



Brüssel, den 27. Februar 2025  
(OR. en)

6600/25

ENER 39  
COMPET 95

### ÜBERMITTLUNGSVERMERK

---

Absender:	Frau Martine DEPREZ, Direktorin, im Auftrag der Generalsekretärin der Europäischen Kommission
Eingangsdatum:	26. Februar 2025
Empfänger:	Frau Thérèse BLANCHET, Generalsekretärin des Rates der Europäischen Union

---

Nr. Komm.dok.:	COM(2025) 74 final
Betr.:	BERICHT DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DEN RAT Fortschritte bei der Wettbewerbsfähigkeit im Bereich der Technologien für saubere Energie

---

Die Delegationen erhalten in der Anlage das Dokument COM(2025) 74 final.

Anl.: COM(2025) 74 final



Brüssel, den 26.2.2025  
COM(2025) 74 final

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

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

# BERICHT ÜBER DIE FORTSCHRITTE BEI DER WETTBEWERBSFÄHIGKEIT IM BEREICH DER TECHNOLOGIEN FÜR SAUBERE ENERGIE 2025

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>2</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>6</b>
<b>2. Bewertung der Wettbewerbsfähigkeit im gesamten Bereich saubere Energie in der EU</b> .....	<b>8</b>
2.1. Der globale wirtschaftliche Kontext und die Wettbewerbsfähigkeit des Netto-Null-Technologiesektors der EU	8
2.1.1. Entwicklung der Energiepreise und -kosten	8
2.1.2. Unterstützung für Netto-Null-Technologien auf den Weltmärkten	11
2.2. Wertschöpfungsketten für Netto-Null-Technologien in der EU: Chancen und Herausforderungen für eine saubere Industrie	14
2.2.1. Fertigungslieferketten	14
2.2.2. Dekarbonisierung energieintensiver Wirtschaftszweige	16
2.2.3. Humankapital und Kompetenzen	18
2.3. Die Innovationslandschaft im Bereich saubere Energie	19
2.3.1. Trends im Bereich FuI	19
2.3.2. Trends im Bereich Risikokapitalinvestitionen	24
<b>3. Bewertung der Wettbewerbsfähigkeit der EU im Bereich der Netto-Null-Technologien</b> ....	<b>26</b>
3.1. Photovoltaik	26
3.2. Solarthermie	28
3.3. Onshore- und Offshore-Windkraft	29
3.4. Meeresenergie	31
3.5. Batterien und Energiespeicherung	32
3.6. Wärmepumpen-Technologien	33
3.7. Geothermische Energie	35
3.8. Wasserstofftechnologien: Elektrolyseure und Brennstoffzellen	36
3.9. Nachhaltige Biogas- und Biomethantechnologien	38
3.10. CO <sub>2</sub> -Abscheidung und Speicherung (CCS)	39
3.11. Stromnetztechnologien: Stromleitungen und Transformatoren	41
3.12. Technologien für Kernspaltungsenergie	42
3.13. Wasserkraft	44
3.14. Nachhaltige alternative Kraftstoffe	45
3.15. Technologien zur Rückgewinnung von Überschusswärme aus der Industrie	46
<b>4. Schlussfolgerungen</b> .....	<b>48</b>

## ZUSAMMENFASSUNG

Der **Bericht über die Fortschritte bei der Wettbewerbsfähigkeit im Bereich der Technologien für saubere Energie 2025** enthält eine Momentaufnahme der Trends und Herausforderungen im Zusammenhang mit Netto-Null-Technologien und ihrer Fertigung in der EU. Er umfasst zunächst einen **horizontalen Teil über die Wettbewerbsfähigkeit im Bereich saubere Energie in der EU**, auf den eine **sektorale Analyse für 15 Technologien** folgt. Der Bericht baut auf dem Draghi-Bericht und dem Kompass für Wettbewerbsfähigkeit auf und soll als Überwachungsbericht im Rahmen der Netto-Null-Industrie-Verordnung zu deren Umsetzung beitragen. Der Bericht, der zusammen mit dem Deal für eine saubere Industrie und dem Aktionsplan für erschwingliche Energie angenommen wurde, unterstützt die beiden Initiativen, indem er Aufschluss darüber gibt, welcher Technologien es bedarf, um die EU-Industrie zu dekarbonisieren und gleichzeitig ihre Wettbewerbsfähigkeit zu stärken und die Energiekosten zu senken.

### *Wettbewerbsfähigkeit des Bereichs saubere Energie in der EU*

Dank der niedrigen Betriebskosten sind **Technologien für saubere Energie in der EU nach wie vor in hohem Maße wettbewerbsfähig**. Im Jahr 2024 erreichte die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen in der EU mit 48 % einen neuen historischen Höchststand (gegenüber 45 % im Jahr 2023 und 41 % im Jahr 2022).

**Zwar nimmt das Tempo der Einführung von Technologien für saubere Energie dynamisch zu, doch sieht sich die Netto-Null-Industrie der EU einem schwierigen Geschäftsumfeld und einem harten Wettbewerb gegenüber**. Wie im Draghi-Bericht hervorgehoben wird, muss die EU als Innovationsführerin im Bereich der sauberen Technologien die wirtschaftlichen Chancen nutzen, die der weltweite Einsatz dieser Technologien bietet. Gleichzeitig wirken sich die Industriepolitiken und die sich abzeichnenden Einfuhrbeschränkungen, wie in den USA und China, zunehmend auf die Rahmenbedingungen für Unternehmen, die Handelsbeziehungen und die Investitionsentscheidungen aus.

**Die EU verfügt über eine diversifizierte Fertigungsindustrie im Bereich der Netto-Null-Technologien, hat jedoch Schwierigkeiten, ihre Marktanteile weltweit zu behaupten**, da China mittlerweile die Produktion in Schlüsselsektoren dominiert. Bei allen Netto-Null-Technologien bestehen nach wie vor Abhängigkeiten von bestimmten technologischen Komponenten oder wichtigen Rohstoffen in der Lieferkette der EU, was die allgemeine wirtschaftliche Widerstandsfähigkeit und die strategische Autonomie der EU vor Herausforderungen stellt. Diese Herausforderungen sind verflochten mit Herausforderungen, mit denen energieintensive Wirtschaftszweige der EU konfrontiert sind, die Metalle und chemische Produkte an Hersteller von Netto-Null-Technologien liefern.

**Im Bereich der Technologien für saubere Energie werden hochwertige Arbeitsplätze geschaffen, doch bestehen nach wie vor Herausforderungen, etwa im Hinblick auf die Verfügbarkeit von Fachkräften und die alternde Erwerbsbevölkerung**. Die Beschäftigung nahm 2023 weiter zu; die Zahl der Arbeitsplätze im Bereich der erneuerbaren Energien in der EU belief sich auf 1,8 Millionen. Bei der Betrachtung des Bereichs saubere Energie im weiteren Sinne, machen die Arbeitsplätze im Bereich der Fertigung von Netto-Null-Technologien etwa ein Drittel aus, was die soziale und wirtschaftliche Bedeutung dieser Wertschöpfungsketten bestätigt.

**Die EU ist in der Forschung im Bereich der Technologien für saubere Energienach wie vor gut aufgestellt, aber angesichts des starken globalen Wettbewerbs wurde ihr**

**Wettbewerbsvorteil im Bereich der Innovation in den letzten Jahren aufgezehrt.** Die jüngsten Daten deuten darauf hin, dass die Hälfte der Bericht erstattenden Mitgliedstaaten ihre Ausgaben für Forschung und Innovation (FuI) im Bereich Energietechnologien im Jahr 2023 erhöht hat. Sollte sich diese Teilberichterstattung als repräsentativ erweisen, ergäbe sich eine Erhöhung der Unterstützung für die FuI-Prioritäten der Energieunion um 9 %. Insgesamt ist die EU bei den öffentlichen Ausgaben für FuI im Bereich der Technologien für saubere Energie weltweit führend. Die privaten FuI-Investitionen, durch die in großen Volkswirtschaften nach wie vor mehr als drei Viertel der Mittel für FuI im Bereich der Technologien für saubere Energie bereitgestellt werden, sind jedoch in den großen asiatischen Volkswirtschaften weiterhin deutlich höher. Wie im Draghi-Bericht hervorgehoben und im Kompass für Wettbewerbsfähigkeit anerkannt wurde, sind weitere Anstrengungen erforderlich, um sicherzustellen, dass die EU bei Forschung und Innovation im Bereich saubere Technologien weiterhin führend bleibt und ihre glanzlose Leistung bei der Markteinführung dieser Innovationen verbessert.

**Der Zugang zu Risikokapital ist nach wie vor eine zentrale Herausforderung für die Gründung und die Weiterentwicklung von EU-Unternehmen im Bereich der Technologien für saubere Energie.** Für das Jahr 2024 deuten erste Daten darauf hin, dass ein schwieriges makroökonomisches Umfeld zu dem erheblichen Rückgang der Risikokapitalinvestitionen in Technologien für saubere Energie um 34 % gegenüber 2023 in der EU beigetragen hat. Dieser Rückgang ist auf eine geringere Risikokapitalaktivität und eine geringere Zahl von Großinvestitionen verglichen mit dem Jahr 2023 zurückzuführen, in dem es zu Großabschlüssen im Bereich der Anlagen zur Batterieherstellung und zur wasserstoffbasierten Stahlproduktion kam. Diese Abschlüsse trugen maßgeblich dazu bei, dass die Risikokapitalinvestitionen der EU in diesem Bereich im Jahr 2023 auf 9,2 Mrd. EUR gestiegen sind (+ 20 % gegenüber 2022). Gleichzeitig deuten vorläufige Daten darauf hin, dass der Anteil der EU an den weltweiten Risikokapitalinvestitionen in Technologien für saubere Energie im Jahr 2024 relativ stabil geblieben ist. Im Jahr 2023 belegte die EU mit einem Anteil von 28 % zwischen den USA (30 %) und China (24 %) weltweit den zweiten Platz.

