zu umweltfreundlichen und digitalen Technologien steht im Widerspruch zu der benötigten Zeit für den Aufbau von Kompetenzen. Vgl. beispielsweise:

- Czako, V., *Skills for the clean energy transition*, 2022 (noch nicht veröffentlicht).
- Asikainen, T., Bitat, A., Bol, E., Czako, V., Marmier, A., Muench, S., Murauskaite-Bull, I., Scapolo, F., und Stoermer, E., *The future of jobs is green*, Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, Luxemburg 2021, [doi:10.2760/218792](https://doi.org/10.2760/218792), JRC126047;
- Cedefop (Europäisches Zentrum für die Förderung der Berufsbildung), *An ally in the green transition – VET, especially apprenticeship, can provide the skills needed for greening jobs – and in turn help shape them*, Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, Luxemburg 2022, <http://data.europa.eu/doi/10.2801/712651>.

⁶³ Daten aus Unternehmens- und Verbraucherumfragen [industry_subsectors_q8_nace2].

⁶⁴ Zum Beispiel die Europäische Kompetenzagenda 2020 mit ihrer Vorzeigemaßnahme, dem Kompetenzpakt und den daraus resultierenden Partnerschaften in industriellen Ökosystemen, sowie der Mechanismus für einen gerechten Übergang.

⁶⁵ Erasmus +: <https://www.erasmuskills.eu/eskills/>.

⁶⁶ Gemeinsames Unternehmen für sauberen Wasserstoff, *Strategic Research and Innovation Agenda 2021–2027*, <https://www.clean-hydrogen.europa.eu/system/files/2022-02/Clean%20Hydrogen%20JU%20SRIA%20-%20approved%20by%20GB%20-%20clean%20for%20publication%20%28ID%2013246486%29.pdf>.

⁶⁷ COM(2022) 221 final („EU-Strategie für Solarenergie“).

⁶⁸ *Joint Declaration on Skills in the Clean Energy Sector*, veröffentlicht am 16. Juni 2022. Abrufbar unter: https://ec.europa.eu/info/news/clean-energy-industrial-forum-underlines-importance-deploying-renewables-2022-jun-16_en.

⁶⁹ Es wird beispielsweise geschätzt, dass 800 000 Arbeitskräfte für die Arbeit in der Batterie-Wertschöpfungskette ausgebildet werden müssten, um die REPowerEU-Ziele zu erreichen. Rund 400 000 Personen müssten Schulungen und Fortbildungen in der Wärmepumpen-Wertschöpfungskette erhalten, und dabei sind die Fachkräfte, die bereits in diesem Bereich tätig sind und in den nächsten Jahren in den Ruhestand gehen, noch nicht mitgerechnet (siehe Fußnote 69).

aufgefordert werden, Maßnahmen zu ergreifen, um mit den beschäftigungsbezogenen und sozialen Aspekten der Klima-, Energie- und Umweltpolitik umzugehen.⁷⁰ Die Europäische Kommission hat am 12. Oktober 2022 vorgeschlagen, 2023 zum Europäischen Jahr der Kompetenzen zu machen, um die EU für hoch qualifizierte Arbeitskräfte attraktiver zu machen.⁷¹

Das **ungleiche Geschlechterverhältnis** sowohl bei den Arbeitskräften im Energiesektor als auch bei den energiebezogenen Forschungs- und Innovationstätigkeiten besteht weiterhin; allerdings liegen kaum kohärente und kontinuierliche nach Geschlechtern aufgeschlüsselte Daten vor.⁷² Die Unterrepräsentiertheit von Frauen in den Entscheidungsgremien von Energieunternehmen und an den Hochschulen in den Fachbereichen Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik (MINT) spiegelt sich wider in einem geringeren Anteil an Patentanmeldungen mit weiblichen Erfinderinnen (2021 nur 20 % über alle Patentklassen hinweg⁷³ und etwas mehr als 15 % bei Klimaschutztechnologien⁷⁴), einem geringeren Anteil von Start-ups, die von Frauen gegründet oder mitgegründet werden (weniger als 15 % in der EU im Jahr 2021)⁷⁵, und geringeren Kapitalinvestitionen in Unternehmen unter weiblicher Führung (nur 2 % in reine Frauen-Start-ups und 9 % in gemischte Teams in der EU im Jahr 2021⁷⁶).

Die EU verstärkt ihre Anstrengungen zur Gewährleistung eines ausgewogenen und auf Gleichstellung beruhenden Ökosystems. Zu den Initiativen gehören die Strategie für die Gleichstellung der Geschlechter 2020–2025⁷⁷, die 2022 aufgelegte Initiative Women TechEU⁷⁸, das neue Förderfähigkeitskriterium im Rahmen des Programms Horizont Europa⁷⁹ und die konkreten Zielmaßnahmen in der neuen europäischen Innovationsagenda 2022⁸⁰. Die Überwindung des Geschlechtergefälles wird nicht nur dazu beitragen, den Fachkräftemangel und die Kompetenzdefizite in der EU zu bewältigen, um den doppelten ökologischen und digitalen Wandel zu verwirklichen, sondern auch dazu, Frauen stärker in diese Arbeitsbereiche einzubinden und auf diese Weise gesellschaftliche Herausforderungen anzugehen.

⁷⁰ 2022/C 243/04, Empfehlung des Rates zur Sicherstellung eines gerechten Übergangs zur Klimaneutralität.

⁷¹ COM(2022) 526 final

⁷² COM(2020) 953 final, COM(2021) 952 final („Fortschritte bei der Wettbewerbsfähigkeit im Bereich der Technologien für saubere Energie“).

⁷³ Für Erfindungen, bei denen mindestens ein Erfinder seinen Sitz in Europa hat. Die Zahlen basieren auf Angaben des Europäischen Patentamts 2022.

⁷⁴ Internationale Energieagentur, <https://www.iea.org/commentaries/gender-diversity-in-energy-what-we-know-and-what-we-dont-know>.

⁷⁵ Europäische Exekutivagentur für den Innovationsrat und für KMU (EISMEA), 2022.

⁷⁶ IDC-Bericht *European Women in Venture Capital*, 2022.

⁷⁷ Europäische Kommission, Strategie für die Gleichstellung der Geschlechter.

⁷⁸ Europäische Exekutivagentur für den Innovationsrat und für KMU (EISMEA), 2022. https://eisma.ec.europa.eu/programmes/european-innovation-ecosystems/women-techeu_en.

⁷⁹ Beim Programm Horizont Europa gibt es ein neues Kriterium für die Förderfähigkeit, wonach Forschungseinrichtungen, die eine Finanzierung beantragen, über einen praktikablen Gleichstellungsplan verfügen müssen, mit dem Ziel, in allen Entscheidungsgremien und Führungspositionen im Zusammenhang mit Horizont Europa ein ausgewogenes Geschlechterverhältnis von 50 % zu erreichen. Weitere Informationen: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy/strategy-2020-2024/democracy-and-rights/gender-equality-research-and-innovation_en#gender-equality-plans-as-an-eligibility-criterion-in-horizon-europe.

⁸⁰ COM(2022) 332 final („Eine neue europäische Innovationsagenda“).

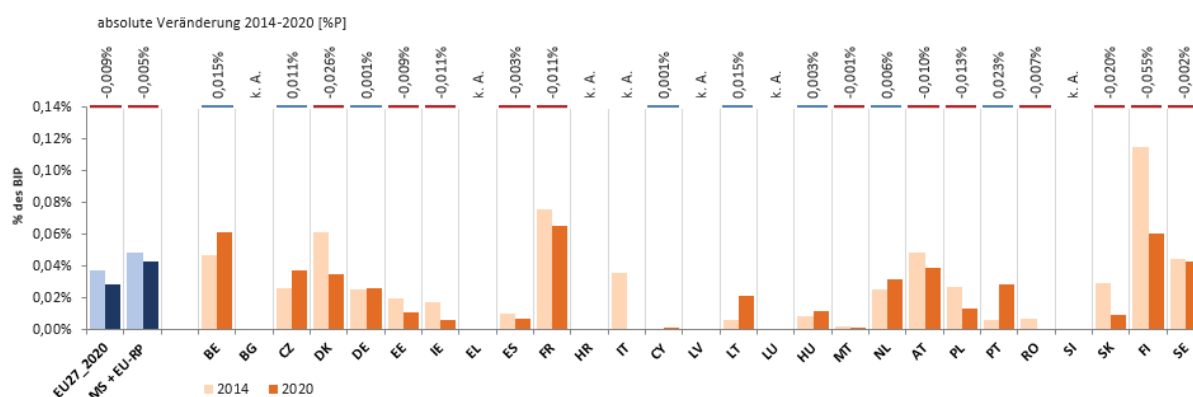
2.2 Trends in Forschung und Innovation

Die zunehmende ökologische, geopolitische, wirtschaftliche und soziale Instabilität in der Welt erfordert eine flexible FuI-Politik der EU, mit der wirksam auf eine Krisensituation reagiert und gleichzeitig die Umsetzung des europäischen Grünen Deals sichergestellt werden kann.

Die FuI-Politik der EU prägt die Richtung der Innovation und das Portfolio an Technologien für saubere Energie. Das weltweit größte FuI-Programm, Horizont Europa (mit einem Budget von 95,5 Mrd. EUR für Forschung und Innovation im Zeitraum 2021–2027) und andere EU-Finanzierungsprogramme (z. B. der Innovationsfonds und die Finanzierung der Kohäsionspolitik) dienen dazu, das FuI-Ökosystem der EU zu stärken und zur Verwirklichung der politischen Ziele der EU beizutragen.⁸¹ Zusammen mit den gemeinsamen und koordinierten Anstrengungen der Mitgliedstaaten (insbesondere durch den Strategieplan für Energietechnologie (SET-Plan))⁸² erhöhen die FuI-Aktivitäten die Widerstandsfähigkeit des Bereichs saubere Energie der EU.

Die meisten EU-Mitgliedstaaten haben ihre öffentlichen FuI-Investitionen im Rahmen der Prioritäten der Energieunion der EU im Jahr 2020 erhöht^{83,84}; bislang wurden über 4 Mrd. EUR gemeldet. Es wird erwartet, dass die endgültigen Gesamtzahlen für 2020 absolut betrachtet mit den Werten von vor der Finanzkrise vergleichbar sein werden. Gemessen am Bruttoinlandsprodukt (BIP) bleiben die Investitionen in öffentliche FuI sowohl auf nationaler als auch auf EU-Ebene jedoch unter dem Niveau von 2014 (Abbildung 4).

Abbildung 4: Öffentliche Investitionen in FuI im Bereich saubere Energie in den EU-Mitgliedstaaten als Anteil am BIP seit Beginn von Horizont 2020⁸⁵



Quelle: JRC auf der Grundlage von Daten der IEA⁸⁶ und eigenen Arbeiten⁸⁷.

⁸¹ Europäische Kommission, Generaldirektion Forschung und Innovation, *Science, Research and Innovation: Performance of the EU 2022*, Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, Luxemburg 2022.

⁸² Der 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. Weitere Informationen: https://energy.ec.europa.eu/topics/research-and-technology/strategic-energy-technology-plan_en.

⁸³ Erneuerbare Energien, intelligente Systeme, effiziente Systeme, nachhaltiger Verkehr, CCUS-Technologien und nukleare Sicherheit, COM(2015) 80 final („Energieunionspaket“).

⁸⁴ JRC SETIS https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-research-and-innovation-data_en.

⁸⁵ Mit „EU-RP“ ist das Rahmenprogramm der EU gemeint; „k. A.“ bedeutet, dass ein Land keine Daten übermittelt hat.

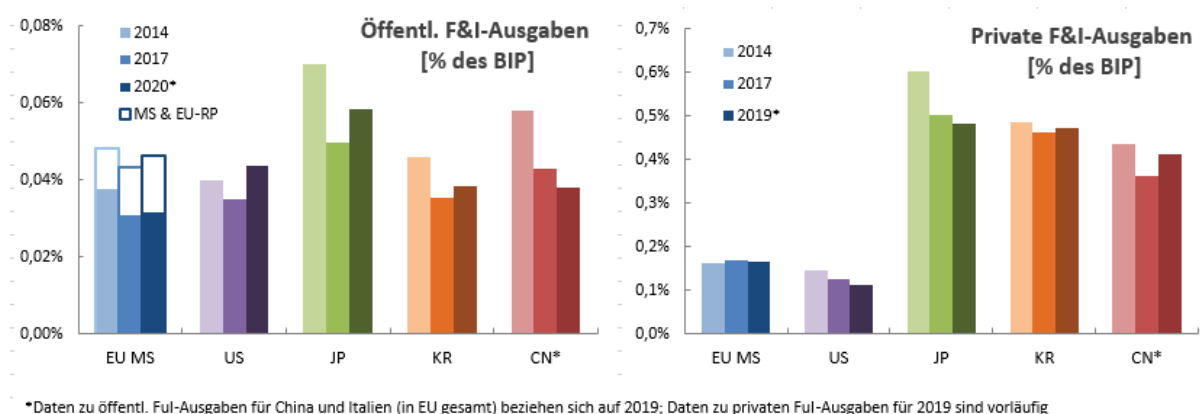
⁸⁶ Angepasst an die Ausgabe 2022 der IEA-Datenbank zu den Forschungs- und Entwicklungsbudgets (Energy. Technology RD&D Budgets Database).

⁸⁷ JRC SETIS https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-research-and-innovation-data_en.

Im Jahr 2020 kamen durch Mittel aus dem Programm Horizont 2020 zur Unterstützung der FuI-Prioritäten der Energieunion 2 Mrd. EUR zu den Beiträgen der Mitgliedstaaten hinzu, die diese in ihre nationalen Programme investierten. Während die nationalen Beiträge der großen Volkswirtschaften nach wie vor niedrig sind, kam die EU im Jahr 2020 durch die Horizont-2020-Mittel bei den öffentlichen FuI-Investitionen im Bereich saubere Energie auf Platz zwei der größten Volkswirtschaften (Abbildung 5)⁸⁸, und zwar sowohl bei den absoluten Ausgaben (6,6 Mrd. EUR, wobei die USA mit 8 Mrd. EUR in Führung lagen) als auch als Anteil am BIP (0,046 %; hier führte Japan mit 0,058 %, aber nur knapp vor den USA und Südkorea⁸⁹).

Globalen Bewertungen zufolge investiert der Unternehmenssektor im Durchschnitt mindestens dreimal so viel in FuI für saubere Energie wie der öffentliche Sektor.⁹⁰ 80 % der Ausgaben für Forschung und Innovation im Rahmen der FuI-Prioritäten der Energieunion entfallen auf den Unternehmenssektor der EU. 2019 beliefen sich die geschätzten privaten FuI-Investitionen in der EU auf 0,17 % des BIP (Abbildung 5) und auf 11 % der gesamten FuE-Ausgaben des Wirtschafts- und Unternehmenssektors. Schätzungen für die EU zeigen, dass die Investitionen in absoluten Zahlen (18–22 Mrd. EUR pro Jahr) seit 2014 mit denen der USA und Japans vergleichbar sind. Betrachtet man die Investitionen als Anteil am BIP, liegt die EU allerdings hinter anderen großen konkurrierenden Volkswirtschaften (Japan, Südkorea und China) zurück, auch wenn sie mehr investiert als die USA.

Abbildung 5: Öffentliche und private Finanzierung von Forschung und Innovation im Rahmen der FuI-Prioritäten der Energieunion in großen Volkswirtschaften, als BIP-Anteil



Quelle: JRC auf der Grundlage von Daten der IEA⁹¹, der Initiative „Innovationsmission“⁹² und eigenen Arbeiten.

Seit 2014 hat die Hälfte der EU-Mitgliedstaaten ihre **Patentierungstätigkeit** entsprechend den FuI-Prioritäten der Energieunion gesteigert, wobei Länder, die bei grünen Innovationen führend sind, wie etwa Deutschland und Dänemark, sowohl in absoluten Zahlen als auch bezogen auf den Anteil grüner Patente an ihrem gesamten Innovationsportfolio gut

⁸⁸ Die Grafik überschneidet sich für die EU mit den ersten beiden Kategorien von Abbildung 4. Die Werte in den beiden Abbildungen unterscheiden sich geringfügig, da es sich bei der Zahl für Italien in Abbildung 5 um eine Schätzung handelt.

⁸⁹ In diesen Zahlen sind die Mittel der Mitgliedstaaten und die des EU-Rahmenprogramms enthalten. Der Bericht des Vorjahrs bezog sich nur auf die Mittel der Mitgliedstaaten, die auch in Abbildung 5 dargestellt sind und die als Anteil am BIP geringer ausfallen als in anderen großen Volkswirtschaften.

⁹⁰ IEA, *Tracking clean energy innovation – A framework for using indicators to inform policy*, 2020.

⁹¹ Angepasst an die Ausgabe 2022 der IEA-Datenbank zu den Forschungs- und Entwicklungsbudgets (Energy. Technology RD&D Budgets Database).

⁹² Mission Innovation Country Highlights, 6th MI Ministerial 2021, http://mission-innovation.net/wp-content/uploads/2021/05/MI_2021v0527.pdf.

abschneiden. Die EU ist nach wie vor weltweit führend bei Patentanmeldungen in den Bereichen Klima und Umwelt (23 %), Energie (22 %) und Verkehr (28 %).

Weltweit gab es im Jahr 2020 etwas weniger **wissenschaftliche Veröffentlichungen** zu Technologien für CO₂-arme Energie als im Zeitraum 2016–2019. In der EU ist diese Zahl zwischen 2016 und 2019 (im Vergleich zum globalen Durchschnitt) weniger stark gestiegen und 2020 stärker zurückgegangen. Obwohl die EU pro Kopf der Bevölkerung weiterhin mehr als doppelt so viele Veröffentlichungen wie der weltweite Durchschnitt produzierte, steuerte sie nur etwas mehr als 16 % der weltweit veröffentlichten wissenschaftlichen Artikel bei.⁹³

Dieser Trend ist vor allem auf die zunehmende Zahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen in anderen Bereichen und auf die Tatsache zurückzuführen, dass Volkswirtschaften mit hohem Einkommen bei Themen im Zusammenhang mit sauberer Energie und Innovation nicht mehr zu dominieren scheinen.⁹⁴ Vor zehn Jahren war die EU in der Energieforschung führend, doch durch die massive Steigerung der Quantität und Qualität der Energieforschungsleistung Chinas wurde sie auf den zweiten Rang zurückgedrängt. Bei den Veröffentlichungen zum Thema Energie werden chinesische Forschende mit einem Anteil von 39 % am häufigsten zitiert.⁹⁵ Dennoch liegt das Ausmaß der internationalen Zusammenarbeit und der Veröffentlichungstätigkeit bezüglich Fragen der sauberen Energie bei EU-Forschenden weit über dem globalen Durchschnitt; darüber hinaus besteht in der EU eine stärkere Zusammenarbeit zwischen dem öffentlichen und dem privaten Sektor. Das Rahmenprogramm für Forschung und Innovation „Horizont 2020“, der Europäische Fonds für regionale Entwicklung und das Siebte Rahmenprogramm für Forschung und Innovation gehörten im Zeitraum 2016–2020 zu den 20 weltweit anerkanntesten Förderprogrammen zur Unterstützung der Wissenschaft im Bereich saubere Energie.⁹⁶

In der letzten Ausgabe des Jahresberichts⁹⁷ wurde betont, dass die Überwachung öffentlicher und privater FuI-Investitionen im Bereich saubere Energie und die quantitative Bewertung der Wettbewerbsfähigkeit verbessert werden müssen; dies ist seither noch wichtiger geworden. Die Überprüfung des SET-Plans und die geplante Aktualisierung der nationalen Energie- und Klimapläne (NEKP)⁹⁸, die für Juni 2024 geplant ist⁹⁹, schaffen gemeinsam die Impulse für

⁹³ Europäische Kommission, Generaldirektion Forschung und Innovation, Provençal, S., Khayat, P., Campbell, D., *Publications as a measure of innovation performance in the clean energy sector: Assessment of bibliometric indicators*, Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, Luxemburg 2022.