### ***Wettbewerbsfähigkeit der EU bei Netto-Null-Technologien***

**Im Jahr 2024 rangierte die EU bei der neu installierten Photovoltaik-Leistung nach China an zweiter Stelle.** Die EU-Hersteller sind in einem äußerst schwierigen Umfeld tätig und haben Schwierigkeiten, dem Wettbewerb auf dem globalen Markt standzuhalten. Die EU ist in hohem Maße von Einfuhren im Bereich Photovoltaik aus China abhängig, wo mehr als 90 % der weltweiten Produktionsanlagen angesiedelt sind. Gleichzeitig spielt die EU bei Forschung und Innovation für bestimmte Photovoltaik-Anwendungen nach wie vor eine wichtige Rolle.

**Die EU verfügt weiterhin über eine starke Fertigungskapazität für thermische Solartechnologien.** Die Solarthermie ist eine ausgereifte Technologie, stand aber 2023/2024 weiterhin vor Herausforderungen, um mit anderen Lösungen im Bereich erneuerbarer Energiequellen Schritt zu halten. Während der Markt für thermische Solarenergie im Jahr 2023 schrumpfte, wies das Segment der industriellen Prozesswärme eine vielversprechende Entwicklung auf und wuchs weltweit im Vergleich zum Vorjahr um das Dreifache.

**Die EU ist im Bereich der Windkrafttechnologie nach wie vor in hohem Maße wettbewerbsfähig. Die Akteure in der EU stehen jedoch zunehmend unter Druck,** zumal chinesische Unternehmen zunehmend wettbewerbsfähige Produkte zu niedrigeren Preisen anbieten. Im Jahr 2024 entfielen auf die EU fast 13 % der weltweiten Fertigungskapazität für Rotorblätter und Maschinenhäuser sowie rund 22 % der Fertigungskapazität für Türme. EU-

Unternehmen hatten 2023 einen Marktanteil von fast 90 % am europäischen Markt. Der Marktanteil am Weltmarkt belief sich auf 23 %, was einem Rückgang um rund 7 % gegenüber 2022 entspricht.

**Im Jahr 2024 waren Finanzmittel in nie da gewesenem Umfang und ein beispielloses Interesse an Meeresenergie-Technologien zu verzeichnen. Error! Bookmark not defined.** 2024 wurden in Europa neue Meeresenergie-Kapazitäten in Höhe von rund 1 230 kW installiert. Im Bereich der hochwertigen Erfindungen in diesem Sektor nimmt China jedoch die führende Stellung vor der EU ein. Weitere Maßnahmen sind erforderlich, um die Rentabilität der Meeresenergie zu verbessern und innovative Meeresenergie-Technologien auf den Markt zu bringen.

**Die Batteriehersteller in der EU haben bei ihren Bemühungen um eine Steigerung der Fertigungskapazität und der Marktanteile mit starkem Gegenwind zu kämpfen.** Auf China, das bei der Batterietechnologie führend ist, entfielen im Jahr 2024 mehr als 85 % der weltweit in Betrieb genommenen Fertigungskapazität, gefolgt von der EU mit etwa 7 % und den USA mit rund 5 %. Die Hersteller in der EU sind bei Kathoden und Anoden in hohem Maße von China abhängig. Wenn die angekündigten Projekte verwirklicht werden, scheint die EU auf gutem Weg, ihre Produktionsziele für 2030 mit einem Anteil von 10 % (1 510 Gwh) an den für 2030 prognostizierten weltweiten operativen Batterieproduktionskapazitäten zu erreichen. Beobachter rechnen mit einem Überangebot an Batteriezellen in den kommenden Jahren, was wahrscheinlich zu einem harten globalen Wettbewerb führen wird.

**Die Wärmepumpenhersteller in der EU sind weltweit führend bei hochwertigen innovativen Lösungen für Haushalte sowie bei industriellen Wärmepumpen.** Die Kapazität im Bereich der Endmontage in der EU ist auf gutem Weg, den Bedarf der EU bis 2030 zu decken. Die EU-Industrie ist jedoch nach wie vor in hohem Maße von Einfuhren bestimmter Komponenten wie Kompressoren abhängig. Während das Handelsbilanzdefizit der EU in der Lieferkette im Jahr 2023 um ein Drittel reduziert wurde, ging der Verkauf von Wärmepumpen in der EU im selben Jahr nach einem zehnjährigen Wachstum um 7,2 % zurück. Dieser Trend hat sich 2024 weiter verschärft, mit einem Rückgang der Verkäufe in Europa um 31 %. Dies macht deutlich, dass Anstrengungen erforderlich sind, damit der Sektor wieder an Dynamik gewinnt.

**EU-Unternehmen spielen eine wichtige Rolle bei der Installation und Endmontage von Technologien für geothermische Energie, die in der EU eingesetzt werden.** Der Weltmarkt für Schlüsselkomponenten wird jedoch von Unternehmen aus Drittländern beherrscht. Die Bewältigung sektoraler Herausforderungen wie der Verfügbarkeit von Untergrunddaten kann der EU-Industrie helfen.

**Europäische Unternehmen spielen nach wie vor eine wichtige Rolle bei der Herstellung von Elektrolyseuren und haben Schätzungen zufolge im Jahr 2024 rund ein Drittel bis ein Viertel der weltweiten Fertigungskapazität bereitgestellt.** Während die Wasserstoff-Elektrolyse-Kapazität in der EU weiterhin dynamisch zunimmt, bestehen nach wie vor Herausforderungen bei der Entwicklung eines großmaßstäblichen Wasserstoffsektors, der die Verfügbarkeit großer Mengen an kostengünstigem Wasserstoff sicherstellt. Darüber hinaus ist die EU bei der Herstellung von Brennstoffzellen zurückgefallen.

**In der EU sind weltweit führende Unternehmen in der Erzeugung von Biogas und Biomethan sowie in der Herstellung von Komponenten ansässig.** In Europa gibt es eine ausgereifte Biogas- und Biomethanindustrie, die hauptsächlich auf die Stromerzeugung ausgerichtet ist, mit wachsenden Märkten in den Bereichen Wärme und Verkehr. Fast 50 %

der Erzeugung entfallen auf Europa, wobei allein Deutschland 20 % der weltweiten Nachfrage deckt.

**Die EU ist im Bereich der CO<sub>2</sub>-Abscheidungstechnologien gut positioniert, liegt aber beim Transport und der Speicherung von CO<sub>2</sub> hinter den USA und Kanada zurück.** Die Zahl der CCS-Projekte ist weltweit und in Europa rasch gestiegen. Maßnahmen der EU, die für Vorhersehbarkeit für Investoren sorgen und die Sichtbarkeit von Angebot und Nachfrage im Bereich der Speicherung sicherstellen, sind in dieser Hinsicht von entscheidender Bedeutung.

**In der EU gibt es einige langjährige Markt- und Technologieführer in den Bereichen Stromleitungen und Transformatoren.** Die europäischen Unternehmen dürften kurz- bis mittelfristig einem zunehmenden Druck internationaler Wettbewerber ausgesetzt sein. Die Herstellung von Netzausrüstungen ist in hohem Maße abhängig vom Zugang zu Rohstoffen wie Kupfer, Aluminium und kornorientiertem Elektrostahl, wo die EU-Hersteller Einfuhrabhängigkeiten ausgesetzt sind.

**Im Bereich der Kernenergie gibt es in der EU weiterhin einen aktiven Reaktoranbieter, dessen weltweiter Marktanteil bei den Anfang 2024 im Bau befindlichen Reaktoren 5,3 % beträgt.** Da die Kernkraftwerk-Flotte in der EU und deren Arbeitskräfte altern, müssen Anstrengungen unternommen werden, um den Sektor zu verjüngen. Die Europäische Industrieallianz für kleine modulare Reaktoren (KMR) wurde 2024 ins Leben gerufen, um die Einführung von KMR zu erleichtern und ein wettbewerbsfähiges EU-Ökosystem im Bereich dieser neuen Technologie zu fördern.

**Die Wasserkraftindustrie der EU spielt zwar nach wie vor weltweit eine führende Rolle, hat aber in den letzten Jahren Marktanteile bei den hergestellten Turbinen und anderen Teilen eingebüßt.** Von einem Höchststand von 466 Mio. EUR im Jahr 2015 ging der EU-Handelsüberschuss deutlich auf 213 Mio. EUR im Jahr 2023 zurück. Um eine starke Fertigungsindustrie im Bereich der Komponenten in der EU zu erhalten, müsste der EU-Markt durch neue Investitionen unterstützt werden. Es gibt auch noch ungenutztes Potenzial für den Ausbau der Pumpspeicher-Wasserkraft, um zur Netzflexibilität beizutragen.

**Die EU gehört zu den Innovationsführern auf dem aufstrebenden Markt für nachhaltige alternative Kraftstoffe für den Luft- und Seeverkehr.** Die Produktionskapazität ist nach wie vor begrenzt und muss ausgebaut werden, während gleichzeitig die Preise für diese Kraftstoffe gesenkt werden müssen.

**Überschüssige Energie aus industriellen Prozessen in der EU könnte mithilfe von Organic-Rankine-Cycle-Kraftwerken (ORC) in 150 TWh Strom pro Jahr umgewandelt werden.** Die Hersteller in der EU gehören zu den führenden Akteuren auf dem Weltmarkt, doch gibt es Hindernisse, wie etwa lange Amortisationszeiten, die einer zunehmenden Nutzung in der EU entgegenstehen.

## 1. EINLEITUNG

Technologien für saubere Energie sind wichtige Voraussetzungen dafür, dass die EU bis 2050 klimaneutral wird, ihre Energieversorgungssicherheit stärkt und ihre Wettbewerbsfähigkeit steigert. **In den letzten Jahrzehnten hat die EU beim Einsatz sauberer Technologien wie Solar- und Windenergie eine zentrale Rolle gespielt.** Im Jahr 2024 erreichten erneuerbare Energiequellen einen Anteil von 48 % am Strommix der EU. Dies unterstreicht die zunehmende Wettbewerbsfähigkeit und wirtschaftliche Bedeutung von Technologien für saubere Energie im Vergleich zu fossilen Energiequellen. Damit es seine Ziele für die Senkung der Treibhausgasemissionen bis 2030 und darüber hinaus erreichen kann, muss Europa in dieser Richtung weitergehen und seine Anstrengungen verstärken.