⁹⁴ Schneegans, S., Straza, T., und Lewis, J. (Hg.), UNESCO Science Report: *The Race Against Time for Smarter Development*, UNESCO Publishing, Paris 2021.

⁹⁵ Europäische Kommission, Generaldirektion Forschung und Innovation, *Science, Research and Innovation: Performance of the EU 2022*, Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, Luxemburg 2022.

⁹⁶ Elsevier, *Pathways to Net Zero: The Impact of Clean Energy Research*, 2021. Abrufbar unter: https://www.elsevier.com/data/assets/pdf_file/0006/1214979/net-zero-2021.pdf. Veröffentlichungen werden als Forschung für Treibhausgasneutralität gewertet, wenn sie einen Wissensfortschritt bringen, was die Forschung und Innovation im Bereich saubere Energie und den Weg zu einer treibhausgasneutralen Zukunft angeht. Die Daten stammen aus der Datenbank Scopus.

⁹⁷ COM(2021) 952 final und SWD(2021) 307 final („Fortschritte bei der Wettbewerbsfähigkeit im Bereich der Technologien für saubere Energie“)

⁹⁸ Weitere Informationen zu NEKP: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/national-energy-and-climate-plans-necps_en.

⁹⁹ ABl. L 328 vom 21.12.2018. In der Verordnung (EU) 2018/1999 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz ist die regelmäßige Überarbeitung der nationalen Energie- und Klimapläne festgelegt, um sie an die aktuellen politischen Entwicklungen anzupassen. Die Entwürfe der nationalen Energie- und Klimapläne werden bis Juni 2023 erwartet.

einen verstärkten Dialog über Forschung und Innovation im Bereich saubere Energie und die Wettbewerbsfähigkeit zwischen der EU und ihren Mitgliedstaaten.

2.3 Die globale Wettbewerbslandschaft für saubere Energie

Weltweit hat die dringende Verpflichtung, die Energiewende zu beschleunigen, zur Entwicklung vieler sauberer Energielösungen geführt, die von Nischentechnologien bis hin zur globalen Industrie und internationalen Wertschöpfungsketten reichen. Schätzungen zufolge werden erneuerbare Energien bis 2050 ein globales Marktvolumen von 24 Billionen EUR und der Bereich Energieeffizienz ein Volumen von 33 Billionen EUR haben.¹⁰⁰

Die Führungsrolle der EU in der Wissenschaft, ihre starke industrielle Basis und ihre ehrgeizigen Rahmenbedingungen für saubere Energie bieten eine gute technologische Grundlage für die erwartete Marktentwicklung mehrerer Technologien für saubere Energie. Die EU hat ihre gute Position bei **international geschützten Patenten** seit 2014 beibehalten und damit den im letzten Jahresbericht¹⁰¹ beschriebenen Trend bestätigt. Bei den hochwertigen Erfindungen¹⁰² steht die EU nach Japan an zweiter Stelle, bei den erneuerbaren Energien ist sie führend und bei der Energieeffizienz teilt sie sich den ersten Platz mit Japan, was vor allem auf die Spezialisierung der EU auf Materialien und Technologien für Gebäude zurückzuführen ist. Die Daten zur Patentierungstätigkeit in der EU weisen auch auf ihre führende Rolle bei erneuerbaren Kraftstoffen, bei Batterien und Elektromobilität sowie bei Technologien zur CO₂-Abscheidung, -Speicherung und -Nutzung hin.

Die meisten neuen Investitionen in Technologien für saubere Energie werden voraussichtlich außerhalb der EU getätigt, und die erforderlichen Rohstoffe werden international gehandelt.¹⁰³ Daher sind die starke Präsenz und Leistung der EU in globalen Wertschöpfungsketten und ihr Zugang zu Drittlandsmärkten von immenser Bedeutung. Die vermehrten Maßnahmen, die von Regierungen von Drittländern ergriffen werden (Einführung von Marktzugangshindernissen, Auflagen bezüglich des heimischen Fertigungsanteils und andere diskriminierende Maßnahmen oder Praktiken), können dennoch zu einer Verzerrung der **Dynamik des internationalen Handels und der internationalen Investitionen** führen. Diese Maßnahmen können sich negativ auf die Beschäftigung, das Wachstum und die Steuerbemessungsgrundlage in der EU auswirken und die Vorteile untergraben, die die EU normalerweise aus ihrer Vorreiterrolle in diesem Bereich ziehen würde. Sie bergen auch eine eindeutige „Ansteckungsgefahr“, da sie andere Drittländer dazu veranlassen könnten, ähnliche Maßnahmen zu ergreifen, die zu Ineffizienzen in den internationalen Lieferketten führen und langfristig Anreize für Investitionen in diesem Bereich beeinträchtigen. Dies würde wiederum die Kosten des Übergangs allgemein erhöhen und könnte künftig die Bereitschaft der Bevölkerung, die globale Dekarbonisierung mitzutragen, untergraben.

Auch die Sorge vor den Auswirkungen von staatlich geförderter oder durch Subventionen gestützter technologischer Vorherrschaft, geschlossenen Märkten, unterschiedlichen Regeln und Maßnahmen zum Schutz des geistigen Eigentums und von Maßnahmen für Innovationen und Wettbewerbsfähigkeit in diesem Bereich, insbesondere in China und anderen Drittländern,

¹⁰⁰ IRENA, *Global energy transformation: A roadmap to 2050*, Abu Dhabi 2019.

¹⁰¹ COM(2021) 952 final („Fortschritte bei der Wettbewerbsfähigkeit im Bereich der Technologien für saubere Energie“).

¹⁰² Hochwertige Patentfamilien (Erfindungen) sind solche, für die Patentanmeldungen bei mehreren Ämtern eingereicht werden und somit ein Patentschutz in mehr als einem Land bzw. Markt beantragt wird.

¹⁰³ Internationale Energieagentur, *Net Zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector*, 2021.

besteht weiter und wächst sogar. Die derzeitige geopolitische Krise hat sich auch auf den Wettbewerb auf dem globalen Markt für saubere Energie ausgewirkt, und es bleibt abzuwarten, inwiefern sich neue nationale Maßnahmen zur Beschleunigung der Einführung von Technologien für saubere Energie im Inland (z. B. das US-Gesetz zur Inflationsbekämpfung¹⁰⁴) negativ auf die globale Wettbewerbslandschaft für saubere Energie auswirken könnten.

In diesem Rahmen soll die **internationale Zusammenarbeit im Bereich Forschung und Entwicklung** nicht nur den Übergang zu sauberer Energie weiter beschleunigen, sondern auch einer Störung des globalen Energiemarktes entgegenwirken. EU-Programme und -Maßnahmen wie Horizont Europa und Erasmus+ haben die FuI-Zusammenarbeit mit vertrauenswürdigen globalen Partnern konsequent unterstützt. Die Mitteilung der Kommission „Der globale Ansatz für Forschung und Innovation“¹⁰⁵ bietet einen verbesserten Rahmen für die Entwicklung der internationalen Zusammenarbeit. In der Mitteilung der Kommission „Auswärtiges Engagement der EU im Energiebereich in einer Welt im Wandel“¹⁰⁶ sind eine Intensivierung dieser Zusammenarbeit und der Aufbau von Partnerschaften vorgesehen, um den ökologischen Wandel in wichtigen Bereichen wie bei erneuerbarem und CO₂-armem Wasserstoff sowie beim Zugang zu Rohstoffen und Innovation zu unterstützen. Darüber hinaus fordert die Kommission in ihrer Mitteilung „Ein neuer EFR für Forschung und Innovation“¹⁰⁷ die Aktualisierung und Entwicklung von Leitprinzipien für die Valorisierung von Wissen. Ein Verhaltenskodex für die intelligente Nutzung von geistigem Eigentum wird bis Ende 2022 erwartet.¹⁰⁸ Die Kommission trägt dazu bei, die internationale Zusammenarbeit bei Innovationen und Technologien im Energiebereich voranzubringen, indem sie sich weiterhin an der Initiative „Innovationsmission“¹⁰⁹ und der Ministertagung zum Thema saubere Energie beteiligt. Darüber hinaus wird in der neuen globalen Konnektivitätsstrategie der EU, Global Gateway¹¹⁰, in der Mitteilung der Kommission „Überprüfung der Handelspolitik“¹¹¹ und in der Internationalen Partnerschaft mit Südafrika für eine gerechte Energiewende¹¹² hervorgehoben, wie wichtig es ist, die internationale Zusammenarbeit und die Handelsbeziehungen zu vertiefen, um im Zusammenwirken mit der Offenheit und Attraktivität des EU-Binnenmarktes die Wettbewerbsfähigkeit von Technologien für saubere Energie zu steigern.

Die internationale Forschungszusammenarbeit, der Technologietransfer, die Handelspolitik und die Energiediplomatie müssen zusammenwirken, um einen unverzerrten Handel und unverzerrte Investitionen in die Technologien, Dienstleistungen und Rohstoffe sicherzustellen, die für den Übergang sowohl innerhalb als auch außerhalb der EU erforderlich sind. Darüber hinaus muss die EU ihr Potenzial für eine Ausweitung der Innovationstätigkeit weiter

¹⁰⁴ [FACT SHEET: The Inflation Reduction Act Supports Workers and Families The White House](#)

¹⁰⁵ COM(2021) 252 final („Europas Strategie für internationale Zusammenarbeit in einer sich verändernden Welt“).

¹⁰⁶ JOIN(2022) 23 final („Auswärtiges Engagement der EU im Energiebereich in einer Welt im Wandel“).

¹⁰⁷ COM(2020) 628 final („Ein neuer EFR für Forschung und Innovation“).

¹⁰⁸ Ein neuer Leitfaden zur Valorisierung der Ergebnisse von Horizont Europa ist bereits verfügbar unter: <https://data.europa.eu/doi/10.2826/437645>.

¹⁰⁹ <http://mission-innovation.net/>. Nach den ersten fünf erfolgreichen Jahren wurde MI 2.0 mit einer Reihe neuer „Missionen“ aufgelegt.

¹¹⁰ JOIN(2021) 30 final („Global Gateway“), Gemeinsame Mitteilung der Europäischen Kommission und des Hohen Vertreters der Union für Außen- und Sicherheitspolitik an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss, den Ausschuss der Regionen und die Europäische Investitionsbank.

¹¹¹ COM(2021) 66 final („Überprüfung der Handelspolitik – Eine offene, nachhaltige und entschlossene Handelspolitik“).

¹¹² Partnerschaft mit Südafrika für eine gerechte Energiewende (europa.eu).

ausschöpfen, um zu vermeiden, dass ihre Abhängigkeit von anderen großen Volkswirtschaften bei Technologien, die eingeführt werden müssen und die für die Energiewende und die neue Architektur des Energiesystems benötigt werden, größer wird.

2.4 Die Förderlandschaft für Innovation in der EU¹¹³

Klimatechnologielösungen¹¹⁴ fördern die Wettbewerbsfähigkeit und die technologische Souveränität der EU. Neben fortschrittlichen Stromerzeugungstechnologien werden sie eine entscheidende Rolle dabei spielen, bis 2050 CO₂-Neutralität zu erreichen.¹¹⁵

Der Bereich Climate Tech der EU ist in den letzten sechs Jahren immer attraktiver für Risikokapitalinvestitionen¹¹⁶ geworden, denen im Bereich der Innovation eine Schlüsselrolle zukommt. Klimatechnologien können lange Vorlaufzeiten benötigen, bevor sie ausgereift sind, sodass während des gesamten Finanzierungszyklus von Start-ups sehr viel Kapital, hohe Investitionen in FuI¹¹⁷ sowie staatliche Maßnahmen zur Verringerung der mit der Entwicklung von Klimatechnologien verbundenen Risiken und zur Förderung der Beteiligung des Privatsektors erforderlich sind.

Weltweit haben sich Risikokapitalinvestitionen im **Klimabereich** auch in Zeiten der Pandemie als beeindruckend widerstandsfähig erwiesen; bereits 2020 waren hier höhere Investitionen (20,2 Mrd. EUR) und 2021 neue Rekordhochs (40,5 Mrd. EUR, ein Anstieg um 100 % gegenüber 2020) zu verzeichnen¹¹⁸. Diese Zahl umfasst Risikokapitalinvestitionen in Höhe von 6,2 Mrd. EUR, die 2021 für in der EU ansässige Start-up- und Scale-up-Unternehmen im Bereich Climate Tech getätigt wurden, ein mehr als doppelt so hoher Wert wie im Jahr 2020.¹¹⁹ Dies entspricht 15,4 % der weltweiten Risikokapitalinvestitionen im Climate-Tech-Bereich. 2021 war auch das erste Jahr, in dem Climate-Tech-Investitionen späterer Phasen in der EU

¹¹³ Die in diesem Abschnitt vorgestellte Analyse basiert auf Daten von PitchBook. PitchBook identifiziert derzeit mehr als 2750 Risikokapitalunternehmen in seinem Climate-Tech-Bereich (gegenüber mehr als 2250 zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Ausgabe 2021 des CPR-Berichts). Die Zahlen für historische Risikokapitalinvestitionen in den CPR-Berichten 2020 und 2021 sind daher nicht direkt vergleichbar.

¹¹⁴ Der Climate-Tech-Bereich von PitchBook ist eine Auswahl von 2760 Unternehmen, die Technologien entwickeln, die dazu beitragen sollen, die Auswirkungen des Klimawandels einzudämmen oder sich daran anzupassen. Die meisten Unternehmen in diesem Bereich fokussieren sich darauf, die steigenden Emissionen durch Dekarbonisierungstechnologien und -prozesse zu verringern. Zu den Anwendungen in dieser Branche gehören die Erzeugung von Energie aus erneuerbaren Quellen, die Energiespeicherung über lange Zeiträume, die Elektrifizierung von Verkehrsmitteln, landwirtschaftliche Innovationen, Verbesserungen von industriellen Verfahren sowie Bergbautechnologien.

¹¹⁵ Der Abschnitt wurde in enger Zusammenarbeit mit der Beobachtungsstelle für Technologien für saubere Energie (Clean Energy Technology Observatory) der Europäischen Kommission entwickelt: Georgakaki, A., et al., Beobachtungsstelle für Technologien für saubere Energie, *Overall Strategic Analysis of Clean Energy Technology in the European Union – 2022 Status Report*, Europäische Kommission, 2022, JRC131001.

¹¹⁶ Risikokapitalgeschäfte sind definiert als Frühphasenfinanzierungen (einschließlich Pre-Seed-Phase, Accelerator-/Inkubator-Programme, Business Angels, Seed-Phase, Serien A und B, die innerhalb von fünf Jahren nach dem Gründungsdatum des Unternehmens stattfinden) und Finanzierungsrunden der Spätphase (in der Regel Finanzierungsrunden der Serien B bis Z+ und/oder solche, die mehr als fünf Jahre nach dem Gründungsdatum des Unternehmens erfolgen, nicht offengelegte Serien und Private-Equity-Wachstum-/Expansion).

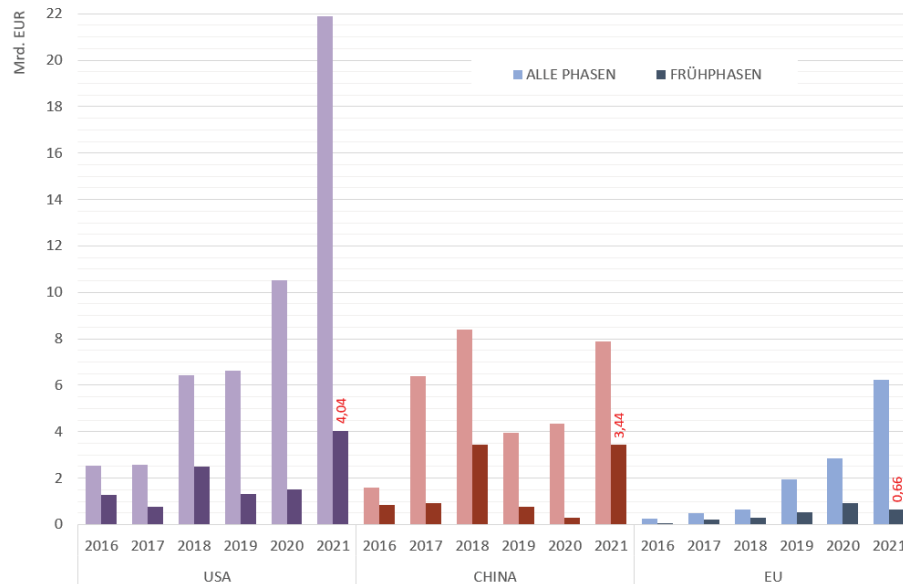
¹¹⁷ Daraus entstand der Begriff der sogenannten Deep Green-Start-ups (d. h. Start-ups, die sich auf Spitzentechnologien zur Bewältigung ökologischer Herausforderungen spezialisiert haben, wie die Herstellung umweltfreundlicher Batterien oder Elektroflugzeuge). Deep Green befindet sich an der Schnittstelle zwischen den Bereichen Climate Tech und Deep Tech (Deep Tech bedeutet, dass wissenschaftliche Entdeckungen in den Bereichen Technik, Mathematik, Physik und Medizin angewendet werden. Dieser Bereich ist durch lange Forschungs- und Entwicklungszyklen sowie unerprobte Geschäftsmodelle geprägt).

¹¹⁸ Entspricht 5,2 % der gesamten Risikokapitalfinanzierung im Jahr 2021 gemäß der Berechnung der JRC auf der Grundlage von Daten von PitchBook (4,6 % im Jahr 2020).

¹¹⁹ COM(2021) 952 final („Fortschritte bei der Wettbewerbsfähigkeit im Bereich der Technologien für saubere Energie“).

höher waren als in China.¹²⁰ Allerdings erreichten die Investitionen der Frühphasenfinanzierung 2021 in den USA und China neue Spitzenwerte, während sie in der EU abfielen (Abbildung 6).

Abbildung 6: Risikokapitalinvestitionen in Start-up- und Scale-up-Unternehmen im Bereich Climate Tech



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

22 % der weltweiten Risikokapitalinvestitionen im Climate-Tech-Bereich entfielen 2021 auf den **Energiebereich** (13,2 % auf Technologien zur Erzeugung sauberer Energie¹²¹ und 8,7 % auf Netztechnologien¹²²). Mit einem fast viermal so hohen Wert (x 3,8) wie im 2020¹²³ liegt der Bereich Energie zwar hinter dem Bereich Mobilität und Verkehr (46 %), hat aber zum ersten Mal den Bereich Lebensmittel und Landnutzung (19,6 %) überholt.

In der EU hat sich das anhaltende Wachstum der letzten vier Jahre (bis zu 60 % für 2020) durch Risikokapitalinvestitionen in Energieunternehmen bestätigt. Trotz dieser guten Leistung hat sich der relative Anteil der Risikokapitalinvestitionen der EU im Energiebereich 2021 halbiert. Mit 10 % der Risikokapitalinvestitionen in Energieunternehmen liegt die EU an dritter Stelle, weit hinter den USA (62 %) und China (13,3 %), die aufgrund von Megadeals im Bereich der Erzeugung sauberer Energie beide im Jahr 2021 ein herausragendes Investitionsniveau aufwiesen.

¹²⁰ Allein die Investitionen in das schwedische Unternehmen Northvolt, das Batterien für Elektrofahrzeuge entwickelt, haben sich in den letzten Jahren erheblich auf die Gesamtentwicklung der Risikokapitalinvestitionen in Climate-Tech-Unternehmen der EU ausgewirkt. Mit dem Übergang des Unternehmens zu Finanzierungsrunden der Spätphase gingen die Frühphaseninvestitionen in EU-Klimatechunternehmen 2021 zurück, während die Investitionen der Spätphase stiegen und zum ersten Mal einen höheren Wert erreichten, als in China verzeichnet wurde.