**Gleichzeitig steht die EU-Industrie im Hinblick auf ihre Wettbewerbsfähigkeit bei Netto-Null-Technologien zunehmend unter Druck.** Die technologische Führung verlagert sich ebenso wie die Herstellung von in der EU entwickelten Technologien zunehmend auf andere große Volkswirtschaften wie China und die USA, die ihre Produktionskapazitäten ausbauen.

**Die Wettbewerbsfähigkeit ist zu einem Schwerpunkt der EU-Politik geworden, auch im Hinblick auf Netto-Null-Technologien.** In den Schlussfolgerungen des Europäischen Rates vom April 2024 wurde die EU nachdrücklich aufgefordert, ihre Wettbewerbsfähigkeit zu steigern<sup>1</sup>. Der neue Kompass für Wettbewerbsfähigkeit enthält eine Reihe von Maßnahmen zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der EU in den kommenden Jahren, die auf den Ergebnissen des Jahresberichts über den Binnenmarkt und die Wettbewerbsfähigkeit und der eingehenden Analyse im Draghi-Bericht aufbauen<sup>2</sup>. Im Draghi-Bericht werden die wirtschaftlichen Chancen hervorgehoben, die saubere Technologien für die EU als Innovationsführerin bei diesen Technologien bieten<sup>3</sup>. In diesem Bericht werden die wichtigsten Hindernisse aufgeführt, die der Wettbewerbsfähigkeit der EU im Wege stehen, und es wird eine abgestimmte und gezielte Strategie gefordert, die den Unterschieden zwischen den Wirtschaftszweigen Rechnung trägt. Sowohl im Draghi-Bericht als auch im Letta-Bericht wird auch darauf hingewiesen, dass es wichtig ist, indessen auch den Binnenmarkt für Energie und die entsprechenden Infrastrukturen zu stärken, um das Potenzial der EU im Bereich der erneuerbaren Energien mit dem Ziel auszuschöpfen, die sichere Versorgung ihrer Wirtschaftszweige mit erschwinglicher Energie zu gewährleisten<sup>4</sup>.

Um die strategische Autonomie der EU zu unterstützen, ihre industrielle Basis zu sichern und das Innovationspotenzial zu bewahren, ist es von entscheidender Bedeutung, **dass die Netto-Null-Technologien von heute und morgen in Europa hergestellt werden. Der Deal für eine saubere Industrie ist ein neues Konzept für den Wohlstand und die Wettbewerbsfähigkeit der EU**<sup>5</sup>. Mit den Deals für eine saubere Industrie wird die Kommission den Zugang der EU-Industrie zu Finanzmitteln, Materialströmen und qualifizierten Arbeitskräften verbessern sowie zugleich neue Leitmärkte schaffen und die Widerstandsfähigkeit der Wertschöpfungsketten erhöhen. Gleichzeitig wird die Kommission für Vereinfachung in nie da gewesenem Umfang sorgen, um die Belastung der Unternehmen zu verringern. Dies wird den Weg für

---

<sup>1</sup> Europäischer Rat (2024), Schlussfolgerungen der Sondertagung des Europäischen Rates (17./18. April 2024); Europäischer Rat (2024), Erklärung von Budapest zum Neuen Deal für die europäische Wettbewerbsfähigkeit (7./8. November 2024).

<sup>2</sup> COM(2025) 30 final und COM(2025) 26 final.

<sup>3</sup> Mario Draghi, [The future of European competitiveness](#), 2024.

<sup>4</sup> Enrico Letta, [Much more than a market](#), 2024.

<sup>5</sup> [PLATZHALTER FÜR DEN VERWEIS AUF DEN DEAL FÜR EINE SAUBERE INDUSTRIE].

wettbewerbsfähigere Wirtschaftszweige und hochwertige Arbeitsplätze ebnen, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf sauberen und strategischen Technologien liegt.

**Der Zugang zu erschwinglicher Energie ist ein Schlüsselfaktor für die Wettbewerbsfähigkeit der EU und das zentrale Ziel des neuen Aktionsplans für erschwingliche Energie<sup>6</sup>.** Der Aktionsplan ergänzt den Deal für eine saubere Industrie, indem Maßnahmen vorgeschlagen werden, mit denen die Energiekosten für Industrie, Unternehmen und Haushalte gesenkt und gleichzeitig die notwendigen Strukturreformen beschleunigt werden sollen. Im Mittelpunkt steht das Ziel, aufbauend auf den in diesem Bericht behandelten Technologien den Übergang zu erschwinglicher, sauberer und innerhalb der EU erzeugter Energie zu beschleunigen. Der Aktionsplan zielt darauf ab, die Energieunion zu vollenden und einen vollständig integrierten Energiebinnenmarkt mit den erforderlichen physischen Verbindungen sicherzustellen.

**Dieser Bericht enthält evidenzbasierte Überwachungsergebnisse und Hinweise in Bezug auf die Wettbewerbsfähigkeit von Technologien für saubere Energie und ihre Hersteller in Europa.** Mit der im Jahr 2024 in Kraft getretenen Netto-Null-Industrie-Verordnung wird die Rolle des Berichts weiter gestärkt, indem er zum wichtigsten Instrument zur Überwachung der Fortschritte der EU in Bezug auf die in der Verordnung festgelegten Produktionsziele erklärt wird. Mit der Netto-Null-Industrie-Verordnung will die EU die Fertigungskapazität für saubere Schlüsseltechnologien innerhalb der EU stärken und die Wettbewerbsfähigkeit und Widerstandsfähigkeit ihrer Industrie erhöhen. Ziel ist es, die Abhängigkeit von externen Akteuren zu verringern, indem eine Fertigungskapazität von mindestens 40 % des jährlichen Bedarfs der EU in Bezug auf die zur Verwirklichung der Klima- und Energieziele der Union für 2030 erforderlichen Technologien sowie bis 2040 ein Anteil von 15 % an der Weltproduktion erreicht werden<sup>7</sup>.

Teil I des Berichts gibt allgemein Aufschluss über zentrale Themen, die die Wettbewerbsfähigkeit des gesamten Netto-Null-Technologiesektors der EU betreffen, und deckt Aspekte wie Energiekosten, Fertigung, Dekarbonisierung der Industrie, Kompetenzen, Trends bei Investitionen, Forschung und Innovation sowie den globalen Kontext ab. In Teil II des Berichts werden der aktuelle Stand der Wettbewerbsfähigkeit der EU-Industrie bei 15 Netto-Null-Technologien dargestellt und die Stärken und Schwächen der jeweiligen Wertschöpfungsketten aufgezeigt.

Dies ist die fünfte Ausgabe des Berichts über die Fortschritte bei der Wettbewerbsfähigkeit, der seit 2020 nach Maßgabe von Artikel 35 Absatz 1 Buchstabe m der Verordnung über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz veröffentlicht wird. Dieser Bericht stützt sich auf Daten der Beobachtungsstelle für saubere Energietechnologie (Clean Energy Technology Observatory, CETO)<sup>8</sup>.

---

<sup>6</sup> [PLATZHALTER FÜR DEN VERWEIST AUF DEN AKTIONSPLAN FÜR ERSCHWINGLICHE ENERGIE].

<sup>7</sup> ABl. L, 2024/1735, 28.6.2024, Artikel 5.

<sup>8</sup> Weitere Informationen und CETO-Berichte: [Clean Energy Technology Observatory](#).

## **2. BEWERTUNG DER WETTBEWERBSFÄHIGKEIT IM GESAMTEN BEREICH SAUBERE ENERGIE IN DER EU**

### **2.1. Der globale wirtschaftliche Kontext und die Wettbewerbsfähigkeit des Netto-Null-Technologiesektors der EU**

#### *2.1.1. Entwicklung der Energiepreise und -kosten*

Die Lage auf dem Energiemarkt in der EU hat sich 2023 und 2024 verbessert. Die Energiepreise waren deutlich niedriger als 2022, lagen aber weiterhin über dem Vorkrisenniveau und waren deutlich höher als in konkurrierenden Regionen. Eine stärkere Diversifizierung der Gaseinfuhren und höhere Kapazitäten zur Erzeugung erneuerbarer Energien in Verbindung mit einem geringeren Verbrauch haben zur Senkung der Großhandelspreise für Gas und Strom beigetragen.

Die Großhandelsgaspreise waren 2024 niedriger als 2023 und lagen deutlich unter den Preisen in den ersten Monaten nach der Invasion der Ukraine durch Russland im Jahr 2022. Sie lagen jedoch nach wie vor über dem Vorkrisenniveau. Im Jahr 2024 stabilisierte sich der durchschnittliche Gasgroßhandelspreis bei 34 EUR/MWh. Während die Preise in der ersten Jahreshälfte auf ein näher bei 30 EUR/MWh liegendes Niveau zurückgingen, stiegen sie bis Ende 2024 stetig auf 35 bis 45 EUR/MWh und dann Anfang 2025 erneut an.

Auch im Stromsektor war das Jahr 2024 durch anhaltend positive Marktgegebenheiten gekennzeichnet, die zu niedrigeren Großhandelsstrompreisen führten. Niedrigere Gaspreise, eine gedämpfte Nachfrage und eine höhere Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Kernenergie trugen allesamt dazu bei, die Großhandelspreise für Strom auf allen EU-Märkten zu drücken. Der European Power Benchmark lag im Jahr 2023 bei durchschnittlich 95 EUR/MWh und war damit um 57 % niedriger als 2022. In den ersten drei Quartalen des Jahres 2024 sank der Durchschnittswert auf 70 EUR/MWh, doch stiegen die Preise im letzten Quartal an. Insgesamt lag der Durchschnitt im Jahr 2024 bei 76 EUR/MWh. Im Zuge der leichten Erholung der industriellen Nachfrage erhöhte sich der Stromverbrauch in der EU im Jahr 2024 geringfügig (+ 2 %).

Aufgrund der Energiekrise wurden erhebliche Erhöhungen der Großhandelspreise für Strom an die Endverbraucher weitergegeben, in einigen Fällen zeitlich verzögert. Infolgedessen war im Jahr 2022 und teilweise im Jahr 2023 ein Anstieg der Endkundenstrompreise für Privathaushalte zu verzeichnen<sup>9</sup>. Im Einklang mit den Bemühungen der EU haben die Mitgliedstaaten befristete Maßnahmen ergriffen, um die Auswirkungen der hohen Preise auf die Verbraucher abzumildern. Die hohen Preise stellten jedoch nach wie vor ein Problem dar, insbesondere für schutzbedürftige Verbraucher. Die Entwicklung der Endkundenpreise für Privathaushalte im Jahr 2024 deutet darauf hin, dass die Preise in der gesamten EU leicht gesunken oder weiterhin mit den Preisen von 2023 vergleichbar sind.

Die Strompreise für Industriekunden gingen im ersten Halbjahr 2024 im Vergleich zum gleichen Zeitraum im Jahr 2023 erheblich zurück. Der Rückgang reichte von 13 % bis 27 % (ohne Steuern) und von 6 % bis 27 % (einschließlich nicht erstattungsfähiger Steuern)<sup>10</sup> über verschiedene Verbrauchsbänder hinweg, was den 2023 einsetzenden Abwärtstrend verstärkte.

---

<sup>9</sup> Eurostat ([nrg\\_pc\\_204](#)), zuletzt abgerufen am 12.2.2025.

<sup>10</sup> Eurostat ([nrg\\_pc\\_205](#)), zuletzt abgerufen am 12.2.2025.

Allerdings ist EU-Industrie ist derzeit mit Strompreisen konfrontiert, die mit durchschnittlich 0,16 EUR pro kWh im Jahr 2024 etwa doppelt so hoch sind wie in den USA oder China<sup>11</sup>.

Der Anteil erneuerbarer Energien am Strommix der EU stieg 2024 auf einen neuen historischen Höchststand von 48 % (gegenüber 45 % im Jahr 2023 und 41 % im Jahr 2022<sup>12</sup>), während beim Anteil fossiler Brennstoffe ein erheblicher Rückgang auf 24 % (von 28 % im Jahr 2023) zu verzeichnen war. Bei der Solar- und der Offshore-Windkraftleistung war 2024 ein erheblicher Anstieg zu verzeichnen: Die Offshore-Windkraftleistung stieg um 17 % (+9 TWh) und die Solarleistung um 19 % (+37 TWh). Die Wasserkraftleistung verbesserte sich um 7 % (+22 TWh), die Onshore-Windkraftleistung blieb in etwa stabil (-1 TWh) und die Kernenergieleistung stieg im selben Zeitraum um 5 % (+29 TWh)<sup>13</sup>. Indessen hat sich die Elektrifizierung nicht beschleunigt, wie der seit dem Jahr 2000 unverändert gebliebene Anteil des Stroms am Energiemix von rund 20 % zeigt<sup>14</sup>.

Abbildung 1 enthält einen Überblick über die **Stromgestehungskosten** (Levelised Cost of Electricity, LCOE) **in der EU**<sup>15</sup>, die für das Jahr 2023 auf der Grundlage der besonderen Merkmale der Stromnetze in den einzelnen Mitgliedstaaten geschätzt wurden. Die Investitionskosten sowie die Betriebs- und Instandhaltungskosten stiegen 2023 aufgrund der Inflation, der höheren Materialkosten und der gestiegenen Arbeitskosten. Die erhöhte Inflation und die hohen Zinssätze hatten im Jahr 2023 großen Einfluss auf die Investitionsentscheidungen sowohl von Projektträgern als auch von Herstellern und waren ein maßgeblicher Grund dafür, diese Entscheidungen hinauszuzögern.

---

<sup>11</sup> Eurostat, [Electricity price statistics](#). Hinweis: Die Preise beziehen sich auf das Verbrauchsband ID, wobei die erstattungsfähigen Abgaben abgezogen werden.

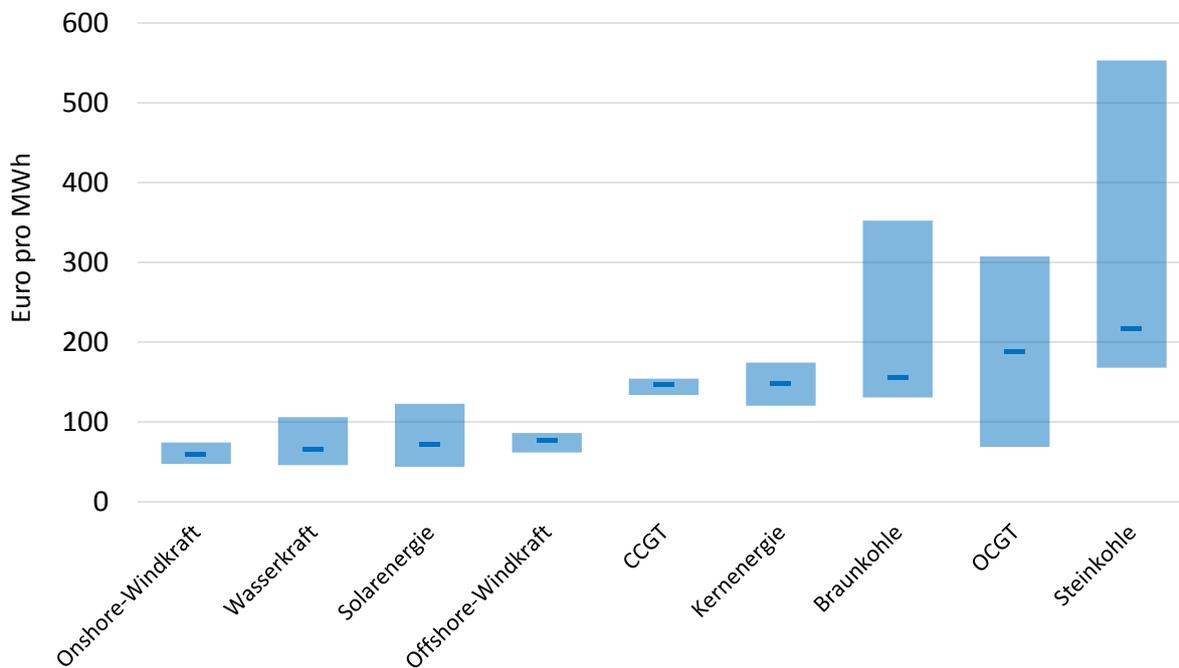
<sup>12</sup> Daten für 2022 von [Eurostat](#).

<sup>13</sup> Daten für 2023 und 2024 in diesem Absatz von der [ENTSO-E Transparency Platform](#).

<sup>14</sup> COM(2025) 26 final.

<sup>15</sup> Die Stromgestehungskosten (LCOE) sind eine Maßeinheit für den Vergleich der durchschnittlichen Kosten für die Erzeugung einer Elektrizitätseinheit (gewöhnlich gemessen in Megawattstunden, MWh) über die gesamte Lebensdauer einer Anlage oder eines Vorhabens zur Stromerzeugung, wobei alle mit dem Bau und Betrieb des Kraftwerks verbundenen Kosten (Kapitalausgaben, Betriebs- und Instandhaltungskosten, Brennstoffkosten (falls zutreffend), Finanzierungskosten und Stilllegungskosten (falls zutreffend) berücksichtigt werden.

**Abbildung 1:** Momentaufnahme der technologieflottenspezifischen Stromgestehungskosten (LCOE) für 2023. Die dunkelblauen Linien stellen den Median dar und die hellblauen Balken stellen eine Bandbreite von  $\pm 25\%$  innerhalb der EU dar, wodurch die zwischen den Mitgliedstaaten bestehenden Unterschiede deutlich werden.



Quelle: JRC, METIS-Modellsimulation<sup>16</sup>.

Trotz dieser steigenden Kosten sind Technologieflotten mit niedrigen variablen Kosten (einschließlich Betriebskosten, z. B. Instandhaltungs- und Brennstoffkosten), beispielsweise erneuerbare Energiequellen wie Onshore-Windkraft und Photovoltaik, nach wie vor kostengünstiger als Erzeugungstechnologien mit hohen variablen Kosten, beispielsweise fossile Energiequellen wie Gas und Kohle, die von den Brennstoffkosten beeinflusst werden. Insgesamt sind erneuerbare Energien in der EU nach wie vor äußerst kostengünstig.

Der LCOE-Wert einer bestimmten Technologie wird unter anderem durch das Verhältnis zwischen der jährlichen Erzeugungsmenge dieser Technologie und ihrer installierten Kapazität beeinflusst. Je weniger eine Technologie genutzt wird, desto größer wird ihr LCOE-Wert sein. Aus diesem Grund sind bei konventionellen Technologien wie etwa Braunkohle, Steinkohle oder Gasturbinen mit offenem Kreislauf (Open Cycle Gas Turbines, OCGT), bei denen die Erzeugung in einigen Mitgliedstaaten geringer war, größere Aufwärtsspannen bei ihren LCOE-Werten zu verzeichnen. Im Gegensatz dazu ist die LCOE-Spanne bei einer Technologie wie der kombinierten Gasturbinen-Dampfturbinen-Technologie (Combined Cycle Gas Turbine, CCGT) nach wie vor sehr klein, da die Nutzungsrate von Gas-und-Dampf-Kombikraftwerken in den meisten Mitgliedstaaten hoch ist.

<sup>16</sup> Gemäß: Gasparella, A., Koolen, D. und Zucker, A., The Merit Order and Price Setting Dynamics in European Electricity Markets, Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, 2023. Berechnung auf der Grundlage der auf das Jahr 2023 umgerechneten Kosten. CapEx und OpEx auf der Grundlage des PRIMES-Referenzszenarios im Hinblick auf die Klimaziele für 2040, aufgeschlüsselt nach der technischen Lebensdauer und den gewichteten durchschnittlichen Kapitalkosten. Die auf das Jahr umgerechneten Kosten werden anhand von Kapazitätsfaktoren angepasst, die aus dem METIS-Modell abgeleitet werden. Die variablen Kosten basieren auf den Rohstoffpreisen 2023, den variablen OpEx und der Einspeisung in die METIS-Simulation.