¹²¹ Dazu gehören Solarenergie, Windkraft, Kernenergie, energetische Abfallverwertung, Meeres- und Wasserkraft sowie Geothermie.

¹²² Dazu gehören Energiespeicherung über lange Zeiträume, Netzmanagement, Analyse, Batterietechnologie, intelligente Stromnetze und die Erzeugung von sauberem Wasserstoff.

¹²³ Investitionen in Technologien zur Erzeugung sauberer Energie sind der Hauptfaktor für dieses Wachstum. Bedingt durch beträchtliche Investitionen in die Kernfusion in den USA und in die Windenergie in China sind sie 2,4-mal schneller gestiegen als die Investitionen in Netztechnologien und als Risikokapitalinvestitionen im Climate-Tech-Bereich generell.

Trotz der positiven Dynamik der Risikokapitalfinanzierung in der EU und der Anziehungskraft von EU-basierten Climate-Tech-Unternehmen für Risikokapitalinvestoren stellen strukturelle Hindernisse und gesellschaftliche Herausforderungen¹²⁴ weiterhin ein Hemmnis für EU-basierte Scale-up-Unternehmen im Vergleich zu anderen großen Volkswirtschaften dar. Die EU-Taxonomie für nachhaltige Tätigkeiten bietet nichtsdestotrotz einen Rahmen zur Förderung von Investitionen mit Langzeitwirkung und definiert ökologisch nachhaltige Wirtschaftstätigkeiten. Darüber hinaus hat die Innovationspolitik der EU sich im Laufe der Jahre erweitert, und die institutionelle Landschaft hat sich dadurch ebenfalls verändert.¹²⁵

Im Rahmen von Pfeiler III des Programms Horizont Europa („Innovatives Europa“) wurden Instrumente zur Unterstützung von Start-up-, Scale-up- und kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) bereitgestellt. In diesem Zusammenhang ist der Europäische Innovationsrat (EIC) mit einem Budget von 10,1 Mrd. EUR für den Zeitraum von 2021 bis 2027 das wichtigste Innovationsprogramm der EU zur Ermittlung, Entwicklung und Ausweitung bahnbrechender Technologien und wegweisender Innovationen. Ferner werden über das Programm Horizont Europa die Initiative für europäische Innovationsökosysteme sowie das Europäische Innovations- und Technologieinstitut (EIT) unterstützt. EIT InnoEnergy hat das größte Innovationsökosystem für nachhaltige Energie der Welt aufgebaut und ist durch die Führungsrolle von drei industriellen Wertschöpfungsketten (Europäische Batterie-Allianz, European Green Hydrogen Acceleration Centre und Europäische Solarinitiative) auch Vorreiter für den Übergang zu einer EU mit geringen CO₂-Emissionen bis 2050.

Was die **EU-Finanzierungsprogramme** betrifft, so ist der Innovationsfonds eines der größten Programme der Welt¹²⁶, mit denen Projekte zur Demonstration von saubereren innovativen Technologien und deren Einsatz in industriellem Maßstab gefördert werden. Das Programm InvestEU ist ein wichtiger Bestandteil des EU-Konjunkturprogramms, das den Zugang zu und die Verfügbarkeit von Finanzmitteln für KMU, Unternehmen mit mittlerer Kapitalisierung und andere Unternehmen fördert. Im Rahmen der Kohäsionspolitik werden umfangreiche und langfristige Investitionen in Innovation und industrielle Wertschöpfungsketten insbesondere für KMU bereitgestellt, um die Entwicklung erneuerbarer und CO₂-armer Technologien und Geschäftsmodelle zu fördern. Ferner leisten die Europäische Investitionsbank (EIB) und der Europäische Investitionsfonds (EIF) wirksame Unterstützung für die Entwicklung des Deep-Tech-Sektors, den die EU benötigt, um ihre Nachhaltigkeitsziele zu erreichen. Weitere Finanzierungsprogramme wie der Modernisierungsfonds und der vorgeschlagene Klima-Sozialfonds¹²⁷ sollen dabei helfen, Einnahmen aus klimabezogenen Maßnahmen der Unterstützung der Energiewende zuzuführen.

Diese Programme und andere EU-Initiativen, wie z. B. die Kapitalmarktunion¹²⁸, zielen darauf ab, private Investoren für die Finanzierung von Climate-Tech- und Deep-Climate-Tech-Start-

¹²⁴ COM(2020) 953 final („Bericht über die Fortschritte bei der Wettbewerbsfähigkeit sauberer Energie“) und COM(2022) 332 final („Eine neue europäische Innovationsagenda“).

¹²⁵ COM(2022) 332 final („Eine neue europäische Innovationsagenda“).

¹²⁶ 38 Mrd. EUR an Unterstützung zwischen 2020 und 2030, unter der Annahme eines CO₂-Preises von 75 EUR/t CO₂.

¹²⁷ https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/delivering-european-green-deal/social-climate-fund_en

¹²⁸ https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/capital-markets-union_en

ups¹²⁹ zu mobilisieren. So ist beispielsweise die zukunftsweisende Partnerschaft zwischen der Europäischen Kommission und dem Programm „Catalyst“ von Breakthrough Energy¹³⁰ ein weiteres Beispiel dafür, wie Investitionen in kritische Klimatechnologien gefördert werden können, indem man den öffentlichen und den privaten Sektor zusammenbringt.

Die Schaffung von Synergien zwischen den EU-Programmen und -Instrumenten sowie die Stärkung des Zusammenhalts zwischen den lokalen Innovationsökosystemen der EU können dazu beitragen, dass die EU im Klimatechnologiebereich weltweit führend wird, sodass die Kluft zwischen der EU und anderen großen Volkswirtschaften geschlossen wird, indem ihre vielfältigen Talente, ihr intellektuelles Kapital und ihre industriellen Fähigkeiten genutzt werden. Im Europäischen Innovationsanzeiger 2022¹³¹ wird hervorgehoben, wie wichtig die Schaffung eines gesamteuropäischen Innovationsökosystems ist, und die Mitteilung der Kommission „Neue Europäische Innovationsagenda“¹³² aus dem Jahr 2022 stellt bereits einen Fortschritt dar, da sie darauf abzielt, die Stärken des Innovationsökosystems der EU zu nutzen.¹³³

2.5 Auswirkungen des systemischen Wandels

Um den ökologischen und digitalen Wandel zu verwirklichen und die Ziele des europäischen Grünen Deals und des Pakets „Fit für 55“ zu erreichen, muss der Bereich saubere Energie in der EU einen bereits begonnenen Paradigmenwechsel beschleunigen: Die Abschottungen zwischen den Sektoren müssen abgebaut und die Zusammenarbeit in horizontalen Bereichen (z. B. bei der kritischen Rolle von Rohstoffen, der Digitalisierung des Energiesystems und der Interaktion verschiedener Technologien in industriellen Verfahren, einzelnen Gebäuden und Städten) muss gestärkt werden. Zu diesem systemischen Wandel gehören gebäudebezogene Technologien für saubere Energie, die Digitalisierung des Energiesystems sowie Energiegemeinschaften und subnationale Zusammenarbeit.

Gebäudebezogene Technologien für saubere Energie: Verpflichtende Fotovoltaikanlagen auf Dächern und eine Verdoppelung des derzeitigen Einsatzes von individuellen Wärmepumpen¹³⁴ würden dazu beitragen, die Klima- und Energieziele zu erreichen. Um diese Ziele zu erreichen, muss im Gebäudesektor auch ein breites Spektrum ergänzender Lösungen für Neubauten integriert werden, etwa effiziente Isolierungsmethoden und Steuerungssysteme, aber auch Maßnahmen zur Ressourceneffizienz. Dies sollte Hand in Hand gehen mit einer Erhöhung der Renovierungsquote und der Förderung umfassender Renovierungen. Die Vor-Ort-Speicherung von Energie (Batterien) ist ein weiteres wichtiges Element, um einen höheren Anteil von

¹²⁹ Deep-Tech-Start-ups bauen auf wissenschaftlichen Erkenntnissen auf und weisen in der Regel lange Forschungs- und Entwicklungszyklen sowie unerprobte Geschäftsmodelle auf. Deep-Climate-Tech-Start-ups sind Unternehmen, die sich auf Spitzentechnologien zur Bewältigung ökologischer Herausforderungen spezialisiert haben.

¹³⁰ Partnerschaft der Kommission mit dem Programm „Catalyst“ von Breakthrough Energy (europa.eu); https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_2746.

¹³¹ Europäische Kommission, Europäischer Innovationsanzeiger 2022, Jahresbericht, 2022.

¹³² COM(2022) 332 final („Eine neue europäische Innovationsagenda“).

¹³³ In der Mitteilung heißt es, dass die EU konkrete Maßnahmen ergreifen wird, um den Zugang zu Finanzmitteln für Start-up- und Scale-up-Unternehmen in der EU zu verbessern, dass sie bessere Rahmenbedingungen schaffen wird, damit Innovatoren mit neuen Ideen experimentieren können, und dass sie „regionale Innovationstäler“ schaffen, Talente in der EU gewinnen und binden und die Politikgestaltung im Bereich der Innovation durch klare Begrifflichkeiten, Indikatoren und Daten sowie durch Politikunterstützung für die Mitgliedstaaten verbessern wird.

¹³⁴ COM(2022) 230 („REPowerEU-Plan“).

Wärmepumpen zu ermöglichen und extreme Spitzenwerte bei der Stromerzeugung und -übertragung bzw. -verteilung zu vermeiden. Neben der Produktverfügbarkeit sind auch Installationskompetenzen und operative Dienstleistungen für die verschiedenen Technologien von entscheidender Bedeutung für die EU-Bereiche saubere Energie und deren Wettbewerbsfähigkeit.

Digitalisierung des Energiesystems: Die Digitalisierung nimmt exponentiell zu: Allein in den letzten fünf Jahren hat sich der Internetverkehr verdreifacht, und rund 90 % der weltweiten Daten wurden in den letzten zwei Jahren erstellt.¹³⁵ Die Dezentralisierung der Energie – sowohl auf der Ebene der Erzeugung als auch durch Millionen vernetzter intelligenter Geräte, Wärmepumpen und Elektroautos – sorgt für Veränderungen im lokalen Energiesystem. Eine Bewertung für Hamburg ergab, dass ein erhebliches Kosteneinsparungspotenzial vorhanden ist: Investitionen in Höhe von 2 Mio. EUR in intelligente Ladekonzepte zur Senkung der Spitzenlast können verhindern, dass 20 Mio. EUR in die notwendige Netzverstärkung investiert werden müssen, um 9 % der Elektrofahrzeuge in der Stadt zu versorgen.¹³⁶ Ohne ein intelligentes Management des lokalen Energiebedarfs können Kapazitätsgrenzen in den Verteilungsnetzen die Energiewende bremsen. Einige digitale Lösungen können jedoch ohne geeignete Energieeffizienzmaßnahmen den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) erhöhen, wie z. B. die Rückgewinnung von Abwärme aus Rechenzentren.

Energiegemeinschaften und subnationale Zusammenarbeit: Mindestens zwei Millionen europäische Bürgerinnen und Bürger haben sich seit dem Jahr 2000 in mehr als 8400 Energiegemeinschaften engagiert und über 13 000 Projekte durchgeführt.¹³⁷ Energiegemeinschaften sind ein wichtiges Testfeld und ein wichtiger Anwendungsbereich für Technologien und Lösungen für saubere Energie. Die von Energiegemeinschaften in Europa installierte Leistung für erneuerbare Energien wird derzeit auf mindestens 6,3 GW geschätzt (d. h. rund 1–2 % der auf nationaler Ebene installierten Leistung). Der Löwenanteil der installierten Leistung entfällt auf die Fotovoltaik, gefolgt von Onshore-Windkraftanlagen. Die Entwicklung partizipativer Modelle für mehr Technologien für saubere Energie, insbesondere solche für einkommensschwächere Haushalte, kann zur Entwicklung weiterer Energiegemeinschaften in der gesamten EU führen und gleichzeitig zur Bekämpfung der Energiearmut beitragen.

Die Verbesserung der Interaktion über horizontale Bereiche hinweg bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Sektoren sowohl auf der Ebene der Mitgliedstaaten als auch auf EU-Ebene ist von entscheidender Bedeutung, um die Einführung und den Ausbau von Technologien für saubere Energie zu beschleunigen und die Wettbewerbsfähigkeit der EU auf dem globalen Markt für saubere Energie zu stärken.¹³⁸

¹³⁵ Internationale Energieagentur, Digitalization and Energy, 2017, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/b1e6600c-4e40-4d9c-809d-1d1724c763d5/DigitalizationandEnergy3.pdf>:

¹³⁶ Stromnetz Hamburg, *Elektromobilität – Netzausbaustrategie und Restriktionen im Hamburger Verteilnetz*, Hamburg 2018, <https://www.hamburg.de/contentblob/10993526/1f90214d9b07e4de6323c078ff779d9d/data/d-anlage-13-pra%CC%88sentation-snh-20180504-energienetzbeirat-snh.pdf>.

¹³⁷ Schwanitz, V.J., Wierling, A., Zeiss, J.P., von Beck, C., Koren, I.K., Marcroft, T., und Dufner, S., *The contribution of collective prosumers to the energy transition in Europe – Preliminary estimates at European and country level from the COMETS inventory*, August 2021, <https://doi.org/10.31235/osf.io/2ymuh>.

¹³⁸ SAPEA (Science Advice for Policy by European Academies), *A systemic approach to the energy transition in Europe*, Berlin 2021, <https://doi.org/10.26356/energytransition>.

3. FOKUS AUF SCHLÜSSELTECHNOLOGIEN UND LÖSUNGEN FÜR SAUBERE ENERGIE

In diesem Abschnitt wird die Bewertung der Wettbewerbsfähigkeit einer Reihe von Technologien und Lösungen für saubere Energie vorgestellt, die für die Erzeugung, Speicherung und Systemintegration von Energie von entscheidender Bedeutung sind. Ferner wird darauf eingegangen, wie sich die Technologie und der Markt entwickeln, um die Ziele des europäischen Grünen Deals und von REPowerEU zu verwirklichen. Der Abschnitt enthält darüber hinaus eine Analyse in Bezug auf Fotovoltaik, Windkraft, Wärmepumpen für Anwendungen in Gebäuden, Batterien, Wasserstoffherzeugung durch Elektrolyse, erneuerbare Kraftstoffen und digitale Infrastruktur. Er bietet auch einen Überblick über andere wichtige Technologien¹³⁹. Diese evidenzbasierte Analyse auf der Grundlage der in Anhang I aufgeführten Indikatoren wurde innerhalb der Beobachtungsstelle für saubere Energietechnologie (CETO) der Kommission durchgeführt, die von der Gemeinsamen Forschungsstelle realisiert wird. Die detaillierten technologiespezifischen Berichte sind auf der CETO-Website¹⁴⁰ abrufbar.

3.1. Fotovoltaik¹⁴¹

Die Fotovoltaik (PV) war in den letzten zehn Jahren die am schnellsten wachsende Stromerzeugungstechnologie der Welt. In allen Szenarien für eine Entwicklung hin zu einem klimaneutralen Energiesystem¹⁴² wird der Fotovoltaik eine zentrale Rolle zugewiesen. In der jüngsten Mitteilung „EU-Strategie für Solarenergie“¹⁴³ werden für den Zeitraum 2021–2030 ca. 450 GW_{AC} an zusätzlicher Leistung aus Fotovoltaikanlagen gefordert. Berücksichtigt man den derzeitigen Trend, eine Gleichstromleistung zu installieren, die 1,25- bis 1,3-mal so hoch ist wie die Wechselstromleistung, um die Nutzung des Netzanschlusses zu optimieren¹⁴⁴, würde dies zu einer nominalen Gesamtleistung der Fotovoltaik in der EU von ca. 720 GW_P führen. Die EU-Strategie für Solarenergie befasst sich mit den wichtigsten Investitionsempfängern und -hindernissen, um den Ausbau zu beschleunigen, die Versorgungssicherheit zu gewährleisten und den sozioökonomischen Nutzen von Solarenergie in der gesamten Wertschöpfungskette zu maximieren¹⁴⁵. Die Europäische Allianz für die Fotovoltaikindustrie,

¹³⁹ Wasserkraft, Meeresenergie, Geothermie, konzentrierte Solarenergie und -wärme, CO₂-Abscheidung, -Nutzung und -Speicherung, Bioenergie, Kernkraft.

¹⁴⁰ https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto_en

¹⁴¹ Evidenzbasierte Analyse der CETO (Chatzipanagi, A., et al., Beobachtungsstelle für saubere Energietechnologie, *Photovoltaics in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Europäische Kommission, 2022, doi: 10.2760/812610, JRC130720, sofern in diesem Dokument nichts anderes angegeben ist.

¹⁴² Insbesondere die Szenarien von nichtstaatlichen Organisationen wie Greenpeace, der Energy Watch Group, Bloomberg New Energy Finance, der Internationalen Energieagentur, der Internationalen Agentur für Erneuerbare Energien sowie von Verbänden der Fotovoltaikindustrie.

¹⁴³ COM(2022) 221 final („EU-Strategie für Solarenergie“).

¹⁴⁴ Kougiyas, I., et al., *The role of photovoltaics for the European Green Deal and the recovery plan*, 2021 (doi: [10.1016/j.rser.2021.111017](https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111017)). AC: Wechselstrom; DC: Gleichstrom.

¹⁴⁵ Zu den in der EU-Strategie für Solarenergie angekündigten Leitinitiativen gehören die EU-Solardach-Initiative, das Genehmigungspaket der Kommission mit Legislativvorschlag, Empfehlungen und Leitlinien, die groß angelegte Kompetenzpartnerschaft der EU im Bereich der erneuerbaren Onshore-Quellen, einschließlich Solarenergie sowie die Allianz der Fotovoltaik-Industrie in der EU. Mit der EU-Solardach-Initiative würde eine Verpflichtung zur Installation von Solarenergie auf Dächern für folgende Gebäudetypen eingeführt: i) alle neuen öffentlichen und gewerblichen Gebäude mit einer Nutzfläche von mehr als 250 m² bis 2026, ii) alle bestehenden öffentlichen und gewerblichen Gebäude mit einer Nutzfläche von mehr als 250 m² bis 2027 und iii) alle neuen Wohngebäude bis 2029. Es wird erwartet, dass diese Maßnahmen zusammen mit einer erheblichen Steigerung der Investitionen in Fotovoltaikanlagen und einer Ausweitung der Produktionskapazitäten für Fotovoltaik in der EU einhergehen werden.

eine der konkreten Initiativen der EU-Strategie für Solarenergie, wurde im Oktober 2022 von der Kommission förmlich gebilligt und zielt darauf ab, die Fertigungstechnologien für innovative Fotovoltaikprodukte und -komponenten auszubauen.¹⁴⁶

Analyse der Technologie: Der durchschnittliche Wirkungsgrad von Solarmodulen auf der Basis von Silizium-Solarzellen ist zwischen 2011 und 2021 von 15,1 % auf 20,9 % gestiegen.¹⁴⁷ Dies ist dem Einsatz von größer gesägten Wafern und von Solarzellen mit höherem Wirkungsgrad zu verdanken, etwa von Tandemzellen. Europa verfügt über umfangreiches Fachwissen und ist führend bei der vielversprechenden Technologie der Perowskit-Solarzellen, für die derzeit mehrere EU-Unternehmen wie Evolar (Schweden), Saule Technologies (Polen) und Solaronix (Frankreich) Produktionslinien bauen.