Erneuerbare Energiequellen sind weiterhin die kostengünstigsten Technologien, während die kombinierte Gasturbinen-Dampfturbinen-Technologie hinsichtlich der Kosten zur wettbewerbsfähigsten Wärmetechnologie geworden ist. Dieser Trend ist zum Teil auf den starken Rückgang der Erdgaspreise im Vergleich zum Vorjahr zurückzuführen. Während 2022 aufgrund schwankender Preise ein erheblicher Brennstoffwechsel zwischen Gas und Kohle zu verzeichnen war, verlagerte sich der Schwerpunkt im Jahr 2023 stärker auf die Auswirkungen höherer Fixkosten bei allen Technologien.

Aufgrund mehrerer Schlüsselfaktoren haben die Stromgestehungskosten verschiedener Erzeugungstechnologien in den letzten zehn Jahren in Europa eine signifikante Entwicklung vollzogen. Der technologische Fortschritt hat zu einer Steigerung der Effizienz und der Kapazität geführt, insbesondere bei der Photovoltaik und der Windenergie, wodurch die Kosten erheblich gesunken sind. Skaleneffekte, insbesondere durch größere Projekte und die Massenproduktion, führten zu einer weiteren Senkung der Kosten für erneuerbare Energiequellen. Durch unterstützende politische Maßnahmen, einschließlich Subventionen, Steueranreize und CO<sub>2</sub>-Bepreisung, wurden die Einführung saubererer Energiequellen gefördert und gleichzeitig die mit fossilen Brennstoffen wie Kohle und Erdgas verbundenen Kosten erhöht. Verbesserte Lieferketten und Herstellungsverfahren haben die allgemeine Wettbewerbsfähigkeit der Technologien für erneuerbare Energie erhöht. Diese Faktoren haben zusammen die Energielandschaft verändert, indem sie erneuerbare Energien kosteneffizienter gemacht und die Abhängigkeit von traditionellen Energiequellen verringert haben.

Im Draghi-Bericht wurde die Energie als treibende Kraft für die Wettbewerbsfähigkeit der EU hervorgehoben und ein Maßnahmenmix vorgeschlagen, um die Ursachen der hohen Energiepreise in der EU anzugehen, damit die Vorteile der Dekarbonisierung im Energiesektor den Endverbrauchern zugutekommen können<sup>17</sup>. Energie spielt im neuen Deal für eine saubere Industrie eine zentrale Rolle, und mit dem Aktionsplan für erschwingliche Energie schlägt die Kommission konkrete Maßnahmen zur Senkung der Energiekosten für die Haushalte und die Industrie vor.

### *2.1.2. Unterstützung für Netto-Null-Technologien auf den Weltmärkten*

Neue geopolitische Dynamiken und eine sowohl von hohen Zinssätzen als auch von Inflation geprägte Phase haben das Geschäftsumfeld für Netto-Null-Technologien in den letzten Jahren verändert. Der globale Markt für wichtige massengefertigte Netto-Null-Technologien wird sich bis 2035 voraussichtlich fast verdreifachen und einen jährlichen Wert von rund 1,9 Billionen EUR erreichen<sup>18</sup>. Im Wettlauf um den Ausbau der Produktion zur Deckung der erwarteten Nachfrage ist es nach wie vor von entscheidender Bedeutung, sicherzustellen, dass die EU-Industrie wettbewerbsfähig bleibt und ihren Beitrag zur Bereitstellung der Technologien für die Energiewende in Europa und weltweit leisten kann. Gleichzeitig erschweren Unsicherheiten langfristige Investitionen, auch in Fertigungs- oder Produktionsanlagen. Um die EU und ihre Wirtschaftszweige in die Lage zu versetzen, im Jahr 2030 und darüber hinaus um Marktanteile zu konkurrieren, werden die heute getroffenen und umgesetzten Entscheidungen entscheidend sein. Verzögerungen beim Aufbau von

---

<sup>17</sup> Mario Draghi, *The future of European competitiveness*, 2024.

<sup>18</sup> IEA, *Energy Technology Perspectives*, 2024. Globale Marktschätzungen für Photovoltaik, Windkraft, Elektrofahrzeuge, Batterien, Elektrolyseure und Wärmepumpen. Im Bericht ist die Rede von 2 Billionen USD, umgerechnet in EUR zum Ende des Jahres 2024.

Fertigungskapazitäten für Netto-Null-Technologien könnten sich in den kommenden Jahrzehnten auf die Wettbewerbsfähigkeit der EU auswirken. Die beschleunigte Elektrifizierung wird zwar die Abhängigkeit von Einfuhren von fossilen Brennstoffen verringern, doch werden widerstandsfähige Wertschöpfungsketten für Netto-Null-Technologien wie Windkraft oder Batterien vonnöten sein, um neue Abhängigkeiten zu vermeiden<sup>19</sup>.

Als Reaktion auf die jüngsten Krisen und als Strategien zur Unterstützung von Unternehmen bei der Energiewende wurden weltweit industriepolitische Maßnahmen zur Steigerung der Herstellung von Technologien für saubere Energie eingeführt, so auch in Ländern wie Kanada, China, Indien, Japan, Südkorea und den USA. Mit der Verabschiedung des US-Gesetzes zur Inflationsbekämpfung (Inflation Reduction Act, IRA) boten die USA Zuschüsse zur Unterstützung der Installation fortgeschrittener Technologien sowie Steuergutschriften für Investitionen in Fertigungsanlagen für die Herstellung von Ausrüstungen für saubere Energie an (schätzungsweise 461 Mrd. EUR<sup>20</sup>, davon 60 % für den Energiesektor). Indessen ist China zu einem dominierenden Hersteller vieler Netto-Null-Technologien geworden und nimmt aufgrund seiner auf Investitionen ausgerichteten Wirtschaft bei der Förderung sauberer Technologien eine führende Stellung ein<sup>21</sup>. Was speziell den Solarsektor betrifft, so befinden sich mehr als 90 % der Fertigungsanlagen in China<sup>22</sup>.

Darüber hinaus erhöhen Einfuhrbeschränkungen in den USA und anderen Ländern den Druck auf die Hersteller aus der EU auf ihren Heimatmärkten. Zudem birgt ein Wachstum der weltweiten Fertigungskapazitäten, das derzeit bei bestimmten Technologien voraussichtlich das Nutzungspotenzial übersteigen dürfte, die Gefahr von Überkapazitäten. Eine solche Entwicklung könnte Segmente der Fertigung in der EU, auch was die Netto-Null-Technologien angeht, ernsthaft schädigen. Prognosen für 2025 deuten auf anhaltende weltweite Überkapazitäten bei wichtigen Technologien für saubere Energie hin, insbesondere was die gesamten Batterie- und Solarenergie-Wertschöpfungsketten sowie Maschinenhäuser für Windkraftanlagen betrifft<sup>23</sup>.

Schätzungen zufolge sind die Subventionen in China insgesamt drei- bis neunmal so hoch wie in anderen OECD-Ländern, etwa den USA oder Deutschland<sup>24</sup>. Die EU hat eine Antisubventionsuntersuchung betreffend die Einfuhren von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen aus China abgeschlossen, die zur Einführung von Ausgleichszöllen auf diese Einfuhren geführt hat<sup>25</sup>. Um die Größenordnung und den Umfang der Subventionen sowie die Vereinbarkeit mit den internationalen Handelsregeln zu bewerten, müssen weitere Kanäle staatlicher Unterstützung betrachtet werden. Die EU wird auch mit internationalen Handelspartnern zusammenarbeiten und internationale Institutionen wie die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) und die Internationale Energie-Agentur (IEA) bei der Überwachung der Lage um Unterstützung ersuchen.

---

<sup>19</sup> Europäische Kommission, [2025 Annual Single Market and Competitiveness Report](#), siehe KPI 18 für die Elektrifizierung.

<sup>20</sup> Unter Zugrundelegung des durchschnittlichen Wechselkurses von 0,9239 EUR für 1 USD im Jahr 2024, auf der Grundlage von Daten der [EZB](#).

<sup>21</sup> Strategic perspectives, [Competing in the new zero-carbon industrial era](#), 2023.

<sup>22</sup> Für weitere Informationen siehe den nachfolgenden Abschnitt über Photovoltaik.

<sup>23</sup> BloombergNEF, [Trade & Supply Chains: 10 Things to Watch in 2025](#), 2025.

<sup>24</sup> Kiel Institut für Weltwirtschaft, [Foul Play? On the Scale and Scope of Industrial Subsidies in China](#), 2024.

<sup>25</sup> ABl. L, 2024/2754, 29.10.2024.

Damit die globale Energiewende gelingen kann, müssen die wirtschaftlichen Chancen und Vorteile entlang der Wertschöpfungskette gemeinsam genutzt werden. In diesem Zusammenhang werden globale Partnerschaften und gleiche Wettbewerbsbedingungen von entscheidender Bedeutung sein, um Widerstandsfähigkeit und strategische Autonomie für die EU zu erreichen. Mit der derzeitigen EU-Initiative Global Gateway werden Investitionen in Nicht-EU-Ländern in Bereichen gefördert, die für die EU und ihren ökologischen und digitalen Wandel von entscheidender Bedeutung sind. Global Gateway zielt darauf ab, bis zu 300 Mrd. EUR an Investitionen zu mobilisieren<sup>26</sup>. Die Aushandlung, der Abschluss und die Umsetzung ehrgeiziger Handelsabkommen werden dazu beitragen, den Marktzugang zu erweitern und die wirtschaftliche Widerstandsfähigkeit zu stärken<sup>27</sup>. Darüber hinaus können Partnerschaften für sauberen Handel und Investitionen Handelsabkommen ergänzen und Dekarbonisierungsbemühungen in der EU und im Ausland unterstützen, die auf die geschäftlichen Interessen der EU und ihrer Handelspartner im Bereich der sauberen Energie zugeschnitten sind.

In der EU stand die Beschleunigung der Dekarbonisierung und der Energiewende im Mittelpunkt des europäischen Grünen Deals und der anschließenden politischen Maßnahmen, einschließlich des Pakets „Fit für 55“ und des Industriepfades zum Grünen Deal. Die EU verfügt über einen soliden Rahmen zur Förderung von Netto-Null-Technologien, der Full-Unterstützung, wirtschaftliche Anreize wie die CO<sub>2</sub>-Bepreisung im Rahmen des EU-Emissionshandelssystems (EHS) und Regulierungsinstrumente wie die Erneuerbare-Energien-Richtlinie und die Netto-Null-Industrie-Verordnung kombiniert. Aus der Aufbau- und Resilienzfazilität wurden Mittel in Höhe von 650 Mrd. EUR bereitgestellt, um Reformen und Investitionen der Mitgliedstaaten zu unterstützen, wobei der Anteil der grünen Maßnahmen in den nationalen Aufbau- und Resilienzplänen mindestens 37 % beträgt. Darüber hinaus werden mit den kohäsionspolitischen Mitteln der EU aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung, dem Kohäsionsfonds, dem Fonds für einen gerechten Übergang und dem Interreg fast 120 Mrd. EUR an Investitionen in grüne Maßnahmen bereitgestellt (die Gesamtinvestitionskosten belaufen sich auf mehr als 166 Mrd. EUR). Dies entspricht bei diesen Fonds einem durchschnittlichen Beitrag von 40 % zu Klimaschutzmaßnahmen, was weit über die regulatorischen Mindestverpflichtungen hinausgeht<sup>28</sup>. Darüber hinaus spielte REPowerEU eine Schlüsselrolle bei der raschen Verringerung der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen aus Russland und der Beschleunigung des ökologischen Wandels.

Die Plattform „Strategische Technologien für Europa“ (STEP) wurde von der EU eingerichtet, um die europäische Industrie zu unterstützen und Investitionen in kritische Technologien, einschließlich Technologien für saubere Energie, in Europa zu fördern. Durch eine Mischung aus finanziellen Anreizen und Maßnahmen zur Erleichterung der Finanzierung von Projekten mobilisiert STEP Mittel zur Unterstützung kritischer Technologien im Rahmen bestehender EU-Programme und -Fonds, einschließlich kohäsionspolitischer Fonds, InvestEU, Horizont Europa, des Europäischen Verteidigungsfonds, des EU-EHS-Innovationsfonds und der Aufbau- und Resilienzfazilität. Darüber hinaus wurden im Rahmen des Clusters 5 „Klima, Energie und Mobilität“ des Programms Horizont Europa bis 2024 mehr als 3 Mrd. EUR zur Förderung von Forschung und Innovation im Bereich der Technologien für saubere Energie bereitgestellt.

---

<sup>26</sup> Weitere Informationen: [https://international-partnerships.ec.europa.eu/policies/global-gateway\\_de](https://international-partnerships.ec.europa.eu/policies/global-gateway_de).

<sup>27</sup> COM(2025) 30 final.

<sup>28</sup> Weitere Informationen: [Exploring investments 2021-2027 – Cohesion policy support to climate action](#).

## 2.2. Wertschöpfungsketten für Netto-Null-Technologien in der EU: Chancen und Herausforderungen für eine saubere Industrie

### 2.2.1. Fertigungslieferketten

In den letzten Jahren hat die EU Schritte unternommen, um ihre Fertigungskapazität für Netto-Null-Technologien zu steigern und so strategische Abhängigkeiten zu verringern und die Widerstandsfähigkeit der EU zu erhöhen sowie gleichzeitig einen Beitrag zu den Klima- und Energiezielen der EU zu leisten.

Während die EU ihre Anstrengungen verstärkt, ist sie mit starkem Gegenwind seitens globaler Wettbewerber konfrontiert. Trotz der Stärken der EU, was Aspekte wie Forschung und Innovation, qualifizierte Arbeitskräfte und Regulierungsstandards angeht, hat sich ihre Position bei der Fertigung von Netto-Null-Technologien in den letzten Jahren weltweit gesehen verschlechtert. Die EU verfügt weiterhin über eine starke Fertigungsbasis für bestimmte Netto-Null-Technologien wie Windkraft und Elektrolyseure, während andere Teile der Welt bestimmte Wertschöpfungsketten, wie bei der Photovoltaik und den Batterien, zunehmend dominieren. Die Herausforderungen bestehen nicht nur in der Abhängigkeit von bestimmten Netto-Null-Technologien an sich, sondern auch in der Abhängigkeit von bestimmten technologischen Komponenten in der Lieferkette. So ist die EU beispielsweise bei der Fertigung gut positioniert und bleibt der wichtigste Hersteller von hydronischen Wärmepumpen, doch China liefert die meisten 4-Wege-Ventile und Kompressoren<sup>29</sup>. Darüber hinaus ist die EU nach wie vor in hohem Maße von einigen kritischen Rohstoffen abhängig, die für die Herstellung einer Reihe von Netto-Null-Technologien von wesentlicher Bedeutung sind.

Die weltweiten Investitionen in die Herstellung sauberer Technologien stiegen bis 2023 rasch an. Im Jahr 2024 blieben die Investitionen mit 129 Mrd. EUR auf einem ähnlichen Niveau (133 Mrd. EUR im Jahr 2023)<sup>30</sup>. Der Internationalen Energie-Agentur (IEA) zufolge konnten die EU und die USA ihren gemeinsamen Anteil an den weltweiten Investitionen in die Herstellung sauberer Technologien im Jahr 2023 auf 16 % erhöhen (von 11 % im Jahr 2022)<sup>31</sup>. Derweil liegt China bei den Investitionen in die Fertigung weiterhin deutlich vorn. Schätzungen zufolge entfielen auf China im Jahr 2024 81 % der weltweiten Investitionen in die Lieferkette für saubere Technologien<sup>32</sup>.

Die Herstellkosten in der EU und den USA sind nach wie vor strukturell höher als in China. Die Herstellkosten für Solarmodule sind in China um 35-65 % niedriger als in der EU und den USA<sup>33</sup>. Komponenten von Onshore-Windkraftanlagen kosten rund 355 EUR/kW in China, während die Kosten in der EU und den USA zwischen 448 und 485 EUR/kW liegen<sup>34</sup>. Die

---

<sup>29</sup> Siehe den Abschnitt über Technologien für Wärmepumpen in Kapitel 3 dieses Berichts.

<sup>30</sup> BloombergNEF, *Energy Transition Investment Trends 2025*, 2025. Die Daten beziehen sich auf die Herstellung wichtiger Teile der Batterien (einschließlich Bergwerke und Raffinerien), Photovoltaik, Windkraft und die Wasserstofflieferkette. Umwandlung unter Zugrundelegung des durchschnittlichen Wechselkurses von 0,9239 EUR für 1 USD im Jahr 2024, auf der Grundlage von Daten der [EZB](#).

<sup>31</sup> Internationale Energieagentur (IEA), *Advancing Clean Technology Manufacturing*, 2024.

<sup>32</sup> BloombergNEF, *Energy Transition Investment Trends 2025*, 2025. Die Daten beziehen sich auf die Herstellung wichtiger Teile der Batterien (einschließlich Bergwerke und Raffinerien), Photovoltaik, Windkraft und die Wasserstofflieferkette.

<sup>33</sup> IEA, *Advancing Clean Technology Manufacturing*, 2024.

<sup>34</sup> Unter Zugrundelegung eines durchschnittlichen Wechselkurses von 0,9239 EUR für 1 USD im Jahr 2024, auf der Grundlage von Daten der [EZB](#).

Endmontage von Wärmepumpen in der EU und den USA kostet etwa doppelt so viel wie in China<sup>35</sup>.

Zu diesen Kostenunterschieden tragen mehrere Faktoren bei, darunter hohe Energiepreise, Unterbrechungen der Lieferkette, Inflation, gestiegene Zinssätze, intensiver Wettbewerb auf dem Markt, verschiedene Subventionsprogramme und eine unsichere künftige Nachfrage. Die jüngste Analyse der IEA zeigt, dass China nach wie vor der kostengünstigste Standort für Kapitalinvestitionen in Fertigungsanlagen ist, wobei die Kosten in der EU und den USA pro Einheit Produktionskapazität um 70-195 % höher sind<sup>36</sup>. Die Herausforderungen im Hinblick auf die Stärkung der Fertigung in der EU sind zwar beträchtlich, doch verfügt die EU als einer der Schlüsselmärkte für die Entwicklung und Einführung von Netto-Null-Technologien nach wie vor über ein großes Potenzial, die wirtschaftlichen Chancen der globalen Energiewende zu nutzen.

Die Fertigung von Netto-Null-Technologien ist auf viele Regionen in der EU verteilt, die jeweils unterschiedliche Spezialisierungen aufweisen. Der Anteil der EU an der weltweiten Produktion von Photovoltaikanlagen ist in den letzten Jahren zwar zurückgegangen, doch haben Deutschland, Italien, Spanien, Frankreich und Österreich weiterhin Produktionsstätten. Was die Windenergie betrifft, so sind die wichtigsten Hersteller von Windkraftanlagen in Dänemark und Deutschland konzentriert, während die Herstellung von Komponenten über die gesamte EU verteilt ist, wozu noch eine bedeutende Fertigungskapazität für Türme in Spanien hinzukommt. Die Batterieherstellung in der EU befindet sich im Aufbau; produziert wird in Polen, Deutschland, Ungarn, Frankreich, Schweden und weiteren Mitgliedstaaten. Im Bereich Wasserstoff ist mehr als die Hälfte der EU-Produktion von Elektrolyseuren in Deutschland konzentriert, mit zusätzlichen Kapazitäten in Dänemark, Spanien, Portugal, Italien und Frankreich. In Bezug auf Wärmepumpen gehören Deutschland, Schweden, Finnland und Dänemark zu den Ländern mit einer nennenswerten Produktion. Im Bereich der geothermischen Energie ist Italien in der Herstellung führend, allerdings gibt es auch in Deutschland und Frankreich eine einschlägige Produktion. Italien spielt auch bei der Kabelproduktion in der EU eine führende Rolle, gefolgt von Schweden, Deutschland, Frankreich, Polen und Dänemark. Die EU ist zudem bei der Erzeugung von Biogas und Biomethan führend, wobei insbesondere in Deutschland und Italien, aber auch in Tschechien, Spanien und Polen einschlägige Bestandteile hergestellt werden<sup>37</sup>.