Die EU-Strategie für Solarenergie zielt darauf ab, den rückläufigen Trend bei der öffentlichen und privaten Finanzierung der Fotovoltaikindustrie umzukehren.^{148, 149} Dennoch ist die EU nach wie vor ein starker Innovator in diesem Bereich, und im Zeitraum 2017–2019 wurde eine beträchtliche Zahl von Veröffentlichungen und Patentanmeldungen verzeichnet. Allein Deutschland rangiert bei der Patentierung hochwertiger Fotovoltaikerfindungen auf dem fünften Platz weltweit.

Analyse der Wertschöpfungskette: Angesichts sowohl der Produktionsdaten als auch der neuen Investitionsvorhaben bestätigt sich die Dominanz Asiens und insbesondere Chinas in der Fotovoltaikindustrie. Die gesamten zu Beginn des Jahres 2021 angekündigten zusätzlichen Produktionskapazitäten für 80 000 t Polysilizium (die zu der Gesamtkapazität von ca. 650 000 t des Jahres 2020 hinzukommen) sowie die bereits im Bau befindlichen Kapazitäten für 118 000 t werden in China gebaut.¹⁵⁰ Auf Silizium-Solarzellen, die hauptsächlich in China hergestellt werden, entfallen 95 % der weltweiten Produktion. Dennoch hält die EU einen erheblichen Anteil an den Segmenten der Herstellung von Produktionsanlagen (50 %) und Wechselrichtern (15 %) innerhalb der Fotovoltaikwertschöpfungskette.

Analyse des globalen Marktes: Die weltweiten Investitionen in neue Solaranlagen stiegen 2021 um 19 % auf 205 Mrd. USD (242,5 Mrd. EUR¹⁵¹). Im Jahr 2021 verschlechterte sich die Handelsbilanz der EU jedoch weiter, da ihre Einfuhren stiegen, während die Ausfuhren stabil blieben und 13 % der weltweiten Ausfuhren ausmachten. Die 2021 und 2022 in vielen Industriebereichen gestiegenen Materialkosten führten zu einem außergewöhnlichen und beispiellosen Anstieg der Produktionskosten für Solarzellen und -module, sodass sich der seit einem Jahrzehnt anhaltende Trend des Kostenrückgangs umgekehrte. Dennoch hat sich die Wettbewerbsfähigkeit der Fotovoltaik im Vergleich zu nicht erneuerbaren

¹⁴⁶ https://ec.europa.eu/info/news/commission-kicks-work-european-solar-photovoltaic-industry-alliance-2022-oct-11_en

¹⁴⁷ VDMA, *International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV)*, 2022.

¹⁴⁸ Die Strategie zielt insbesondere darauf ab, im nächsten Arbeitsprogramm von Horizont Europa eine FuI-Leitinitiative im Bereich der Solarenergie zu erarbeiten, einen FuI-Pfeiler in der vorgeschlagenen Europäischen Allianz für die Fotovoltaikindustrie einzurichten und im Rahmen des Europäischen Forschungsraums gemeinsam mit den Mitgliedstaaten eine gemeinsame FuI-Agenda für Solarenergie zu entwickeln.

¹⁴⁹ Aktuellste verfügbare Zahlen für 2018 und 2019.

¹⁵⁰ Jäger-Waldau, Arnulf, 2022, „Overview of the Global PV Industry“, in: Letcher, Trevor M. (Hg.), *Comprehensive Renewable Energy*, 2. Auflage, Bd. 1, S. 130–143. Oxford: Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-12-819727-1.00054-6

¹⁵¹ Unter Zugrundelegung des durchschnittlichen Wechselkurses von 1,1827 EUR für 1 USD im Jahr 2021. Siehe https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html.

Elektroenergiequellen weiter verbessert.¹⁵² Die Zahl der Länder, in denen Fotovoltaik die billigste Energiequelle ist, nimmt daher zu. Preisanstiege im Bereich der fossilen Brennstoffe aufgrund von Naturkatastrophen, Unfällen oder internationalen Konflikten können diesen Trend zusätzlich verstärken.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die jüngsten verfügbaren Daten für 2021 und 2022 den zuvor beobachteten Trend bestätigen.¹⁵³ Die EU hat ihre Position als einer der größten Fotovoltaikmärkte und als starker Innovator insbesondere bei den neuen Fotovoltaiktechnologien und -anwendungen (z. B. Agri-Fotovoltaik, gebäudeintegrierte Fotovoltaikanlagen und schwimmende Fotovoltaikanlagen) behauptet. Bei mehreren wichtigen Komponenten (Wafer, Ingots, Zellen und Module) ist die EU jedoch in hohem Maße von Einfuhren aus Asien abhängig; eine stärkere Präsenz zeigt sie daher nur noch in den Segmenten der Herstellung von Produktionsanlagen und Wechselrichtern (in denen aufgrund des Chipmangels derzeit Engpässe herrschen¹⁵⁴). Zusätzliche Engpässe aufgrund mangelnder Erschwinglichkeit (insbesondere für einkommensschwache Haushalte und KMU) und übermäßig langer Wartezeiten (z. B. wegen eines Mangels an qualifizierten Installateuren) beeinträchtigen bereits den groß angelegten Ausbau der Fotovoltaik. Durch die in der EU-Strategie für Solarenergie angekündigten Maßnahmen und Leitinitiativen werden die wichtigsten Chancen für Investitionen in Fotovoltaikanlagen und für den Ausbau von Fotovoltaikproduktionskapazitäten in der EU sowie die Diversifizierung der Einfuhren ermöglicht. Parallel dazu haben kontinuierliche technologische Fortschritte hin zu effizienteren und nachhaltigeren Zellenformen und Herstellungsverfahren es ermöglicht, die Wettbewerbsfähigkeit der Fotovoltaiktechnologien im Vergleich zu nicht erneuerbaren Energiequellen weiter zu verbessern, auch wenn die Rohstoffkosten gestiegen sind. Diese Elemente stärken die wirtschaftlichen Argumente für die Förderung sowohl der Produktion als auch des Einsatzes in der EU, auch von innovativen Anwendungen.

3.2. Offshore- und Onshore-Windkraft¹⁵⁵

Die Windenergie spielt in der Klima- und Energiepolitik der EU eine zentrale Rolle, da ein beschleunigter Ausbau der Windenergie für die Verwirklichung des europäischen Grünen Deals, des Pakets „Fit für 55“ und der REPowerEU-Ziele von entscheidender Bedeutung ist. Im REPowerEU-Plan wird ein rascherer Ausbau der Windenergiekapazitäten gefordert; bis 2030 sollen 510 GW installiert werden¹⁵⁶, was einem Anteil von 31 % an den in der EU installierten Stromerzeugungskapazitäten¹⁵⁷ entspräche.

¹⁵² Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Erdgas-, Öl- und Kohlepreise im selben Zeitraum viel schneller gestiegen sind. Siehe <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-may-2022>.

¹⁵³ COM(2021) 952 final („Fortschritte bei der Wettbewerbsfähigkeit im Bereich der Technologien für saubere Energie“).

¹⁵⁴ Bericht der Umfrage „European Chips Survey“. [European Chips Report | Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs \(europa.eu\)](#).

¹⁵⁵ Evidenzbasierte Analyse der CETO (Telsnig, T., et al., Beobachtungsstelle für saubere Energietechnologie, *Wind Energy in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Europäische Kommission, 2022, doi: 10.2760/855840, JRC130582, sofern in diesem Dokument nichts anderes angegeben ist.

¹⁵⁶ SWD(2022) 230 final („Implementing the REPower EU Action plan: investment needs, hydrogen accelerator and achieving the bio-methane targets“). Abrufbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022SC0230&from=EN>.

¹⁵⁷ SWD(2022) 230 final („According to PRIMES modelling projections of the net installed power capacity in REPowerEU in 2030“), Abbildung 3: Installierte Nettoleistung im REPowerEU-Plan 2030 (GWe). Abrufbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022SC0230&from=EN>.

Die EU ist seit 2014 weltweit führend bei FuI im Bereich Windenergie, wobei sich die öffentlichen Ausgaben im Zeitraum 2014–2021 auf 883 Mio. EUR beliefen, und sie beherbergt derzeit mit dem größten Pool an Start-ups und innovativen Firmen 38 % aller innovativen Unternehmen. Im Jahr 2021 belief sich die in der EU installierte Leistung bei der Windenergie dennoch nur auf 11 GW (10 GW Onshore-Windkraft und 1 GW Offshore-Windkraft), und die Perspektiven für 2022 liegen immer noch unter dem Tempo, das erforderlich wäre, um die REPowerEU-Ziele zu erreichen. Derzeit ist China bei der Gesamtleistung der Windkraftanlagen mit 338 GW führend, was hauptsächlich auf den gestiegenen Ausbau im Jahr 2021 zurückzuführen ist. Im selben Jahr erreichte die EU eine installierte Gesamtleistung von rund 190 GW.

Um die Ziele des REPowerEU-Plans zu erreichen, wird die Beschleunigung des Ausbaus der Windkraft von entscheidender Bedeutung sein und klare Investitionspipelines und die Umsetzung politischer Ziele in konkrete Durchführungsbestimmungen erfordern, einschließlich der Erfüllung von Verpflichtungen zur Erleichterung der Genehmigung von Windparks.

Analyse der Technologie: Die weltweit installierte Onshore-Windkraftleistung belief sich 2021 auf 769 GW und lag damit fast dreimal höher als ein Jahrzehnt zuvor¹⁵⁸; allein 2021 wurden 72 GW installiert. 2021 war auch ein Rekordjahr für die Offshore-Windkraft, da weltweit 21 GW an zusätzlicher Leistung installiert wurden, mehr als dreimal so viel wie im Jahr 2020. Die weltweit installierte Gesamtleistung lag 2021 bei 55 GW.¹⁵⁹ Bei der Erhöhung der weltweit installierten Leistung nahm China den Spitzenplatz ein; so installierte das Land im Jahr 2021 30,6 GW Onshore-Windkraftleistung und 16,9 GW Offshore-Windkraftleistung.

Ende 2021 verfügte die EU über eine installierte Onshore-Windkraftleistung von 173 GW und eine installierte Offshore-Windkraftleistung von rund 16 GW. Die Gesamtleistung der Windenergie entsprach ca. 14 % des gesamten Stromverbrauchs in der EU. 2021 war auch das Jahr mit dem zweithöchsten jährlichen Beitrag der Onshore-Windkraftleistung in der EU seit 2010 (10 GW¹⁶⁰). Allerdings kam 2021 in der EU nur 1 GW an Offshore-Windkraftleistung hinzu.¹⁶¹ Die Akteure der Branche weisen darauf hin, dass die Genehmigungsverfahren eines der Haupthindernisse für einen kontinuierlichen und massiven Ausbau der Windenergie sind, da es hier zu Verzögerungen kommt und weniger Vorhaben abgeschlossen werden können. Dies wiederum belastet die Rentabilität der Lieferkette. Die Kommission hat im Rahmen des REPowerEU-Pakets Legislativvorschläge und Leitlinien zur Beschleunigung der Genehmigungsverfahren vorgelegt.

Analyse der Wertschöpfungskette: Der Bereich der Windenergie hat sich mit rund 800 Produktionsanlagen zu einer weltweiten Industrie entwickelt. Die meisten Produktionsanlagen befinden sich in China (45 %) und Europa (31 %).¹⁶² Bei hochwertigen Patenten im Bereich der Windenergiotechnologien hat die EU ihre Führungsposition behauptet: Ihr Anteil an hochwertigen Erfindungen lag im Zeitraum 2017–2019 bei 59 %. Die Windkraftanlagenhersteller in der EU sind weiterhin führend in Bezug auf Qualität,

¹⁵⁸ *Renewable Capacity Statistics 2022*, IRENA, Abu Dhabi 2002.

¹⁵⁹ *Renewable Capacity Statistics 2022*, IRENA, Abu Dhabi 2002.

¹⁶⁰ *Wind Energy in Europe: 2021 Statistics and the outlook for 2022–2026*, WindEurope, Belgien 2022.

¹⁶¹ *Wind Energy in Europe: 2021 Statistics and the outlook for 2022–2026*, WindEurope, Belgien 2022.

¹⁶² Gefolgt von Indien (7 %), Brasilien (5 %) und Nordamerika (4,5 %). Siehe auch: WindEurope/Wood Mackenzie, *Wind energy and economic recovery in Europe*, Belgien 2020.

technologische Entwicklung und Investitionen in Forschung und Entwicklung. Die Windkraftbranche der EU verfügt auch über umfangreiche Produktionskapazitäten für Komponenten mit hoher Wertschöpfung (z. B. Türme, Getriebe und Rotorblätter) und für Geräte, die auch in anderen Branchen verwendet werden können (z. B. Generatoren, Spannungsumformer und Steuerungssysteme). In der Wertschöpfungskette der EU zur Herstellung von Offshore-Windkraftanlagen stammen die Komponenten hauptsächlich von EU-Herstellern. Bei Onshore-Windkraftanlagen beziehen die Erstausrüster (OEM) der EU ihre Komponenten hingegen von vielen verschiedenen ausländischen Anbietern.

Viele der Rohstoffe für Generatoren werden hauptsächlich aus China eingeführt. Potenzielle Schwierigkeiten bei der Steigerung der Rohstoffproduktion zur Erreichung der Ziele für 2030 könnten die Windkraftindustrie der EU vor Herausforderungen stellen. Der Anstieg der Rohstoffpreise im Jahr 2021 und Versorgungsunsicherheiten stellen ebenfalls ein Hindernis dar. Die Branche hat auch ökologische Bedenken, was das Recycling von Verbundrotorblättern betrifft. Sowohl nationale als auch EU-Forschungsprogramme im Bereich der Windenergie befassen sich daher zunehmend mit dem Thema Kreislauffähigkeit.

Analyse des globalen Marktes: Die EU hat in den letzten zehn Jahren gegenüber der übrigen Welt eine positive Handelsbilanz zwischen 1,8 Mrd. EUR und 2,8 Mrd. EUR aufrechterhalten. Allerdings weist die EU seit 2018 negative Handelsbilanzen gegenüber China und Indien auf. 2020 überholten die chinesischen Erstausrüster beim weltweiten Marktanteil zum ersten Mal die Erstausrüster aus der EU. Dennoch ist auf den führenden Märkten der EU eine beträchtliche Zahl inländischer Hersteller ansässig.¹⁶³

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Windenergiebereich der EU bei FuI und hochwertigen Patenten nach wie vor weltweit führend ist. Dies ist den Produktionskapazitäten, Arbeitskräften und Kompetenzen zu verdanken, die dort vorhanden sind. Um die für 2030 gesteckten Ziele zu erreichen, muss die Branche jedoch die derzeit jährlich installierte Leistung in der EU mehr als verdoppeln.

Die Umsetzung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie¹⁶⁴, der jüngste Vorschlag für deren Änderung¹⁶⁵ sowie die entsprechenden Empfehlungen und Leitlinien der Kommission aus dem Jahr 2022¹⁶⁶ dürften die wichtigsten Ausbauhindernisse im Zusammenhang mit Genehmigungsverfahren beseitigen. Eine klare frühzeitige Angabe der Pläne für Windkraftanlagen seitens der Mitgliedstaaten wird darüber hinaus die rechtzeitige Vorbereitung künftiger Kapazitäten ermöglichen. Parallel dazu werden Forschung und Innovation in Bezug auf die Kreislauffähigkeit die Branche voranbringen, da auf diese Weise Umweltbelangen und Versorgungsunterbrechungen Rechnung getragen und dadurch die Wettbewerbsfähigkeit des Windenergiesektors der EU verbessert wird.

¹⁶³ WindEurope/Wood Mackenzie, *Wind energy and economic recovery in Europe*, 2020.

¹⁶⁴ ABl. L 328 vom 21.12.2018. Richtlinie (EU) 2018/2001 vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen.

¹⁶⁵ COM(2021) 557 final („Vorschlag für eine Richtlinie des Europaparlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates, der Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates und der Richtlinie 98/70/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Förderung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Aufhebung der Richtlinie (EU) 2015/652 des Rates“).

¹⁶⁶ SWD(2022) 0149 final („Leitlinien für die Mitgliedstaaten zu bewährten Verfahren zur Beschleunigung der Genehmigungsverfahren für Projekte im Bereich der erneuerbaren Energien“).

3.3. Wärmepumpen für Anwendungen in Gebäuden

Auf EU-Ebene werden Wärmepumpen im Rahmen des europäischen Grünen Deals, des Pakets „Fit für 55“ und des REPowerEU-Plans immer stärker unterstützt.¹⁶⁷ Im REPowerEU-Plan wird eine Verdoppelung des derzeitigen Einsatzes von individuellen Wärmepumpen gefordert, was dazu führen würde, dass in den nächsten fünf Jahren insgesamt zehn Millionen und bis 2030 sogar 30 Millionen Wärmepumpen installiert würden, und was mit einer Steigerung der Produktionskapazitäten der EU einhergehen würde. Außerdem wird ein schnellerer Einbau von Großwärmepumpen in Fernwärme- und Fernkältenetzen gefordert. Eine weiträumige gemeinschaftliche Einführung sowohl von Rooftop-Fotovoltaikanlagen (und -Solarthermieanlagen) als auch von Wärmepumpen mit intelligenten Steuerungen, die auf Netzlast- und Preissignale reagieren, würde zur Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung beitragen und die Schwierigkeiten bei der Netzintegration verringern.

Analyse der Technologie: Bei Wärmepumpen für Anwendungen in Gebäuden handelt es sich um handelsübliche Produkte. Sie lassen sich anhand verschiedener Kriterien einstufen, etwa nach der Quelle, aus der die Wärmeenergie gewonnen wird (Luft, Wasser oder Boden), dem Wärmeübertragungsmedium (Luft oder Wasser), ihrem Zweck (Raumheizung oder -kühlung, Erwärmung von Wasser für den häuslichen Gebrauch) sowie nach Marktsegmenten (Gewerbe- oder Wohngebäude und Wärmenetze).

Bei Wärmepumpen, die hauptsächlich für die Raumheizung und die Erwärmung von Wasser für Gebrauchszwecke genutzt werden, belief sich der in diesem Sektor gemessene installierte Bestand Ende 2021 in Europa auf fast 17 Millionen Einheiten, während der Absatz 2021 bei 2,18 Mio. Stück lag, was einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 17 % in den letzten fünf Jahren und von 20 % in den letzten drei Jahren entsprach.¹⁶⁸

Bestimmend für die Forschung und Innovation im Bereich der individuellen Wärmepumpen ist vor allem die Nachfrage nach effizienteren, kompakteren und geräuschärmeren Anlagen, nach größeren Betriebstemperaturbereichen, nach Digitalisierung zugunsten einer optimalen Integration in die Energienetze sowie nach Möglichkeiten zur lokalen Energieerzeugung und -speicherung. FuI-Anreize ergeben sich auch durch sich ändernde EU-Vorschriften zugunsten von mehr Energieeffizienz und geringeren Umweltauswirkungen eines Produkts entlang seines Lebenswegs; hier sind z. B. die Kreislauffähigkeit von Werkstoffen und Kältemittel mit niedrigem Treibhauspotenzial von Interesse. Forschung und Innovation auf dem Gebiet gewerblicher Wärmepumpen betreffen z. B. die Integration der gleichzeitigen Versorgung mit Wärme und Kälte mit thermischer Speicherung.

Die EU besitzt eine starke Position im Bereich FuI, die sich weiter verbessert. Sie ist führend bei Patenten für Wärmepumpen, die hauptsächlich für Heizzwecke eingesetzt werden, für Anwendungen in Gebäuden. Im Zeitraum 2017–2019 wurden 48 % der Patente für „hochwertige Erfindungen“ in der EU eingereicht, gefolgt von Japan (12 %), den Vereinigten Staaten (8 %), Korea (7 %) und China (5 %).¹⁶⁹ Im Zeitraum 2014–2022 wurden im Rahmen

¹⁶⁷ COM(2022) 230 final („REPowerEU-Plan“).

¹⁶⁸ European Heat Pump Association (EHPA), 2022, <https://www.ehpa.org/market-data/>.

¹⁶⁹ Lyons, L., et al., Beobachtungsstelle für saubere Energietechnologie (CETO), *Heat Pumps in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Europäische Kommission, 2022, JRC130874.

von Horizont 2020 insgesamt 277 Mio. EUR für Vorhaben im Zusammenhang mit Wärmepumpen für Anwendungen in Gebäuden bereitgestellt.

Analyse der Wertschöpfungskette: Der Umsatz bei Tätigkeiten zur Herstellung, Installation und Wartung von Wärmepumpen in der EU belief sich 2020 auf 41 Mrd. EUR und ist in den letzten drei Jahren jährlich um durchschnittlich 21 % gewachsen. Im Jahr 2020 gab es in diesem Bereich 318 800 direkte und indirekte Arbeitsplätze, was einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 18 % in den letzten drei Jahren entspricht. Diese Daten umfassen alle Arten von Wärmepumpen, einschließlich Luft-Luft-Wärmepumpen, die für Kühl- und/oder Heizzwecke eingesetzt werden.¹⁷⁰

Für die Herstellung von Wärmepumpen werden keine kritischen Rohstoffe benötigt, sie ist jedoch von der derzeitigen weltweiten Halbleiterknappheit betroffen.

Analyse des globalen Marktes: In der EU besteht die Wertschöpfungskette von Wärmepumpen, die hauptsächlich für Heizzwecke eingesetzt werden, aus vielen KMU und einigen wenigen großen Akteuren. Der Anteil importierter Wärmepumpen nimmt zu, und das Handelsdefizit erreichte 2021 einen Wert von 390 Mio. EUR, im Gegensatz zu dem Überschuss von 202 Mio. EUR, der fünf Jahre zuvor verzeichnet worden war.¹⁷¹ Die Einfuhren aus China haben sich 2021 verdoppelt und erreichten 530 Mio. EUR.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Einsatz von Wärmepumpen zwar bereits rasch voranschreitet, jedoch noch beschleunigt werden müsste, um die Ziele des REPowerEU-Plans zu erreichen. Die in der EU ansässigen Anbieter müssen ihre Produktion steigern, um an der wachsenden Nachfrage nach Wärmepumpen in der EU teilhaben zu können. Einige Branchenverbände argumentieren, dass ein schnellerer Ausstieg aus Kältemitteln mit hohem Treibhauspotenzial das Hochfahren für bestimmte Anwendungen verlangsamen würde, aber die in dem Vorschlag zur Änderung der F-Gas-Verordnung¹⁷² enthaltenen Verbotsfristen sind so gestaltet, dass die Branche ausreichend Zeit zur Anpassung erhält. Ein Mangel an geschulten Installateuren und hohe Vorlaufkosten können den Ausbau in der EU verzögern.

Die Branche fordert die Schaffung einer Plattform zur Förderung von Wärmepumpen („Heat Pump Accelerator“), die die Kommission, die Mitgliedstaaten und die Branche selbst zusammenbringen würde. Die Plattform würde durch klare und nachhaltige politische Signale unterstützt, die Vertrauen in die langfristige Planung schaffen, einen günstigen Regelungsrahmen sicherstellen, durch verstärkte Zusammenarbeit und FuI Kosten senken und zu einem Kompetenzpakt mit dem Schwerpunkt Wärmepumpen beitragen würden. Im Rahmen des REPowerEU-Plans wird die Kommission die Bemühungen der Mitgliedstaaten unterstützen, ihre öffentlichen Mittel in potenziell wichtigen Vorhaben von gemeinsamem europäischem Interesse (IPCEI) zu bündeln, die auf bahnbrechende Technologien und Innovationen entlang der Wertschöpfungskette von Wärmepumpen ausgerichtet sind, und im Rahmen des Kompetenzpakts eine groß angelegte Kompetenzpartnerschaft aufzubauen.

¹⁷⁰ Basierend auf Daten von EurObserv'ER, 2020

¹⁷¹ COMEXT, Code 841861.

¹⁷² COM(2022) 150 final („Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über fluoridierte Treibhausgase, zur Änderung der Richtlinie (EU) 2019/1937 und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 517/2014“).

3.4. Batterien

Batterien werden eine entscheidende Rolle bei der Verwirklichung der Ziele des europäischen Grünen Deals und der Umsetzung des REPowerEU-Plans¹⁷³ spielen, da sie die Abhängigkeit von Kraftstoffzufuhren im Verkehrssektor verringern, eine maximale Nutzung von Strom aus erneuerbaren Quellen sicherstellen und Abregelungen („Curtailments“) verringern können. Es wird davon ausgegangen, dass bis 2030 über 50 Millionen Elektrofahrzeuge¹⁷⁴ (mit Batterien mit mindestens 1,5 TWh Verbrauch) und ortsfeste Batterien mit über 80 GW/160 GWh¹⁷⁵ auf den Straßen der EU betrieben werden. Die EU geht bei Neuwagen allmählich zu einer Emissionsfreiheit bis 2035 über. Dies steht im Einklang mit dem Ziel, dass die gesamte Kraftfahrzeugflotte der EU mit 270 Millionen Fahrzeugen bis 2050 emissionsfrei (überwiegend elektrisch) sein soll. Die Elektromobilität ist der wichtigste Faktor bei der Nachfrage nach Batterien. Lithium-Ionen-Batterien dürften den Markt bis weit über 2030 hinaus dominieren, aber parallel dazu werden auch andere Technologien entwickelt.

Analyse der Technologie: Trotz Lieferunterbrechungen bei Chips und Magnesium hat der Einsatz der Batterietechnologie in der EU historische Höchststände erreicht: 2021 wurden 1,7 Millionen neuer Elektrofahrzeuge verkauft, die damit einen Marktanteil von 18 % erreichten (gegenüber 3 % im Jahr 2019 und 10,5 % im Jahr 2020¹⁷⁶); dieser Prozentsatz war höher als in China (16 %). Der nationale Absatz von Elektroautos lag zwischen 1,3 % (Zypern) und 45 % (Schweden). Der EU-Markt für ortsfeste Batterien wächst ebenfalls rasch und dürfte bis Ende 2022 den Wert von 8 GW/13,7 GWh erreichen.¹⁷⁷ Allerdings ist eine weitere Beschleunigung erforderlich, um die Abhängigkeit von Gaskraftwerken entsprechend den Zielen des REPowerEU-Plans zu verringern.

Im Jahr 2021 fiel der durchschnittliche Batteriepreis auf dem Weltmarkt um 6 % auf rund 116 EUR/kWh¹⁷⁸ und auf dem EU-Markt auf rund 150 EUR/kWh. Damit setzt sich ein langfristiger Trend fort. Mit dem 2022 begonnenen Anstieg der Preise aufgrund angebotsseitiger Schocks kehrt sich der Trend nun jedoch um (z. B. stieg der Preis für Lithiumcarbonat im Frühjahr 2022 um 974 % im Vergleich zu 2021).¹⁷⁹ Batteriesätze werden 2022 mindestens 15 % teurer sein als 2021.¹⁸⁰ Die Systemkosten für Li-Ion-Anwendungen für Stromnetze lagen 2021 bei rund 350 EUR/kWh¹⁸¹, bei Heimspeichersystemen waren sie etwa doppelt so hoch.

Analyse der Wertschöpfungskette: 2021 erfolgte noch fast die gesamte EU-Massenproduktion von Lithium-Ionen-Batterien durch asiatische Hersteller mit Sitz in der EU (Ungarn und

¹⁷³ COM(2022) 230 final („REPowerEU-Plan“).

¹⁷⁴ „Policy scenarios for delivering the European Green Deal“, Europäische Kommission, 2021. Abrufbar unter: https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/energy-modelling/policy-scenarios-delivering-european-green-deal_en.

¹⁷⁵ „Policy scenarios for delivering the European Green Deal“, Europäische Kommission, 2021. Abrufbar unter: https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/energy-modelling/policy-scenarios-delivering-european-green-deal_en.

¹⁷⁶ Vereinigung europäischer Automobilhersteller (ACEA), Februar 2022, <https://www.acea.auto/fuel-pc/fuel-types-of-new-cars-battery-electric-9-1-hybrid-19-6-and-petrol-40-0-market-share-full-year-2021/>.

¹⁷⁷ European Market Monitor on Energy Storage, 6. Ausgabe (EMMES 6.0), <https://ease-storage.eu/publication/emmes-6-0-june-2022/>.

¹⁷⁸ BNEF, „Battery Pack Prices Fall to an Average of \$ 132/kWh“, 30. November 2021. Wechselkurs am 30. November 2021: 0,8826 EUR für 1 USD.

¹⁷⁹ Energy Storage News, „BloombergNEF predicts 30% annual growth for global energy storage market to 2030“, 4. April 2022.

¹⁸⁰ IEA, *Global EV outlook 2022*, 2022.

¹⁸¹ Basierend auf dem Webinar von Aurora Energy Research vom 21. April 2022: „How high can battery costs get?“

Polen). Mit dem Bau neuer Gigafabriken wird die EU (insbesondere Deutschland und Schweden) aber allmählich an Bedeutung auf dem Markt gewinnen. Das schwedische Unternehmen Northvolt stellte Ende 2021 seine erste Batteriezelle aus zu 100 % recyceltem Nickel, Mangan und Kobalt her und startete 2022 mit der kommerziellen Auslieferung. Northvolt gibt an, über ein hocheffizientes Recyclingverfahren zu verfügen, mit dem bis zu 95 % der Batteriemetalle zurückgewonnen werden können.¹⁸²

Es wird erwartet, dass die EU bis Ende 2022 eine Produktionskapazität von über 75 GWh¹⁸³ erreichen wird (gegenüber 44 GWh Mitte 2021). Die derzeit laufenden Projekte zeigen, dass die EU es wahrscheinlich schaffen wird, bis 2025 die Nachfrage nach Batterien zu 69 % und bis 2030 zu 89 % zu decken.¹⁸⁴ Dies ist weitgehend den Initiativen der Europäischen Batterie-Allianz¹⁸⁵ zu verdanken.

Das vorgelagerte Segment der Rohstoffe ist nach wie vor das am wenigsten belastbare Segment der Batterie-Wertschöpfungskette. Trotz verschiedener EU-Initiativen vergrößerte sich 2021 die Versorgungslücke bei Batterierohstoffen.¹⁸⁶ Altbatterien werden nach wie vor größtenteils zum Recycling nach Asien verbracht.¹⁸⁷

Die EU macht rasche Fortschritte im Bereich der Lithium-Ionen-Technologie (insbesondere im leistungsstärksten NMC¹⁸⁸-Bereich), kommt jedoch bei ortsfesten Batterietechnologien, die auf reichlich verfügbaren Rohstoffen basieren (z. B. Flussbatterien und Natrium-Ionen-Batterien, wobei Letztere unter anderem angesichts der Entwicklungen in China auch über ein gutes Potenzial für Elektrofahrzeuge verfügen), zu langsam voran. Die EU ist auch eher langsam bei der Akzeptanz der preiswerteren Lithium-Eisenphosphat-Technologie (LFP), die in Asien zunehmend zum Einsatz kommt und weniger abhängig von kritischen Rohstoffen ist.

Analyse des globalen Marktes: Auf China entfallen 80 % der weltweiten Kapazitäten zur Raffination von Rohstoffen für Lithium-Ionen-Batterien, 77 % der Kapazitäten zur Produktion von Batteriezellen und 60 % der Kapazitäten zur Herstellung von Batteriekomponenten.¹⁸⁹ Das Handelsdefizit der EU bei Lithium-Ionen-Batterien stieg 2021 weiter an und erreichte 5,3 Mrd. EUR¹⁹⁰ (25 % mehr als 2020). Auf die EU entfallen rund 19 % der weltweiten Herstellung von Elektrofahrzeugen¹⁹¹, ihr Anteil an der vorgelagerten Lieferkette ist jedoch sehr gering (mit Ausnahme der Kobaltverarbeitung). Die Produktion und Einführung von Elektrobussen in der EU (Ende 2021 waren 7356 E-Busse im Einsatz) ist im Vergleich zu China, das mehr als 90 % des weltweiten Bestands von 670 000 E-Bussen¹⁹² besitzt, unwesentlich.

¹⁸² northvolt.com, „Northvolt produces first fully recycled battery cell“, 12. November 2021.

¹⁸³ Einschließlich LG Chem (Polen): 32 GWh, Samsung SDI (Ungarn): 20 GWh, Northvolt (Schweden): 16 GWh, SK Innovation (Ungarn): 7,5 GWh ([Benchmark Minerals: Europe's EV gigafactory capacity pipeline to grow 6-fold to 789.2 GWh to 2030 - Green Car Congress](#)). Andere Hersteller, z. B. SAFT, MES und Leclanché, tragen mit kleineren Kapazitäten bei, erhöhen jedoch ihre Produktion.

¹⁸⁴ EIT InnoEnergy, *Contribution for High-Level ministerial meeting on batteries*, Februar 2022.

¹⁸⁵ [Europäische Batterie-Allianz \(europa.eu\)](#)

¹⁸⁶ EIT Innoenergy, *Contribution for High-Level ministerial meeting on batteries*, Februar 2022.

¹⁸⁷ EBA250, das industrielle Entwicklungsprogramm der Europäischen Batterie-Allianz, <https://www.eba250.com/>.

¹⁸⁸ NMC: Nickel-Mangan-Kobalt.

¹⁸⁹ Willuhn, M., „National lithium-ion battery supply chains ranked“, in: *PV Magazine*, 16. September 2020.

¹⁹⁰ COMEXT-Daten von 2022.

¹⁹¹ Basierend auf PRODCOM-Daten von 2021 zur Produktion für die EU und IEA-Daten zum weltweiten Absatz von Elektrofahrzeugen im Jahr 2021.

¹⁹² Ausblick der IEA zu Elektrofahrzeugen von 2022.

Abschließend ist festzuhalten, dass die EU die dringend benötigten technologischen Kapazitäten für eine kostengünstigere Speicherung/Langzeitspeicherung mehr und mehr aufbaut (z. B. Technologien für Natrium-Ionen-Batterien, Batterien auf Zinkbasis und Flussbatterien) und bei Endprodukten gut abschneidet (insbesondere bei der Produktion und dem Einsatz von Elektrofahrzeugen, mit Ausnahme des Segments der Elektrobusse). Bei der Lithium-Ionen-Technologie holt sie auch in der Zellenherstellung rasch auf und hat gute Aussichten, bis 2030 bei der Batterieproduktion nahezu unabhängig zu sein. Der Mangel an einheimischen Rohstoffen und die zu geringe Produktion moderner Werkstoffe ist trotz bestehender Initiativen ein anhaltendes Problem. Die EU will ihre Anstrengungen verstärken, um diese Herausforderungen von der Gewinnung bis zur Raffination, von der Verarbeitung bis zum Recycling zu bewältigen, z. B. mit dem angekündigten europäischen Gesetz über kritische Rohstoffe.

3.5. Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff durch Elektrolyse von Wasser

Erneuerbarer Wasserstoff¹⁹³ hat ein großes Potenzial, zu den Klima- und Energiezielen der EU beizutragen. Er kann in Bereichen, die schwierig zu elektrifizieren sind (z. B. Langstrecken- und Schwerlastverkehr), als Kraftstoff eingesetzt werden oder als chemisches Ausgangsmaterial (z. B. für Düngemittel und andere Chemikalien) oder in industriellen Verfahren (z. B. in der Stahl- oder Zementherstellung) verwendet werden. Der Anteil von Wasserstoff und seinen Derivaten am weltweiten Energiemix wird im Jahr 2050 voraussichtlich 12 % betragen¹⁹⁴, dennoch macht erneuerbarer Wasserstoff, der durch Wasserelektrolyse hergestellt wird, derzeit nur 0,1 % der gesamten EU-Produktion aus.

Im REPowerEU-Plan wurden die politischen Ziele der Wasserstoffstrategie von 2020¹⁹⁵ weiter gestärkt und die für 2030 gesteckten Ziele für erneuerbaren und CO₂-armen Wasserstoff auf 10 Mio. t heimische Erzeugung und 10 Mio. t Einfuhren (teilweise in Form von Ammoniak) festgelegt. Die Gründung einer Europäischen Wasserstoffbank trägt dazu bei, Erzeugung und Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff zu beschleunigen, und unterstützt den koordinierten Aufbau der erforderlichen Infrastrukturen¹⁹⁶.

Die Kommission und führende EU-Hersteller von Elektrolyseuren haben sich verpflichtet, die Produktionskapazität bis 2025 auf 17,5 GW an Wasserstoff-Output zu erhöhen.¹⁹⁷ Darüber hinaus sind in den Aufbau- und Resilienzplänen der Mitgliedstaaten rund 10,6 Mrd. EUR für Wasserstofftechnologien vorgesehen, und von der Kommission wurden 2022 (im Juli und im September) zwei IPCEI für Investitionen in Höhe von 5,4 Mrd. EUR bzw. 5,2 Mrd. EUR genehmigt, an denen 15 bzw. 13 Mitgliedstaaten beteiligt sind.

¹⁹³ Die Europäische Kommission definiert erneuerbaren Wasserstoff als Wasserstoff, der mithilfe von Strom aus erneuerbaren Energiequellen erzeugt oder aus Biomasse gewonnen wird und bei dem die Einsparungen von CO₂-Emissionen im Vergleich zu fossilen Brennstoffen bei 70 % liegen. Die Kommission hat im Legislativpaket zu Wasserstoff und dekarbonisiertem Gas vom 15. Dezember 2021 einen Schwellenwert für CO₂-armen Wasserstoff festgelegt (COM(2021) 803 final).

¹⁹⁴ IRENA, *Geopolitics of Energy Transformation: the Hydrogen Factor*, Abu Dhabi 2022.

¹⁹⁵ COM(2020) 301 („Eine Wasserstoffstrategie für ein klimaneutrales Europa“).

¹⁹⁶ Wie in der Rede zur Lage der Union 2022 am 14. September 2022 angekündigt. Abrufbar unter: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/SPEECH_22_5493.

¹⁹⁷ Gemeinsame Erklärung vom 5. Mai 2022, <https://ec.europa.eu/documents/50014/>.

Analyse der Technologie: Von einer weltweiten Leistung von 300 MW im Jahr 2020¹⁹⁸ belief sich die installierte Leistung in Europa (einschließlich des Vereinigten Königreichs und der EFTA-Länder) im Jahr 2021 auf 135 MW. Auf Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyseure (PEM-Elektrolyseure) und alkalische Elektrolyseure entfallen 55 % bzw. 44 % der installierten Leistung in Europa (einschließlich EFTA und Vereinigtes Königreich).¹⁹⁹

Die Stromgestehungskosten sind der Hauptfaktor, wenn es um die Wirtschaftlichkeit von Investitionen in Elektrolyseure geht, und die steigenden Strompreise stellen nach wie vor eines der größten Probleme für die Wirtschaftlichkeit einer wettbewerbsfähigen Erzeugung von Wasserstoff mit Elektrolyseuren dar.