Die EU hat die Netto-Null-Industrie-Verordnung erlassen, um ihre Abhängigkeit von eingeführten Netto-Null-Technologien zu verringern, die Widerstandsfähigkeit der Wertschöpfungskette zu stärken und eine starke Fertigungsbasis innerhalb der EU aufzubauen. Ziel ist die Schaffung eines Rechtsrahmens, um den Zugang der EU zu einer sicheren und nachhaltigen Versorgung mit Netto-Null-Technologien zu gewährleisten, unter anderem durch den Ausbau der Fertigungskapazität für Netto-Null-Technologien und ihrer Lieferketten.

Darüber hinaus verfolgen die Mitgliedstaaten zunehmend gezielte Strategien zur Förderung der Herstellung von Netto-Null-Technologien. Diese nationalen politischen und rechtlichen Rahmen für Netto-Null-Technologien umfassen eine Mischung aus Anreizprogrammen, steuerpolitischen Maßnahmen sowie bildungs- und kompetenzpolitischen Maßnahmen. Viele dieser nationalen Strategien konzentrieren sich eher auf spezifische Technologien als auf Netto-

---

<sup>35</sup> IEA, *Advancing Clean Technology Manufacturing*, 2024.

<sup>36</sup> IEA, *Advancing Clean Technology Manufacturing*, 2024.

<sup>37</sup> Ecorys, *The Net-Zero manufacturing industry landscape across Member States - Final Report*, 2025. Nicht erschöpfende Liste von Beispielen.

Null-Technologien im Allgemeinen. Eine kürzlich durchgeführte Studie kommt zu dem Schluss, dass sich die meisten der in den Mitgliedstaaten ermittelten politischen Maßnahmen auf Elektrolyseure und Brennstoffzellen konzentrieren, gefolgt von Batterien und Speichertechnologien, Windenergie und Photovoltaik. So gibt es beispielsweise in Deutschland und Spanien spezielle Strategien für Wasserstofftechnologien, während Irland und Polen sektorspezifische Strategien für Windenergiotechnologien haben<sup>38</sup>.

Eine der Herausforderungen im Hinblick auf eine weite Verbreitung der Herstellung von Netto-Null-Technologien sind die Genehmigungen für Produktionsstätten, ein Problem, auf das in der Netto-Null-Industrie-Verordnung ausführlich eingegangen wird. Die Vorschriften sind von Land zu Land unterschiedlich, was sich möglicherweise auf die Zeitleiste für die Einführung dieser Technologien auswirkt. Die Mitgliedstaaten arbeiten jedoch an Lösungen, wie etwa Digitalisierung, Einrichtung von zentralen Anlaufstellen und Priorisierung grüner Projekte. Beispiele hierfür sind der Aufbau von zentralen Anlaufstellen für Geschäftstätigkeiten in Italien, die vorübergehende Priorisierung von Projekten für den ökologischen Wandel in Finnland und die Einstufung bestimmter Projekte als vorrangige Investitionen in Ungarn. Das französische Gesetz über die grüne Industrie zielt ebenfalls darauf ab, die Genehmigungszeiten mittels paralleler Bearbeitung und beschleunigten Verfahren für strategische Projekte zu verkürzen<sup>39</sup>.

Im Draghi-Bericht wird betont, dass die Herstellung sauberer Technologien in der EU erhalten und gestärkt werden muss, damit die Wachstumschancen, die ein wachsender Markt innerhalb und außerhalb der EU bietet, genutzt werden können, wobei auf den starken Fundamenten der EU in den Bereichen Innovation und Fertigung aufgebaut werden muss. Darüber hinaus werden in dem Bericht mehrere Herausforderungen im Hinblick auf die Expansions- und die Wettbewerbsfähigkeit aufgezeigt, mit denen die EU-Hersteller bei diesen Technologien konfrontiert sind, und es werden mehrere Maßnahmen zur Förderung der Wettbewerbsfähigkeit der EU in diesem Bereich vorgeschlagen. Unter anderem wird in dem Bericht die entscheidende Rolle einer vollständigen und zügigen Umsetzung der Netto-Null-Industrie-Verordnung zwecks Unterstützung der Fertigung hervorgehoben<sup>40</sup>.

Im Deal für eine saubere Industrie wird ein wettbewerbsorientierter Ansatz für die Dekarbonisierung dargelegt, mit dem sichergestellt werden soll, dass die EU ein attraktiver Standort für die Fertigung, auch für energieintensive Wirtschaftszweige und saubere Technologien, bleibt. Darüber hinaus wird der künftige Europäische Fonds für Wettbewerbsfähigkeit dazu beitragen, sicherzustellen, dass strategische Technologien, einschließlich sauberer Technologien, in der EU entwickelt und hergestellt werden<sup>41</sup>.

### 2.2.2. Dekarbonisierung energieintensiver Wirtschaftszweige

Von Metallen wie Stahl und Aluminium bis hin zu chemischen Produkten sind die von energieintensiven Wirtschaftszweigen hergestellten Materialien für die EU-Wirtschaft von strategischer Bedeutung, auch als Grundlage sowohl für die Konzeption als auch die Herstellung von Netto-Null-Technologien. Der Bau eines Windkraftanlagenturms erfordert Stahl für den Turm und seine Fundamente, Aluminium für das Maschinenhaus und die Rotorblätter sowie spezielle chemische Beschichtungen für diese Komponenten. Zugleich

---

<sup>38</sup> Ebd.

<sup>39</sup> Ebd.

<sup>40</sup> Mario Draghi, *The future of European competitiveness*, 2024.

<sup>41</sup> [Politische Leitlinien für die nächste Europäische Kommission 2024-2029](#).

ermöglichen Netto-Null-Technologien – von erneuerbaren Energiequellen und der Wasserstoffherzeugung über Energieeffizienzmaßnahmen bis hin zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung – die Dekarbonisierung energieintensiver Wirtschaftszweige. Dies zeigt, welche wesentliche Rolle energieintensive Industrieprodukte für die Netto-Null-Wertschöpfungsketten spielen und umgekehrt.

Daher bedarf es zur Stärkung der strategischen Autonomie der EU eines Ansatzes für die Wertschöpfungskette, bei dem alle wesentlichen Komponenten und Materialien von Netto-Null-Technologien berücksichtigt werden. In der Netto-Null-Industrie-Verordnung wird die Bedeutung transformativer industrieller Technologien für die Dekarbonisierung der Produktion von Grundstoffen wie Stahl, Aluminium, Nichteisenmetallen, Chemikalien und Zement anerkannt. Sie schließt auch die Unterstützung für Projekte zur Dekarbonisierung energieintensiver Wirtschaftszweige ein, die Teil der Lieferkette einer Netto-Null-Technologie sind<sup>42</sup>. Diese Projekte profitieren insbesondere von einer beschleunigten Genehmigung. Darüber hinaus unterstützt die EU die Umstellung von fossilen Brennstoffen auf erneuerbare und CO<sub>2</sub>-arme Energiequellen, insbesondere durch die energieeffiziente Elektrifizierung, z. B. durch den Einsatz von Wärmepumpen zur Rückgewinnung von Wärme aus Abgasen und ihrer Weiterverwendung.

Auf energieintensive Wirtschaftszweige entfällt mehr als die Hälfte des Energieverbrauchs der EU-Industrie<sup>43</sup>, und sie sind am stärksten von den im Vergleich zu anderen großen Volkswirtschaften strukturell höheren Energiepreisen in der EU betroffen. Trotz der Bemühungen im Rahmen von REPowerEU ist die Produktion der energieintensiven Wirtschaftszweige der EU seit 2021 um 10-15 % zurückgegangen<sup>44</sup>. Gleichzeitig geht ein erheblicher Teil der Treibhausgasemissionen in der EU auf energieintensive Wirtschaftszweige zurück. Ihre Dekarbonisierung ist für die Verwirklichung der Klimaneutralität von entscheidender Bedeutung, erfordert jedoch umfangreiche Investitionen, wodurch die Unternehmen in der EU weiter unter Druck geraten. Insgesamt übt dies im Vergleich zu Ländern mit niedrigeren Energiepreisen und einer weniger ehrgeizigen Dekarbonisierungsagenda einen starken Druck auf die Wettbewerbsfähigkeit energieintensiver Wirtschaftszweige in der EU aus. Durch diesen Druck verursachte Produktionsverluste bei wichtigen Industrieprodukten würden die Lieferketten der EU im Bereich der Netto-Null-Technologien schwächen, die Abhängigkeit von Einfuhren erhöhen und den Wohlstand verringern.

Im Draghi-Bericht werden die Bedeutung energieintensiver Wirtschaftszweige für die EU-Wirtschaft und die enorme Herausforderung hervorgehoben, der sie sich gegenübersehen, da sie einerseits in die Dekarbonisierung investieren müssen und andererseits mit steigenden Preisen für CO<sub>2</sub>-Emissionen konfrontiert sind und auf den globalen Märkten im Wettbewerb stehen. In diesem Zusammenhang wird in dem Bericht darauf hingewiesen, dass keine gleichen Wettbewerbsbedingungen herrschen, insbesondere was Unternehmen angeht, die in Ländern wie China, das seine Produktion rasch ausweitet, in den Genuss hoher Subventionen kommen. Aufbauend auf dieser Analyse wird im Draghi-Bericht vorgeschlagen, den energieintensiven Wirtschaftszweigen der EU bei ihrem Übergangsprozess koordinierte Unterstützung zukommen zu lassen, angefangen bei den Genehmigungen über finanzielle Unterstützung bis hin zur Schaffung einer Nachfrage nach grünen Produkten, um ein klares Geschäftsszenario

---

<sup>42</sup> ABl. L, 2024/1735, 28.6.2024, Artikel 2 Absatz 3.

<sup>43</sup> Siehe: [https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/energy-intensive-industries\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/energy-intensive-industries_en).