Die Kosten der europäischen Wasserstoffherzeugung aus erneuerbaren Energiequellen schwankten 2020 zwischen einem Median von 6,8 EUR/kg H₂ (fotovoltaikbasierte Erzeugung) und einem Median von 5,5 EUR/kg H₂ (windenergiebasierte Erzeugung).²⁰⁰ Es wird erwartet, dass die Kosten für Elektrolyseure durch die Hochtemperaturelektrolyse sinken, und zwar von 2130 EUR/kW im Jahr 2020 auf 520 EUR/kW im Jahr 2030. Für 2030 liegen die Kostenziele für PEM- und alkalische Elektrolyseure bei 500 EUR/kW bzw. 300 EUR/kW.²⁰¹

Analyse der Wertschöpfungskette: Die europäische Produktionskapazität 2021 für Wasserelektrolyseure ist auf 2,5 GW/Jahr geschätzt worden.²⁰² Die globale Produktionskapazität wurde auf rund 6–7 GW/Jahr geschätzt (etwa zwei Drittel alkalische und ein Drittel PEM-Elektrolyseure sowohl auf dem europäischen als auch auf dem globalen Markt).²⁰³

Die Produktionsmengen in Europa sind geringer als die in China und den Vereinigten Staaten. Schätzungen zufolge verfügen chinesische Unternehmen über die Hälfte der weltweiten Produktionskapazitäten für alkalische Elektrolyseure, während amerikanische Unternehmen den Großteil der weltweiten PEM-Elektrolyseure produzieren. Europa ist führend bei der Anzahl der Herstellerunternehmen und bei der Festoxidelektrolyse; in Bezug auf die Versorgung mit notwendigen kritischen Rohstoffen ist Europa jedoch von Ländern wie China, Russland und Südafrika abhängig und kann nur 1–3 % davon aus heimischen Quellen decken.²⁰⁴

Der Wasserverbrauch (derzeit etwa 17 l/kg H₂) im Zusammenhang mit dem Ausbau der Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff wird den Druck auf die Süßwasserressourcen erhöhen, daher sollte bei neuen Standorten für Elektrolyseure die Wasserrahmenrichtlinie²⁰⁵ eingehalten werden, um auch wasserbedingte Produktionsengpässe zu vermeiden.

Analyse des globalen Marktes: Nur 0,2 % des europäischen Jahresgesamtbedarfs an (nicht erneuerbarem) Wasserstoff von 8,4 Mio. t werden über den internationalen Handel gedeckt.²⁰⁶

¹⁹⁸ *Global Hydrogen Review*, IEA, 2021.

¹⁹⁹ *The Clean Hydrogen Monitor*, Hydrogen Europe, 2021.

²⁰⁰ *The Clean Hydrogen Monitor*, Hydrogen Europe, 2021.

²⁰¹ *Strategic Research and Innovation Agenda 2021–2027*, Clean Hydrogen Partnership.

²⁰² Gemeinsame Erklärung des Europäischen Elektrolyseur-Gipfels in Brüssel, 5. Mai 2022.

²⁰³ BNEF, 2021. Es ist zu beachten, dass die Schätzungen der jährlichen Produktionskapazität in den verschiedenen Quellen unterschiedlich ausfallen.

²⁰⁴ Dolci, F., et al., Beobachtungsstelle für saubere Energietechnologie (CETO), *Hydrogen Electrolysis – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Europäische Kommission, 2022, JRC130683.

²⁰⁵ ABl. L 327 vom 22.12.2000. Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.

²⁰⁶ Hydrogen Europe, Clean Hydrogen Europe, 2021. Beim jährlichen Wasserstoffbedarf werden Island, Norwegen, die Schweiz und das Vereinigte Königreich mitgerechnet.

Auch wenn der internationale Handel mit Wasserstoff bisher noch keine Realität ist, bestehen umfangreiche Handelsmöglichkeiten im Zusammenhang mit der künftigen Versorgung der EU mit erneuerbarem Wasserstoff, wie im REPowerEU-Plan dargelegt ist.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die EU ohne größere Montagesysteme, einen höheren Automatisierungsgrad und mehr Skaleneffekte bei den alkalischen Technologien nicht mit China konkurrieren kann.

Die derzeit hohen Strompreise sowie die Abhängigkeit von Einfuhren kritischer Rohstoffe, die sich auf einige wenige Lieferanten konzentrieren, sind grundlegende Schwächen der Elektrolyseur-Wertschöpfungsketten in der EU. Hier sind langfristige Kooperationsvereinbarungen erforderlich. Außerdem müssen gezielt Alternativen zu den seltenen Metallen und anderen kritischen Rohstoffen erforscht werden, die derzeit für die Wasserelektrolyse benötigt werden. Darüber hinaus hängt der langfristige Erfolg von einer nachhaltigen Wasserversorgung und ausreichenden Recyclingkapazitäten in der EU sowie von einem umfassenden Ansatz zur Ankurbelung von Angebot und Nachfrage ab. Die Unterstützung der rechtlichen und finanziellen Rahmenbedingungen der EU sowie umfangreiche Investitionen durch die Finanzmittel für den Wiederaufbau, IPCEI, die Kohäsionspolitik, Horizont Europa, das Gemeinsame Unternehmen für sauberen Wasserstoff²⁰⁷ und den Innovationsfonds sind für die Wettbewerbsfähigkeit der EU-Industrie für erneuerbaren Wasserstoff von entscheidender Bedeutung.

3.6. Erneuerbare Kraftstoffe

Technologien für erneuerbare Kraftstoffe können kurzfristig erheblich zur Dekarbonisierung des Verkehrs und zur Gewährleistung der Energieversorgungssicherheit und der Diversifizierung der Energieversorgung beitragen. Im REPowerEU-Plan²⁰⁸ wird insbesondere Biomethan²⁰⁹ als Schlüssel zur Diversifizierung der Gasversorgung in der EU angeführt, dessen Produktion auf das Doppelte des für 2030 formulierten EU-Ziels gesteigert werden sollte, sodass Biomethan zu den Hauptprioritäten für erneuerbare Energien gehören würde.

Die Legislativvorschläge des Pakets „Fit für 55“²¹⁰ würden im Verkehrssektor 2030 zu einer erheblichen Nachfrage nach erneuerbaren Energien führen; diese würde deutlich über den Zielen liegen, die in dem überarbeiteten Vorschlag für die RED II²¹¹ für die Anteile fortschrittlicher Biokraftstoffe und erneuerbarer Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs genannt sind. Dies ist dem Ziel von 13 % THG-Einsparungen im Verkehrssektor (was wahrscheinlich nicht allein durch Elektrifizierung erreicht werden kann) und den höheren THG-Einsparungszielen von 40 % bzw. 61 % in den überarbeiteten Vorschlägen für die

²⁰⁷ Das Gemeinsame Unternehmen für sauberen Wasserstoff hat Mittel in Höhe von 150,5 Mio. EUR bereitgestellt, im Rahmen des Programms Horizont 2020 wurden 130 Mio. EUR verfügbar gemacht, und aus dem Innovationsfonds wurden bis Mitte 2022 vier Vorhaben mit 240 Mio. EUR unterstützt.

²⁰⁸ COM(2022) 230 final („REPowerEU-Plan“).

²⁰⁹ Insbesondere, wenn es aus organischen Abfällen und Reststoffen hergestellt wird, sodass es im Verkehrssektor als fortschrittlicher Biokraftstoff verwendet werden kann.

²¹⁰ COM(2021) 550 final („Fit für 55“: auf dem Weg zur Klimaneutralität – Umsetzung des EU-Klimaziels für 2030“).

²¹¹ COM(2021) 557 final („Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates, der Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates und der Richtlinie 98/70/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Förderung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Aufhebung der Richtlinie (EU) 2015/652 des Rates“).

Lastenteilungsverordnung²¹² bzw. die Richtlinie über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Union²¹³ geschuldet (sofern diese mit gleichen Beiträgen aus dem Verkehr erreicht werden sollen). Im REPowerEU-Plan wird vorgeschlagen, die erforderlichen Mengen an erneuerbaren Kraftstoffen weiter zu erhöhen. Im Gegensatz zum Straßenverkehr, dessen Dekarbonisierung voraussichtlich zu einem großen Teil von Strom und Wasserstoff abhängen wird²¹⁴, wird bei den Initiativen „RefuelEU Aviation“ und „FuelEU Maritime“ davon ausgegangen, dass erneuerbare Kraftstoffe 5 % bzw. 6,5 % des Gesamtkraftstoffverbrauchs der EU im Luft- und Seeverkehr decken werden.^{215, 216}

Analyse der Technologie: Es gibt zwar gewerbliche Produktionswege (z. B. anaerobe Vergärung zu Biomethan, Hydrierung von Pflanzenölen und Herstellung von Ethanol aus Lignozellulose), aber die installierte Leistung ist gering (0,43 Mio. t/Jahr) und die geplante Produktion begrenzt (1,85 Mio. t/Jahr). Vielfältige innovative Technologien (z. B. Vergasung von Biomasse zu synthetischen Fischer-Tropsch-Kraftstoffen, durch Pyrolyse gewonnene Brennstoffe und Herstellung von Biomethanol) wurden im industriellen Umfeld demonstriert und sind einsatzbereit. Bei mehreren Technologien der nächsten Generation werden derzeit beträchtliche Fortschritte erzielt. Die EU konzentriert ihre Maßnahmen auf fortschrittliche Biokraftstoffe, die hauptsächlich auf nicht wiederverwertbaren Abfällen und Reststoffen beruhen, und beschränkt ihre Unterstützung für Biokraftstoffe auf der Grundlage von Nahrungsmittelpflanzen und Rohstoffen.

Technologien für andere erneuerbare synthetische Kraftstoffe (solare Brennstoffe, mikrobielle Kraftstoffe der zweiten Generation und Brennstoffe aus Mikroalgen) befinden sich größtenteils noch im Labormaßstab. Selbst bei den E-Fuels sind die fortschrittlichsten Technologien aufgrund der noch bestehenden technologischen Schwierigkeiten, der derzeit hohen Elektrolysekosten, der hohen Umwandlungsverluste (50 %) und der hohen Transport- und Vertriebskosten²¹⁷ noch nicht bereit für die gewerbliche Produktion.

Analyse der Wertschöpfungskette: Die größte Herausforderung für die Verbreitung fortschrittlicher Biokraftstoffe auf dem Markt ist ihre Wettbewerbsfähigkeit gegenüber konventionellen Biokraftstoffen, die aus Nahrungsmittelpflanzen erzeugt werden. Die Kosten für fortschrittliche Biokraftstoffe werden auf das 1,5- bis 3-Fache des Marktpreises herkömmlicher Biokraftstoffe wie Biodiesel und Bioethanol (50–100 EUR/MWh) geschätzt. Zudem sind fortschrittliche Biokraftstoffe mit hohen Investitionsausgaben (von bis zu

²¹² COM(2021) 555 final („Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/842 zur Festlegung verbindlicher nationaler Jahresziele für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2021 bis 2030 als Beitrag zu Klimaschutzmaßnahmen zwecks Erfüllung der Verpflichtungen aus dem Übereinkommen von Paris“).

²¹³ COM(2021) 551 final („Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Union, des Beschlusses (EU) 2015/1814 über die Einrichtung und Anwendung einer Marktstabilitätsreserve für das System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Union und der Verordnung (EU) 2015/757“).

²¹⁴ Die wichtigsten politischen Faktoren in diesem Sektor sind CO₂-Emissionsnormen und die Verordnung über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (AFIR), die im Rahmen des Pakets „Fit für 55“ vorgeschlagen wurden.

²¹⁵ SWD(2021) 633 final („Impact assessment accompanying the Proposal for a Regulation of the European Parliament and the Council on ensuring a level playing field for sustainable air transport“).

²¹⁶ COM(2021) 562 final („Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über die Nutzung erneuerbarer und kohlenstoffarmer Kraftstoffe im Seeverkehr und zur Änderung der Richtlinie 2009/16/EG“).

²¹⁷ 50 % bei E-Fuels. Es wird erwartet, dass die heutigen Kosten für E-Fuels von 7 EUR/l bis 2050 auf 1–3 EUR/l sinken werden, und zwar aufgrund von Skaleneffekten, Lerneffekten und voraussichtlich sinkenden Preisen für Strom aus erneuerbaren Energiequellen.

500 Mio. EUR je Anlage) verbunden und darauf angewiesen, dass nachhaltige Biomasserohstoffe verfügbar sind. Es besteht allerdings ein erhebliches Potenzial, die Kapitalkosten um 25–50 % und die Rohstoffkosten um 10–20 % zu senken, insbesondere durch Forschung und Innovation, die großmaßstäbliche Einführung und die gemeinsame Verarbeitung in bestehenden Anlagen.

Im Bereich Biokraftstoffe belief sich die private Finanzierung von FuI durch Risikokapital²¹⁸ im Zeitraum 2010–2021 auf durchschnittlich 250 Mio. EUR pro Jahr. Dabei dominierten die USA und Kanada (wobei dort Biokraftstoffe anders definiert sind), während der Anteil der EU in den letzten fünf Jahren nur bei 6 % lag. Bei den hochwertigen Patenten ist die EU jedoch führend, mit doppelt so vielen hochwertigen Patenten wie die USA. China hält die meisten Patente mit geringem Innovationsgrad, und die Patentanmeldungen der EU nehmen in den USA und China zu.

Analyse des globalen Marktes: Die EU besitzt einen Anteil von etwa 7 % am weltweiten Markt für Biokraftstoffe (d. h. rund 105 Mrd. EUR im Jahr 2020), die überwiegend aus Biodiesel der ersten Generation hergestellt werden. Der Umsatz erreichte 2018 mit 14,4 Mrd. EUR einen Höchststand²¹⁹, wobei der größte Teil davon in Frankreich, Deutschland und Spanien erwirtschaftet wurde. Entlang der Wertschöpfungskette wurden in der EU 250 000 direkte und indirekte Arbeitsplätze geschaffen. Darüber hinaus sind in der EU 29 % der Innovationsunternehmen der Welt angesiedelt, während sich die meisten in den USA und in Japan befinden.

Der Bereich der fortschrittlichen Biokraftstoffe ist gerade erst im Entstehen begriffen. Die Zahl der gewerblichen Anlagen ist noch recht gering und der internationale Handel sehr begrenzt. Die EU ist mit 19 der 24 in Betrieb befindlichen gewerblichen Anlagen für fortschrittliche Biokraftstoffe weltweit führend. Die meisten davon (insgesamt zwölf) liegen in Schweden und Finnland.²²⁰

Alle Biokraftstoffe können international gehandelt werden. Der internationale Handel ist jedoch geringer als bei fossilen Energieträgern und bei fortschrittlichen Biokraftstoffen kaum existent. Die Biokraftstoffeinfuhren der EU haben seit 2014 stetig zugenommen. Das Handelsdefizit der EU bei Biokraftstoffen belief sich 2021 auf mehr als 2 Mrd. EUR, wobei die Einfuhren hauptsächlich aus Argentinien, China und Malaysia stammten. Innerhalb der EU sind die Niederlande und Deutschland die größten Hersteller und globalen Exporteure von Biokraftstoffen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass bei den erneuerbaren Kraftstoffen die installierte und die geplante Leistung für 2030 zwar sehr gering sind und das Potenzial fortschrittlicher Biokraftstoffe aus nachhaltigen Rohstoffen in der EU begrenzt ist, dass dieser Sektor aber dennoch zu den THG-Einsparungszielen des Pakets „Fit für 55“ beitragen und mögliche

²¹⁸ Zu den privaten Investitionen gehören Risikokapital, Finanzierungen durch Business Angels und Seed-Kapital sowie Finanzhilfen. 57 % der seit 2010 getätigten Investitionen entfielen auf die USA, 28 % auf Kanada und insgesamt nur 10 % auf die EU (Bericht der JRC CETO 2022 zu fortschrittlichen Biokraftstoffen).

²¹⁹ Laut Angaben des CETO-Berichts zu fortschrittlichen Biokraftstoffen hat 2020 Frankreich den höchsten Umsatz verzeichnet (knapp über 2500 Mio. EUR), gefolgt von Deutschland und Spanien (jeweils rund 1500 Mio. EUR) sowie Ungarn, Rumänien und Polen (jeweils etwas weniger als 1000 Mio. EUR) (siehe Beobachtungsstelle für saubere Energietechnologie, *Advanced biofuels in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, JRC130727).

²²⁰ In Schweden gibt es acht Anlagen, in Finnland vier, in Spanien und Italien jeweils zwei und in Frankreich und den Niederlanden jeweils eine. Außerhalb der EU gibt es in den USA zwei und in China, Indonesien, Japan und Norwegen jeweils eine Anlage (Bericht der JRC CETO 2022 zu fortschrittlichen Biokraftstoffen).

Verzögerungen bei der Elektrifizierung des Verkehrssektors ausreichend abfedern kann. Einige technische und wirtschaftliche Risiken müssen jedoch noch überwunden werden, um das Potenzial erneuerbarer Kraftstoffe im Verkehrssektor voll ausschöpfen zu können. Für alle erneuerbaren Kraftstoffe und insbesondere synthetische Kraftstoffe sind die Kosten nach wie vor hoch, da sie von den Preisen für erneuerbare Energien und Wasserstoff abhängen. Fortschrittliche Biokraftstoffe sind aber auch auf lokale nachhaltige Biomasseressourcen und kurze Lieferketten angewiesen, wodurch eine große Zahl qualifizierter Arbeitsplätze geschaffen, die Energiearmut verringert und die industrielle Wettbewerbsfähigkeit gesteigert werden kann. Die EU ist der klare Marktführer bei betriebsbereiten gewerblichen Anlagen für fortschrittliche Biokraftstoffe und bei hochwertigen Innovationen. Derzeit befinden sich EU-Firmen unter den zehn weltweit führenden Unternehmen; sie laufen jedoch Gefahr, ihre technologische Führungsrolle aufgrund der fehlenden privaten Finanzierung zu verlieren. Daher sollte neben der im Inland erzeugten Energie auch das Ausfuhrpotenzial der zugrunde liegenden europäischen Technologien berücksichtigt werden.

3.7. Intelligente Technologien für das Energiemanagement

Bei der Politikgestaltung auf EU- und auf nationaler Ebene wurde die Bedeutung intelligenter Stromnetze in den letzten Jahren klar erkannt. In der EU-Strategie zur Integration des Energiesystems²²¹ von 2020 wurde die entscheidende Rolle intelligenter Netze für die Verwirklichung der energie- und klimapolitischen Ziele der EU bekräftigt. In der 2022 überarbeiteten Verordnung über die transeuropäische Energieinfrastruktur²²² wird die Realisierung intelligenter Stromnetze als vorrangiges thematisches Gebiet bezeichnet.²²³ Die Mitgliedstaaten haben in ihren Aufbau- und Resilienzplänen das Potenzial digitaler Lösungen für intelligentere Stromnetze anerkannt.²²⁴ Die Elektrifizierung und intelligentere Gestaltung des Netzes schreitet voran, doch bedarf es weiterer Fortschritte, um die Strominfrastruktur zu stärken, damit der REPowerEU-Plan umgesetzt werden kann. Zu den Herausforderungen gehören Reduzierung, die gemeinsame Nutzung von Daten durch verschiedene Akteure, Flexibilität, Interoperabilität und Technologiereife. Der EU-Aktionsplan zur Digitalisierung des Energiesystems²²⁵ enthält eine Reihe von Maßnahmen zur Überwindung dieser Hindernisse.

Angesichts der großen Zahl und des breiten Spektrums intelligenter Energietechnologien konzentriert sich dieser Abschnitt auf eine Bewertung der relevanten Technologie- und Marktentwicklungen von drei Schlüsseltechnologien: i) Infrastruktur für intelligente Verbrauchsmessung (Advanced Metering Infrastructure, AMI),

²²¹ COM(2020) 299 final („Förderung einer klimaneutralen Wirtschaft: Eine EU-Strategie zur Integration des Energiesystems“).

²²² ABl. L 152 vom 3.6.2022. Verordnung (EU) 2022/869 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2022 zu Leitlinien für die transeuropäische Energieinfrastruktur, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 715/2009, (EU) 2019/942 und (EU) 2019/943 sowie der Richtlinien 2009/73/EG und (EU) 2019/944 und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 347/2013.

²²³ Gemäß der Verordnung müssen Vorhaben für intelligente Stromnetze mindestens zur Erfüllung von zwei der folgenden Kriterien beitragen: i) Versorgungssicherheit, ii) Marktintegration, iii) Netzsicherheit, Flexibilität und Qualität der Versorgung sowie iv) intelligente Branchenintegration.

²²⁴ Europäische Kommission, *Recovery and Resilience Scoreboard. Thematic Analysis: Digital public services*, Dezember 2021.

²²⁵ COM(2022) 552 final („Digitalisierung des Energiesystems – EU-Aktionsplan“).

ii) Energiemanagementsysteme für Wohngebäude und iii) intelligentes Laden von Elektrofahrzeugen.

i) Infrastruktur für intelligente Verbrauchsmessung (AMI)

AMI-Systeme²²⁶ bieten sowohl für Energiedienstleister als auch für Verbraucher zahlreiche Vorteile, etwa niedrigere Stromrechnungen durch ein besseres Verbrauchsmanagement, eine bessere Netzbeobachtbarkeit und damit ein besseres Ausfallmanagement, geringere Kosten für Netzaktualisierungen durch ein besseres Stromspitzenmanagement sowie eine bessere Kundenkontrolle durch die Nutzung einer fortschrittlichen Kundeninfrastruktur (intelligente Anwendungen und Webportale).²²⁷

Die Einführung intelligenter Messsysteme schreitet in der EU voran, muss jedoch noch stärker beschleunigt werden. Im Jahr 2020 waren nur 43 % der Verbraucher mit einem intelligenten Stromzähler ausgestattet (entspricht ca. 123 Millionen Einheiten in der EU und im Vereinigten Königreich).²²⁸ Der Umfang der AMI-Funktionen ist uneinheitlich: In den meisten Ländern bieten sie über eine Messschnittstelle detaillierte Informationen über Verbrauchsdaten (z. B. Verbrauchsniveau/Datum/Uhrzeit) und/oder Informationen über kumulative Verbrauchsdaten.

Die Ausschöpfung des vollen Potenzials der AMI erfordert eine weitergehende Integration mit Energiemanagementsystemen für Wohngebäude und intelligenten Geräten (einschließlich intelligenter Ladesysteme für Elektrofahrzeuge) sowie mit neuen Energiedienstleistungen.

ii) Energiemanagementsysteme für Wohngebäude

Die zunehmende Verbreitung intelligenter Geräte²²⁹ deutet darauf hin, dass Energiemanagementsysteme für Wohngebäude zum Knotenpunkt für die Aggregation, Optimierung und Externalisierung von Daten an Dritte (z. B. Energiemakler und Dienstleister) werden dürften. Die Kommission arbeitet derzeit einen Verhaltenskodex für die Hersteller intelligenter Geräte im Energiebereich aus, in dem die Interoperabilitätsanforderungen und die Grundsätze für den Datenaustausch zwischen Geräten, Haus- und Gebäudeautomatisierungssystemen, Ladestationen für Elektrofahrzeuge, Aggregatoren sowie Verteilernetzbetreibern festgelegt werden.²³⁰

Die derzeitigen Energiemanagementlösungen für Wohngebäude reichen von Anwendungen für die Direct-to-Customer-Energieüberwachung bis hin zu White-Label-Softwareplattformen für Versorgungsunternehmen, die später bei den Endverbrauchern eingeführt werden können.

²²⁶ AMI-Systeme bestehen aus verschiedenen Komponenten. Den Kern bilden intelligente Zähler, die durch Kommunikationsnetze und Datenmanagementsysteme ergänzt werden.

²²⁷ Advanced Metering Infrastructure and Customer Systems, *Results from the Smart Grid Investment Grant Program*, Office of Electricity Delivery and Energy Reliability, U.S. Department of Energy, https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/12/f34/AMI%20Summary%20Report_09-26-16.pdf.

²²⁸ Estland, Spanien, Italien, Finnland und Schweden: 90 %; Dänemark, Frankreich, Luxemburg, Malta, die Niederlande und Slowenien: 70–90 %; Lettland und Portugal: 50–70 %; Griechenland, Österreich und das Vereinigte Königreich: 20–50 % (Vitiello, S., Andreadou, N., Ardelean, M., und Fulli, G., „Smart Metering Roll-Out in Europe: Where Do We Stand? Cost Benefit Analyses in the Clean Energy Package and Research Trends in the European Green Deal“, in: *Energies*, Nr. 15, 2022, S. 2340 <https://doi.org/10.3390/en15072340>).

²²⁹ Beispiele hierfür sind intelligente Thermostate, intelligente Stecker, intelligente Beleuchtung sowie dezentrale Vorrichtungen wie Fotovoltaikanlagen und Elektrofahrzeuge.

²³⁰ [Support on the development of policy proposals for energy smart appliances | JRC Smart Electricity Systems and Interoperability \(europa.eu\)](https://www.jrc.ec.europa.eu/en/publications/supporthelp/development-policy-proposals-energy-smart-appliances-jrc-smart-electricity-systems-and-interoperability)

Neben „traditionellen“ Unternehmen mit langer Erfahrung in den Bereichen Energie und/oder Elektronik²³¹ vertreiben heute auch große Software-Unternehmen wie Google, Apple und Cisco Produkte für Energiemanagementsysteme²³². An dieser Entwicklung zeigt sich die zunehmende Bedeutung des Software-Engineerings bei Geräten des Internets der Dinge (IoT).

Die Nachfrage nach Energiemanagementsystemen für Wohngebäude dürfte in den kommenden Jahren erheblich zunehmen. Der deutsche Markt beispielsweise, der größte nationale Markt für Energiemanagementsysteme für Wohngebäude in der EU, wird bis 2027 voraussichtlich auf fast 460 Mio. USD (544 Mio. EUR²³³) anwachsen, während der französische Markt zwischen 2021 und 2027 eine durchschnittliche jährliche Wachstumsrate (Compound Annual Growth Rate, CAGR) von 20,3 % haben dürfte.²³⁴ Dies spiegelt die globalen Trends wider. Der globale Markt für Energiemanagementsysteme für Wohngebäude wurde 2021 auf 2,1 Mrd. USD (2,5 Mrd. EUR²³⁵) geschätzt und könnte bis 2027 auf 6 Mrd. USD (7 Mrd. EUR²³⁶) wachsen (bei einer CAGR von 16,5 % im Zeitraum 2022–2027).²³⁷ Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist jedoch noch unklar, ob Energiemanagementsysteme für Wohngebäude den Verbrauchern nur dabei helfen werden, ihren Verbrauch und ihren Komfort zu optimieren, oder ob sie auch eine Laststeuerung und Flexibilität in größerem Maßstab ermöglichen werden.

iii) Intelligentes Laden von Elektrofahrzeugen

Das intelligente Laden von Elektrofahrzeugen wird von entscheidender Bedeutung sein, um Synergien zwischen Elektrofahrzeugen, der Erzeugung erneuerbarer Energien und Netzdiensten zu maximieren. Das Tempo der Einführung von Elektrofahrzeugen lässt vermuten, dass Elektrofahrzeuge zwar kurz- bis mittelfristig nicht zu einer Krise bei der Stromnachfrage führen dürften²³⁸, dass sie jedoch die Lastkurve verändern könnten²³⁹. Intelligentes Laden von Elektrofahrzeugen kann sich besonders in Regionen und lokalen Gebieten positiv auswirken, in denen eine hohe Konzentration von Elektrofahrzeugen auf eine nicht sehr robuste Netzinfrastruktur trifft. Intelligente Ladetechniken für Elektrofahrzeuge

²³¹ z. B. Fortum (FI), ENEL X (IT), Bosch (DE), NIBE (SE) und Schneider Electric (FR). Eine ausführliche Übersicht über die Anbieter von Energiemanagementsystemen für Wohngebäude enthält die [Arbeitsunterlage der Kommissionsdienststellen](#) (SWD(2021) 307 final) zum Bericht der Europäischen Kommission über Fortschritte bei der Wettbewerbsfähigkeit sauberer Energie von 2021.

²³² Google Home, „Siri“ von Apple und der Energiemanagementdienst von Cisco sind Beispiele für solche Produkte.

²³³ In diesem Abschnitt wird ein durchschnittlicher Wechselkurs von 1,1827 EUR für 1 USD im Jahr 2021 zugrunde gelegt. https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html.

²³⁴ Delta-EE, <https://www.delta-ee.com/research-services/home-energy-management/>.

²³⁵ In diesem Abschnitt wird ein durchschnittlicher Wechselkurs von 1,1827 EUR für 1 USD im Jahr 2021 zugrunde gelegt. https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html.

²³⁶ In diesem Abschnitt wird ein durchschnittlicher Wechselkurs von 1,1827 EUR für 1 USD im Jahr 2021 zugrunde gelegt. https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html.

²³⁷ IMARC Group: *Home Energy Management System Market Size and Share 2022–2027*, <https://www.imarcgroup.com/home-energy-management-systems-market?msclkid=5440b237b02f11ecae445030f049ab37>.

²³⁸ Simulationen des Verteilernetzes in Deutschland zeigen, dass der Netzausbaubedarf eher gering ist, solange Elektrofahrzeuge nicht einen Anteil von ca. 20 % am gesamten Fahrzeugbestand erreichen (VertgeWall, C.M., et al., *Modelling Of Location And Time Dependent Charging Profiles Of Electric Vehicles Based On Historical User Behaviour*, CIRED 2021 – 26th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, 2021).

²³⁹ McKinsey & Company, McKinsey Center for Future Mobility, *The potential impact of electric vehicles on global energy systems*, 2018.

können potenziell Regelenergieleistungen für das Netz erbringen und Abregelungen von Stromeinspeisungen aus erneuerbaren Energien verringern, sodass auch der Netzausbaubedarf reduziert wird.

Beim intelligenten Laden sind verschiedene preisliche und technische Optionen entscheidend. Man unterscheidet drei Formen: unidirektionales Laden zwischen Fahrzeug und Netz (Vehicle-to-Grid) (V1G), bidirektionales Laden zwischen Fahrzeug und Netz (V2G) und zwischen Fahrzeug und Haushalten (Vehicle-to-Home oder Vehicle-to-Building) (V2H, V2B). Zu den wichtigsten Akteuren auf dem Markt für intelligentes Laden von Elektrofahrzeugen gehören ABB (Schweden/Schweiz), Bosch Automotive Service Solutions Inc. (Deutschland), Schneider Electric (Frankreich), Greenflux und Alfen N.V. (Niederlande), Virta (Finnland), Driivz und Tesla (USA).

Mit einem geschätzten Wert von 1,52 Mrd. USD (1,77 Mrd. EUR²⁴⁰) für 2020 und einer CAGR von 32,42 % zwischen 2021 und 2031 ist der weltweite Markt für intelligentes Laden von Elektrofahrzeugen eindeutig im Aufwind.²⁴¹ Im Gegensatz zu den stärker ausgereiften V1G-Lösungen haben V2G und V2H/V2B jedoch noch nicht die Phase der breiten Markteinführung erreicht, obwohl die Zahl der Pilotanlagen und Demonstrationen wächst.

Bei der Einführung einer intelligenten Ladeinfrastruktur in großem Maßstab wird es zwei Herausforderungen geben: Erstens muss die Standardisierung der Kommunikationsschnittstellen zwischen Ladepunkten, Elektrofahrzeugen und dem Verteilernetz konsolidiert, zweitens die steigende Nachfrage nach Rohstoffen²⁴² gedeckt werden.

Bei AMI-Systemen, Energiemanagementsystemen für Wohngebäude und intelligenten Ladesystemen für Elektrofahrzeuge wird von weiteren Fortschritten ausgegangen. Die Einführung von AMI-Systemen erfolgte langsamer als ursprünglich geplant. Um die Vorteile dieser Systeme voll ausschöpfen zu können, ist eine weitergehende Integration mit Energiemanagementsystemen für Wohngebäude und intelligenten Geräten erforderlich. Die zunehmende Verbreitung intelligenter Geräte dürfte zu einem erheblichen Anstieg der Nachfrage nach Energiemanagementsystemen für Wohngebäude führen. Auch der globale Markt für intelligente Ladesysteme für Elektrofahrzeuge sollte an Fahrt gewinnen, doch bestimmte Herausforderungen müssen noch bewältigt werden.

3.8. Wichtigste Erkenntnisse zu sonstigen Technologien für saubere Energie

Die vorstehenden Abschnitte beziehen sich hauptsächlich auf die im Jahr 2021 analysierten Technologien und Lösungen für saubere Energie.²⁴³ Die sonstigen wichtigsten Lösungen für saubere Energie, die in diesem Abschnitt vorgestellt werden, werden in den begleitenden

²⁴⁰ In diesem Abschnitt wird ein durchschnittlicher Wechselkurs von 1,1827 EUR für 1 USD im Jahr 2021 zugrunde gelegt. https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html.

²⁴¹ Transparency Market Research, *Smart EV Charger Market: 2021–2031*, 2021.

²⁴² Rohstoffe wie Edelstahl, Kupfer, Aluminium, Polycarbonate, Elastomere und thermoplastische Polyurethane werden für die Herstellung kritischer Komponenten von Ladestationen für Elektrofahrzeuge (Gehäuse, Kabel, Stecker, Kabelisolierungen und -ummantelungen sowie flexible Kabelrohre) verwendet. Silizium und Germanium sind wichtige Rohstoffe für die Herstellung elektronischer Schaltkreise und Leiterplatten.

²⁴³ COM(2021) 952 final („Fortschritte bei der Wettbewerbsfähigkeit im Bereich der Technologien für saubere Energie“).

CETO-Berichten²⁴⁴ behandelt. Diese Technologien befinden sich in unterschiedlichen Entwicklungsphasen und entwickeln sich in unterschiedlichen Kontexten. Das bedeutet, dass bezüglich ihrer Wettbewerbsfähigkeit jeweils eigene Herausforderungen und Chancen bestehen.

Wasserkraft²⁴⁵ beispielsweise wurde in der gesamten EU in großem Umfang ausgebaut. Die installierte Leistung belief sich 2021 auf 151 GW, was einem Anstieg um 6 GW gegenüber 2011 und ca. 12 % der Nettostromerzeugung in der EU entspricht. Die 44 GW Pumpspeicherkraft in der EU stellen fast die gesamte Stromspeicherkapazität der EU dar und gewährleisten Flexibilität in Bezug auf das Stromnetz und die Wasserspeicherkapazität. Angesichts einer alternden Flotte gewinnt die nachhaltige Modernisierung bestehender Wasserkraftkapazitäten stetig an Bedeutung und bietet die Möglichkeit, die Wasserkraftanlagen widerstandsfähiger gegen Klima- und Marktveränderungen zu machen. Mit 33 % aller hochwertigen Erfindungen weltweit (2017–2019) ist die EU führend im FuI-Bereich; 28 % aller innovativen Unternehmen sind hier ansässig. In einem weltweit expandierenden Markt stellte sie im Zeitraum 2019–2021 außerdem 50 % aller weltweiten Ausfuhren von Wasserkraft im Wert von 1 Mrd. EUR. Um ihr Potenzial voll auszuschöpfen, muss die EU jedoch die Herausforderungen im Zusammenhang mit der gesellschaftlichen Akzeptanz und den Umweltauswirkungen neuer Anlagen und Speicher bewältigen. Die Folgen des Klimawandels wirken sich in unterschiedlicher Weise auch auf die Wasserkraft in Europa aus, und Wasserkraftspeicher können dazu beitragen, einige dieser Folgen abzumildern. Es ist von entscheidender Bedeutung, die über die Energieerzeugung hinausgehenden zusätzlichen Vorteile von Mehrzweckspeichern für Wasserkraft anzuerkennen und Anreize für nachhaltigere (d. h. weniger belastende) Wasserkrafttechnologien und -maßnahmen zu schaffen.

Die Nutzung der **Meeresenergie**²⁴⁶ liegt derzeit immer mehr im Trend. Langfristig könnte die Meeresenergie angesichts des Ressourcenpotenzials bis zu 10 % des Energiebedarfs der EU stellen. In der EU-Strategie für erneuerbare Offshore-Energie²⁴⁷ von 2020 werden spezifische Ziele für die Meeresenergieleistung vorgeschlagen, wobei das langfristige Ziel von mindestens 40 GW bis 2050 formuliert wird. EU-Unternehmen sind im Meeresenergiesektor führend, und die meisten Unternehmen sind in EU-Ländern ansässig. Bezogen auf die installierte Leistung nimmt die Nutzung innerhalb und außerhalb der EU zu. Bei einzelnen Kraftwerken finden schon seit längerer Zeit Einspeisungen ins Stromnetz statt.²⁴⁸ Sollen jedoch Wellen- und Gezeitenenergietechnologien auf dem Strommarkt so etabliert werden, dass sie mit anderen erneuerbaren Energiequellen wettbewerbsfähig sind, bedarf es weiterer Kostensenkungen und einer Gewährleistung der Nachhaltigkeit. Um eine breite Nutzung dieser Energiearten zu

²⁴⁴ https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto_en

²⁴⁵ Quaranta, E., et al., Beobachtungsstelle für saubere Energietechnologie (CETO), *Hydropower and Pumped Hydropower Storage in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Europäische Kommission, 2022, JRC130587.

²⁴⁶ Dazu gehören Wellenenergie, Gezeitenenergie, Salzgradientenkraft und die Umwandlung von Meereswärme.

²⁴⁷ COM(2020) 741 final („Eine EU-Strategie zur Nutzung des Potenzials der erneuerbaren Offshore-Energie für eine klimaneutrale Zukunft“).

²⁴⁸ Das Gezeitenkraftwerk MeyGen 1A (Vereinigtes Königreich) ist seit April 2018 in Betrieb, das Wellenkraftwerk von Mutriku (ES) seit Juli 2011 und das Gezeitenkraftwerk auf den Shetland-Inseln seit 2016.

ermöglichen, sind auch zusätzliche Finanzmittel für ihre Erprobung und Markteinführung erforderlich.

Geothermische Energie²⁴⁹ hat sowohl in Bezug auf Kraftwerke als auch in Bezug auf Fernwärme und Fernkälte ein Wachstum erfahren, das jedoch im Vergleich zu anderen Technologien für saubere Energie eher langsam war. 2021 wurden in Deutschland zwei weitere Geothermiekraftwerke mit einer Leistung von 1 MWe bzw. 5 MWe in Betrieb genommen²⁵⁰, wodurch sich die Gesamtleistung der EU auf 0,877 GWe erhöht hat; die weltweit installierte Gesamtleistung lag bei rund 14,4 GWe. Im Jahr 2021 wurde in der EU bei der Geothermie für Fernwärme- und Fernkältenetze eine installierte Leistung von 2,2 GWth erreicht, mit über 262 Systemen. Das stärkste Wachstum ist in Frankreich, den Niederlanden und Polen zu verzeichnen. Im Bereich der verbesserten geothermischen Systeme (Enhanced Geothermal Systems, EGS) gibt es noch immer größere Herausforderungen, sodass weitere Forschungs- und Innovationsarbeit erforderlich ist. Die Verringerung des Risikos für Investitionen in Geothermieprojekte ist entscheidend für die Erschließung des enormen Potenzials der geothermischen Energie. In der EU sind die größten Probleme die Kosteneffizienz und die Umweltverträglichkeit.

Konzentrierte Solarenergie und -wärme²⁵¹ (Concentrated Solar Power, CSP) kann an Standorten mit hoher direkter Sonneneinstrahlung einen wesentlichen Beitrag zur Stromerzeugung leisten, doch bisher wird nur ein Bruchteil dieses Potenzials genutzt. Im Jahr 2021 belief sich die installierte Leistung weltweit auf rund 6,5 GW, wovon 2,4 GW in der EU installiert waren. Es gibt auch einen großen EU-Markt für industrielle Prozesswärme, die zum Teil in Systemen für konzentrierte Solarwärme genutzt werden kann. Die Erschließung dieses Potenzials für Strom und Prozesswärme mithilfe von finanziellen und anderen Unterstützungsmaßnahmen würde der EU im internationalen Wettbewerb eine Besserstellung ermöglichen. Dies ist besonders deshalb von Bedeutung, weil chinesische Organisationen inzwischen immer häufiger zu internationalen Projektentwicklern im CSP-Bereich werden, einem Bereich, in dem traditionell EU-Unternehmen führend waren. Bei CSP sind erhebliche Fortschritte erzielt worden, was Kostensenkungen und die Etablierung als zuverlässige Option angeht. Europäische Unternehmen spielen eine führende Rolle in der Forschung und der technologischen Entwicklung. Wie im Plan für die Umsetzung von CSP innerhalb des Strategieplans für Energietechnologie (SET-Plan)²⁵² dargelegt ist, sind EU-Forschende führend bei wissenschaftlichen Veröffentlichungen und hochwertigen Patenten, die Effizienzsteigerungen und Kostensenkungen betreffen. Forschung und Innovation werden hierfür eine zentrale Rolle spielen, und wie in der neuen EU-Strategie für Solarenergie angekündigt, wird auf EU-Ebene weiterhin konkrete Unterstützung geleistet.

²⁴⁹ Bruhn, D., et al., Beobachtungsstelle für saubere Energietechnologie (CETO), *Deep Geothermal Energy in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Europäische Kommission, 2022, JRC130585.

²⁵⁰ European Geothermal Energy Council, *2021 EGEN Geothermal Market Report*.

²⁵¹ Taylor, N., et al., Beobachtungsstelle für saubere Energietechnologie (CETO), *Concentrated Solar Power and Heat in the European Union - 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Europäische Kommission, 2022, doi: 10.2760/080204, JRC130811.

²⁵² https://setis.ec.europa.eu/implementing-actions/csp-ste_en

Die Fortschritte bei der **CO₂-Abscheidung, -Nutzung und -Speicherung** (Carbon Capture Utilisation and Storage, CCUS) konnten in den letzten Jahren beschleunigt werden, doch nach wie vor sind in der EU nur wenige Anlagen in Betrieb. Frankreich, Deutschland und die Niederlande sind bei öffentlichen und privaten FuI-Investitionen und bei den Patenten führend. Für die Weiterentwicklung der CCUS-Technologie bestehen nach wie vor Hindernisse, vor allem in Bezug auf die Umsetzung der Rechtsvorschriften²⁵³, auf wirtschaftliche Aspekte, Risiken und Unsicherheiten sowie auf die öffentliche Akzeptanz. Elf groß angelegte CCS- und CCU-Vorhaben wurden für eine EU-Finanzierung aus dem Innovationsfonds ausgewählt.

Bioenergie²⁵⁴ macht derzeit nahezu 60 %²⁵⁵ der Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen in der EU aus. Bioenergie ist nach wie vor wichtig für den Wandel in den Energiesektoren mehrerer Mitgliedstaaten, da sie zur Dekarbonisierung der Wirtschaft beiträgt und gleichzeitig die Energieversorgungssicherheit und -diversifizierung erhöht. Der prognostizierte Anstieg von Biomasse bedeutet für die EU, dass sichergestellt werden muss, dass Bioenergie nachhaltig erzeugt und genutzt wird und negative Auswirkungen auf die biologische Vielfalt und Kohlenstoffsenken und -bestände vermieden werden. Der Vorschlag zur Überarbeitung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie enthält strengere Nachhaltigkeitskriterien für Bioenergie und sieht vor, dass die Mitgliedstaaten in ihren Förderregelungen das Prinzip der Kaskadennutzung anwenden müssen. Nachhaltig erzeugtes Biomethan, vor allem wenn es aus organischen Abfällen und Reststoffen erzeugt wird, kann zu dem im REPowerEU-Plan formulierten Ziel beitragen, die Abhängigkeit der EU von eingeführten fossilen Brennstoffen zu verringern. Die Verpflichtung zur getrennten Sammlung organischer Abfälle bis 2024 stellt eine große Chance für die nachhaltige Biogaserzeugung der nächsten Jahre dar. Bioenergie ermöglicht eine flexible Stromerzeugung und kann deshalb für einen Ausgleich im Stromnetz sorgen; sie ist demnach von zentraler Bedeutung, wenn hohe Anteile fluktuierender erneuerbarer Energien wie Wind- und Solarenergie in die Stromnetze eingespeist werden sollen.

Kernenergie erzeugt mit 103 Leistungsreaktoren (101 GWe) in der EU 2022 etwa ein Viertel des Stroms der EU. Ihr Anteil am CO₂-armen Strom liegt EU-weit bei ca. 40 %.²⁵⁶ Neben erneuerbaren Energien ist auch die Kernenergie Teil des langfristigen strategischen Plans der EU für eine klimaneutrale Wirtschaft bis 2050. Im REPowerEU-Plan wird ferner auf die Rolle verwiesen, die aus Kernkraft erzeugter Wasserstoff als fossilfreier Wasserstoff hat, wenn es um den Ersatz von Erdgas geht. Der potenzielle Beitrag der Kernenergie zum künftigen CO₂-armen Energiemix hängt von Forschung und Innovation ab, um immer sicherere und sauberere Nukleartechnologien (sowohl konventionelle als auch fortschrittliche) zu ermöglichen. Mehrere Versorgungsunternehmen und Forschungseinrichtungen aus mindestens sieben EU-Mitgliedstaaten haben Interesse an neuartigen kleineren, modularen Kernreaktoren (Small Modular Reactors, SMR)²⁵⁷ gezeigt, die sie mit der dekarbonisierten Stromerzeugung und der Erzeugung nichtelektrischer Energie wie Prozess- und Fernwärme sowie der Wasserstoffherzeugung verknüpfen. Interessierte industrielle und staatliche Akteure in der EU

²⁵³ Beispielsweise die Ratifizierung des Londoner Protokolls.

²⁵⁴ Motola, V., et al., Beobachtungsstelle für saubere Energietechnologie (CETO): *Bioenergy in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Europäische Kommission, 2022, JRC130730.

²⁵⁵ Darin enthalten sind Biokraftstoffe mit einem Anteil von ca. 7 %.

²⁵⁶ World Nuclear Association, *Nuclear Power in the European Union*, Tabelle „EU nuclear power“, abgerufen am 14. Oktober 2022.

²⁵⁷ Europäische Kommission, *Small Modular Reactors and Medical Applications of Nuclear technologies*, Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, Luxemburg, 2022.

treiben einen Prozess voran, der zu einem europäischen Industriemodell für die Einführung von SMR in den frühen 2030er-Jahren führen soll.

4. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die rasche Entwicklung und Einführung von Technologien für saubere Energie in der EU, die in der EU selbst ihren Ursprung hat, ist für eine kosteneffiziente, klimafreundliche und sozial gerechte Reaktion auf die derzeitige Energiekrise von entscheidender Bedeutung.

Als Reaktion auf die beispiellos hohen Energiepreise hat die EU prompt eine Reihe von Maßnahmen auf den Weg gebracht, die **Verbraucher und Unternehmen schützen** sollen, einschließlich schutzbedürftiger Haushalte und Akteure in der Branche der Technologien für saubere Energie, die aber gleichzeitig die Verwirklichung der Klima- und Energieziele für 2030 und 2050 sicherstellen sollen.

Parallel dazu sollte die EU ihre Bemühungen fortsetzen, **ihre Rohstoffabhängigkeit zu verringern und ihre Rohstoffbeschaffung wirksam zu diversifizieren**, da die steigenden Preise die Wettbewerbsfähigkeit von Technologien für saubere Energie stark beeinträchtigen. Das angekündigte Europäische Gesetz über kritische Rohstoffe ²⁵⁸ zielt darauf ab, zur Verwirklichung dieser Ziele beizutragen. Die EU muss auch **die internationale Zusammenarbeit vertiefen und den Fachkräftemangel überwinden**, der in verschiedenen Segmenten der Technologien für saubere Energie herrscht, gleichzeitig aber auch für ein ausgewogenes Geschlechterverhältnis und gleiche Rahmenbedingungen sorgen. Der Vorschlag, 2023 zum Europäischen Jahr der Kompetenzen zu erklären, ist ein Schritt zur Steigerung der Zahl qualifizierter Arbeitskräfte.

Mehr öffentliche und private Investitionen in Forschung und Innovation im Bereich saubere Energie, Ausbau und Erschwinglichkeit sind von ausschlaggebender Bedeutung. Den rechtlichen und finanziellen Rahmenbedingungen der EU kommt dabei eine entscheidende Rolle zu. Neben der Umsetzung der neuen Europäischen Innovationsagenda sind EU-Finanzierungsprogramme, eine **verstärkte Zusammenarbeit** zwischen den Mitgliedstaaten und eine kontinuierliche **Überwachung der nationalen FuI-Tätigkeiten** von entscheidender Bedeutung, um in der EU ein wirkungsvolles FuI-Ökosystem zu entwickeln und die Kluft zwischen Forschung und Innovation einerseits und Marktakzeptanz andererseits zu schließen und auf diese Weise die Wettbewerbsfähigkeit der EU zu stärken.

Dieser Bericht bestätigt²⁵⁹, dass die **EU ihre führende Position im Bereich der Forschung zu sauberer Energie aufrechterhalten hat** und dass die FuI-Investitionen kontinuierlich zunehmen (wenngleich auf dem vor der Finanzkrise verzeichneten Niveau). Die EU hat weltweit eine Spitzenposition bei „grünen“ Investitionen und hochwertigen Patenten inne und ist weltweit führend bei Patentanmeldungen in den Bereichen Klima und Umwelt (23 %) sowie Energie (22 %) und Verkehr (28 %). Der weltweite Anteil der EU bei wissenschaftlichen Publikationen ist zurückgegangen, aber Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der EU engagieren sich in weit überdurchschnittlichem Maß in der internationalen Zusammenarbeit

²⁵⁸ Gemäß der Ankündigung der Präsidentin der Europäischen Kommission in ihrer Rede zur Lage der Union am 14. September 2022. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/SPEECH_22_5493.

²⁵⁹ Wie in der vorherigen Ausgabe: COM(2021) 952 final und SWD(2021) 307 final („Fortschritte bei der Wettbewerbsfähigkeit im Bereich der Technologien für saubere Energie“).

und bei internationalen Veröffentlichungen im Bereich der sauberen Energie. Darüber hinaus weist die EU ein höheres Ausmaß an öffentlich-privater Zusammenarbeit auf.

Umsatz und Bruttowertschöpfung im EU-Sektor der erneuerbaren Energien sind seit 2019 gestiegen, und bei der Produktion der meisten Technologien und Lösungen für saubere Energie in der EU war 2021 der gleiche Trend zu verzeichnen. Obwohl die EU bei einer Reihe von Technologien wie etwa bei der Windenergie eine positive Handelsbilanz beibehalten hat, ist ihr Handelsdefizit bei anderen Technologien größer geworden, z. B. bei Wärmepumpen, Biokraftstoffen und Fotovoltaikanlagen. Diese allgemeine Entwicklung ist zum Teil auf die in der EU steigende Nachfrage nach solchen Technologien zurückzuführen.

In Bezug auf bestimmte Technologien für saubere Energie zeigt der Bericht, dass der Bereich der **Windenergie** der EU 2022 nach wie vor weltweit führend bei FuI und hochwertigen Patenten ist und eine positive Handelsbilanz aufweist. Nach wie vor herrscht jedoch ein harter Wettbewerb, und die Windenergiebranche wird die derzeit ungünstigen Rahmenbedingungen überwinden müssen, die u. a. durch die weltweit steigende Nachfrage nach Seltenerdmetallen und durch Lieferkettenunterbrechungen bedingt sind. Der Sektor muss seine derzeitige jährliche Installationskapazität verdoppeln, um die Ziele des REPowerEU-Plans zu erreichen. Die EU hat 2022 auch ihre Position als einer der größten Märkte für **Fotovoltaik** sowie als starker Innovator, insbesondere bei neu entstehenden Fotovoltaiktechnologien, behauptet. Im Hinblick auf die Wertschöpfungskette liegt die EU immer noch hinter Asien zurück, da sie von mehreren wichtigen Komponenten stark abhängig ist. Innovative Lösungen und kontinuierliche technologische Fortschritte bieten zusätzliche Chancen für einen Ausbau der sauberen Energie in der EU.

Die EU steht bei verschiedenen Technologien an einem Wendepunkt. Um diese Technologien in vollem Umfang zu nutzen, müssen noch einige Herausforderungen bewältigt werden. Der **Wärmepumpensektor** wird sein bereits schnelles Wachstum noch beschleunigen und die Erschwinglichkeit der Systeme (insbesondere für Haushalte mit niedrigem Einkommen und KMU) sicherstellen müssen, und die EU-Lieferanten müssen ihre Produktion hochfahren, um ihren Marktanteil im Vergleich zu Drittländern zu halten. Was die **Batterieproduktion** anbelangt, hat die EU gute Aussichten, bis 2030 fast autark zu sein, doch der Mangel an heimischen Rohstoffen und an Kapazitäten für die Herstellung fortschrittlicher Werkstoffe stellt nach wie vor Probleme dar. Weitere Aufmerksamkeit ist erforderlich, um die Recyclingkapazitäten zu erhöhen und technologische Kapazitäten für eine kostengünstigere Speicherung/Langzeitspeicherung zu schaffen. Was die **Wasserstofferzeugung durch Elektrolyse** betrifft, so profitiert die EU von ihrem starken umfassenden Ansatz zur Ankurbelung von Angebot und Nachfrage. Die Position der EU in der Wertschöpfungskette ist uneinheitlich (z. B. führt sie bei der Festoxidelektrolyse, ist im Bereich der alkalischen Technologie jedoch nicht konkurrenzfähig). Zu den größten Herausforderungen gehören der Anstieg der Strompreise und die Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen. Die EU ist der klare Marktführer bei betriebsbereiten gewerblichen Anlagen für **erneuerbare Kraftstoffe** und bei hochwertigen Innovationen. Auch wenn die installierte und geplante Leistung für 2030 begrenzt ist, können erneuerbare Kraftstoffe zu allen Emissionseinsparzielen des Pakets „Fit für 55“ beitragen, wenn bestimmte technische und wirtschaftliche Risiken bewältigt werden. Innovationen in der **digitalen Energieinfrastruktur der EU** werden ausschlaggebend dafür sein, sicherzustellen, dass das Stromnetz geeignet für das künftige Energiesystem ist. Die Nachfrage nach Energiemanagementsystemen für Wohngebäude und intelligenten

Elektrofahrzeugen steigt und wird voraussichtlich noch zunehmen, und auch die Einführung eines intelligenten Verbrauchserfassungssystems schreitet in der EU voran (wenn auch langsamer als geplant).

Insgesamt sind trotz der vielversprechenden positiven Trends im Innovationsökosystem der EU weitere Anstrengungen erforderlich, um strukturelle Hindernisse und gesellschaftliche Herausforderungen anzugehen, die EU-basierte Start-up- und Scale-up-Unternehmen mehr als in anderen großen Volkswirtschaften behindern. Um ihr Potenzial auszuschöpfen und dadurch eine weltweite Führungsrolle in den Bereichen Climate Tech und Deep Tech einnehmen zu können, muss die EU ihre vielfältigen Talente, ihr intellektuelles Kapital und ihre industriellen Fähigkeiten nutzen und private Investoren dazu bewegen, sich aktiver an der Finanzierung von Start-up-Unternehmen in den Bereichen Climate Tech und Deep Tech zu beteiligen.

Die Europäische Kommission wird die Fortschritte im Bereich saubere Energie weiterhin überwachen und ihre Methodik und Datenerfassung in Zusammenarbeit mit den Mitgliedstaaten und den Interessenträgern weiterentwickeln. In diesem Zusammenhang wird die Kommission ihre evidenzbasierte Methodik für künftige Ausgaben des Berichts über die Fortschritte bei der Wettbewerbsfähigkeit aktualisieren. Dieser wird in politische Entscheidungen einfließen und dazu beitragen, dass die EU bis 2050 wettbewerbsfähig, ressourceneffizient, widerstandsfähig, unabhängig und klimaneutral ist.

ANHANG I: METHODISCHER RAHMEN FÜR DIE BEWERTUNG DER WETTBEWERBSFÄHIGKEIT DER EU²⁶⁰

Teil 1: Allgemeine Wettbewerbsfähigkeit des Bereichs saubere Energie in der EU	Teil 2: Technologien und Lösungen für saubere Energie		
Makroökonomische Analyse (aggregiert, nach Mitgliedstaat und Art der Technologie für saubere Energie)	1. Analyse der Technologien – Aktuelle Lage und Ausblick	2. Analyse der Wertschöpfungskette der Energietechnologiebranche	3. Globale Marktanalyse
<p style="text-align: center;">Aktuelle Entwicklungen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Energiepreise und -kosten: aktuelle Trends - Herausforderungen in Bezug auf Nachhaltigkeit und Kreislauffähigkeit der Technologien für saubere Energie; Abhängigkeit des EU-Bereichs saubere Energie von (kritischen) Rohstoffen und Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit der EU. - Auswirkungen der COVID-19-Krise und Wiederaufbau - Humankapital und Kompetenzen 	<p>Installierte Leistung, Erzeugung/Produktion (heute und 2050)</p>	<p>Jahresumsatz</p>	<p>Handel (Importe, Exporte)</p>
<p style="text-align: center;">Trends in Forschung und Innovation</p> <ul style="list-style-type: none"> - öffentliche und private FuI-Investitionen - Patentierung und hochwertige Patente – EU und je Mitgliedstaat 	<p>Kosten/Stromgestehungskosten (LCoE)²⁶¹ (heute und 2050)</p>	<p>Bruttowertschöpfung Jährliche Veränderung in %</p>	<p>Marktführer weltweit gegenüber Marktführern der EU (Marktanteil)</p>
<p>Die globale Wettbewerbslandschaft für saubere Energie</p>	<p>Öffentliche FuI-Finanzierung (Mitgliedstaaten und EU)</p>	<p>Zahl der Unternehmen in der Lieferkette, einschl. Marktführer in der EU</p>	<p>Ressourceneffizienz und -abhängigkeit²⁶²</p>
<p>Die Förderlandschaft für Innovation in der EU (vs. große Volkswirtschaften)</p>	<p>Private Finanzierung von Forschung und Innovation</p>	<p>Beschäftigung im Segment der Wertschöpfungskette</p>	
<p>Die Rolle des systemischen Wandels im Bereich saubere Energie (z. B. Digitalisierung, Gebäude, Energiegemeinschaften und subnationale Zusammenarbeit)</p>	<p>Patentierungstrends (einschl. hochwertiger Patente)</p>	<p>Energieintensität/Arbeitsproduktivität</p>	

²⁶⁰ Der Bewertung wurde in enger Zusammenarbeit mit der Beobachtungsstelle für Technologien für saubere Energie (Clean Energy Technology Observatory) der Europäischen Kommission vorgenommen: Die Einzelheiten zu Teil 1 sind zu finden in: Georgakaki, A., et al., Beobachtungsstelle für saubere Energietechnologie, *Overall Strategic Analysis of Clean Energy Technology in the European Union – 2022 Status Report*, Europäische Kommission, 2022, JRC131001. Die einzelnen Technologieberichte zu Teil 2 sind verfügbar unter https://setis.ec.europa.eu/publications/clean-energy-technology-observatory-ceto_en.

²⁶¹ Und – sofern verfügbar – Levelised Cost of Storage (LCoS).

²⁶² Segmente der Wertschöpfungskette, die von kritischen Rohstoffen abhängig sind.

	Niveau der wissenschaftlichen Veröffentlichungen	Gemeinschaftsproduktion Jährliche Produktionswerte	
--	---	--	--