<sup>44</sup> Mario Draghi, *The future of European competitiveness*, 2024.

für Investitionen in eine saubere Produktion zu bieten. Gleichzeitig wird in dem Bericht empfohlen, für gleiche Wettbewerbsbedingungen mit dem internationalen Wettbewerb zu sorgen, beispielsweise auf der Grundlage des CO<sub>2</sub>-Grenzausgleichssystems (CBAM) der EU<sup>45</sup>.

Der Deal für eine saubere Industrie legt einen starken Schwerpunkt auf die Unterstützung der EU-Industrie und die Förderung ihrer Wettbewerbsfähigkeit auf dem Weg zur Dekarbonisierung. Insbesondere wird die Kommission einen Rechtsakt zur beschleunigten Dekarbonisierung der Industrie vorschlagen, um im Übergang begriffene Wirtschaftszweige zu unterstützen, indem Leitmärkte für saubere Produkte geschaffen und die Planungs-, Ausschreibungs- und Genehmigungsverfahren für den Bau oder Umbau von Fertigungsanlagen beschleunigt werden, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf energieintensiven Wirtschaftszweigen liegt. Der neue Kompass für Wettbewerbsfähigkeit sieht maßgeschneiderte Aktionspläne für energieintensive Wirtschaftszweige wie die Stahl-, die Metall- und die chemische Industrie vor, die das Rückgrat der Fertigungsindustrie in Europa bilden. Darüber hinaus werden im Kompass für Wettbewerbsfähigkeit Maßnahmen in Bezug auf horizontale Erfolgsfaktoren für die Wettbewerbsfähigkeit vorgeschlagen, wie unter anderem die Vereinfachung der rechtlichen Rahmenbedingungen und die Verringerung des regulatorischen Aufwands für die EU-Industrie.

### 2.2.3. Humankapital und Kompetenzen

Qualifizierte Arbeitskräfte bilden die Grundlage für die Fähigkeit der EU, Technologien und Infrastrukturen für saubere Energie zu konzipieren, herzustellen, zu bauen, zu verbinden und instand zu halten. Dem jüngsten IRENA-Bericht zufolge belief sich im Jahr 2023 die Zahl der Beschäftigten im Bereich der erneuerbaren Energien in der EU auf rund 1,8 Millionen<sup>46</sup>. Aus Daten von Industrieverbänden geht hervor, dass Ende 2023 rund 826 000 Menschen im Solarsektor der EU beschäftigt waren (mit 362 000 direkten Arbeitsplätzen), was einem Anstieg der Zahl der Arbeitsplätze im Solarsektor um 27 % seit 2022 entspricht. 5 % der Arbeitsplätze sind in der Fertigung angesiedelt<sup>47</sup>. Im Wärmepumpensektor belief sich im selben Jahr die Zahl der direkten Arbeitsplätze auf fast 170 000, davon 39 % in der Fertigung<sup>48</sup>. Negative Trends im Jahr 2024 und darüber hinaus könnten sich jedoch auf den Arbeitsmarkt in diesem Sektor auswirken. In diesem Zusammenhang ist auf die Rolle der Technologien für saubere Energie im Fertigungssegment hinzuweisen, auf das etwa ein Drittel der Arbeitsplätze im Bereich saubere Energie im weiteren Sinne entfällt. Dies unterstreicht die wichtige Rolle von Netto-Null-Technologien und ihrer Fertigung auch für die Beschäftigung.

Auch wenn sich die Lage im Jahr 2024 leicht verbessert hat, gibt der Arbeitskräftemangel nach wie vor Anlass zur Sorge. Im dritten Quartal 2024 lag die Quote der freien Stellen im Energieversorgungssektor bei 1,6 %, während die Gesamtquote in der EU-Wirtschaft bei 2,3 % lag<sup>49</sup>. Die Quote der im Bereich der Herstellung von elektrischen Ausrüstungen tätigen Unternehmen, die einen Arbeitskräftemangel gemeldet haben, ging von 20 % im letzten Quartal 2023 auf 15 % im letzten Quartal 2024 zurück<sup>50</sup>. In diesem Zusammenhang ist ein

---

<sup>45</sup> Ebd.

<sup>46</sup> IRENA und ILO, *Renewable energy and jobs: Annual review 2024*, 2024.

<sup>47</sup> Solar Power Europe: *EU Solar Jobs Report 2024 – a solar workforce ready for stronger growth*, 2024.

<sup>48</sup> European Heat Pump Association, *European Heat Pump Market and Statistics Report 2024*, 2024.

<sup>49</sup> Eurostat ([jvs\\_q\\_nace2](#)), zuletzt abgerufen am 13.2.2025.

<sup>50</sup> Europäische Kommission, GD Wirtschaft und Finanzen, [Business and consumer survey database, subsector data](#), „NACE-Schlüssel 27: Herstellung von elektrischen Ausrüstungen“ wird stellvertretend für die Herstellung von

wesentlicher Faktor, der den strukturellen Arbeitskräftemangel in den kommenden Jahren verschärfen könnte, die alternde Erwerbsbevölkerung in vielen Mitgliedstaaten<sup>51</sup>.

Mehrere Strategien und Initiativen auf verschiedenen Ebenen tragen bereits dazu bei, den Arbeitskräfte- und Fachkräftemangel zu beheben, doch müssen die Anstrengungen fortgesetzt werden. Die Mitgliedstaaten legen großen Wert auf die Umschulung und Umverteilung von Arbeitnehmern zwischen verschiedenen Berufen, Sektoren und Regionen. Soweit möglich sind Ziele und Maßnahmen im Bereich Kompetenzen Teil der Politik in den Bereichen Forschung, Innovation und Wettbewerbsfähigkeit in den nationalen Energie- und Klimaplänen<sup>52</sup>. Auf EU-Ebene ist die Kompetenzagenda nach dem Europäischen Jahr der Kompetenzen 2023 nach wie vor ein vorrangiger Bereich. Der Aktionsplan 2024 zur Behebung des Arbeits- und Fachkräftemangels in der EU enthält neue Maßnahmen für die EU, die Mitgliedstaaten und die Sozialpartner, um Weiterbildung und Umschulung zu unterstützen, insbesondere in Sektoren, die vom ökologischen und vom digitalen Wandel betroffen sind<sup>53</sup>. Drei groß angelegte Partnerschaften im Rahmen des Pakts für Kompetenzen (zu erneuerbaren Offshore-Energien, zu erneuerbaren Onshore-Energien und zur Digitalisierung der Energie) und drei Akademien für Netto-Null-Kompetenzen (eine Batterieakademie im Jahr 2022, eine Solarakademie im Juni 2024 und eine Rohstoffakademie im Dezember 2024) wurden eingerichtet, um den spezifischen Fachkräftemangel in wichtigen Bereichen der Technologien für saubere Energie zu beheben. Darüber hinaus sind weitere Akademien für Windkraft- und Wasserstofftechnologie geplant.

Die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie im Bereich der sauberen Energie und die Energiewende erfordern daher erhebliche, verstärkte und gezielte öffentliche und private Koordinierungsanstrengungen, um Arbeitskräfte anzuziehen, umzuschulen und weiterzubilden, damit genügend Arbeitskräfte zur Verfügung stehen. Weitere Anstrengungen sind erforderlich, um den Anteil der Frauen, die in der Entwicklung, Herstellung und Einführung von Technologien für saubere Energie tätig sind, zu erhöhen, junge Menschen für Berufe im Energiebereich zu gewinnen und Talentpools im Bereich saubere Energie aufzubauen. Im Kompass für Wettbewerbsfähigkeit betont die Kommission, dass weitere Maßnahmen erforderlich sind, und nennt in diesem Zusammenhang Maßnahmen zur Bekämpfung des Fach- und Arbeitskräftemangels, die darauf abzielen, die Wirtschaftszweige zu unterstützen, die im Mittelpunkt des Kompasses stehen. Dazu gehören die Schaffung einer Union der Kompetenzen sowie ein erneuerter Fokus auf die Finanzmittel für Kompetenzen im EU-Haushalt, wobei der Schwerpunkt auf Sektoren liegt, die am ökologischen und am digitalen Wandel beteiligt sind. Diese Maßnahmen werden für Technologien für saubere Energie und den Erfolg der Energiewende von besonderer Bedeutung sein.

## **2.3. Die Innovationslandschaft im Bereich saubere Energie**

### *2.3.1. Trends im Bereich FuI*

In der Vergangenheit hat die EU wissenschaftliche und technische Spitzenleistungen im Bereich der Technologien für saubere Energie angestrebt und erreicht, was sich durch einen Vorreitervorteil auch in Markterfolg niederschlug. Dieser Wettbewerbsvorteil ist jedoch in den

---

Technologien für erneuerbare Energie verwendet, da viele Technologien für saubere Energie unter diese Kategorie fallen.

<sup>51</sup> IEA, *World Energy Employment, 2024*; Cedefop, *Electroengineering workers: skills opportunities and challenges, 2023*.

<sup>52</sup> Berichte der Mitgliedstaaten zu den nationalen Energie- und Klimaplänen, sofern Informationen bereitgestellt wurden.

<sup>53</sup> COM(2024) 131 final.

letzten Jahren geschwunden. Ob durch Fortschritte bei Forschung und Innovation, durch die Nutzung von Eigenbedarfsmärkten für den Technologietransfer oder durch „Learning-by-doing“: Andere Volkswirtschaften holen im Hinblick auf ihre Innovationsfähigkeit auf oder überholen die EU, was entsprechende Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit hat. Aus diesem Grund ist die Schließung der Innovationslücke einer der drei Aktionsbereiche des Kompasses für Wettbewerbsfähigkeit, der Maßnahmen zur Stärkung der Innovationsleistung der EU enthält.

Zugleich verfügt die EU nach wie vor über eine starke Basis im Bereich der Technologien für saubere Energie, wo sie in vielen Sektoren nach wie vor gut aufgestellt ist. Allerdings liegt die EU im digitalen Bereich sowohl allgemein als auch in Bezug auf saubere Technologien hinter den USA und China zurück<sup>54</sup>. Angesichts der horizontalen Bedeutung der Digitalisierung für alle Technologien hat dies auch Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit der EU.

Betrachtet man die Ausgaben für FuI im Bereich der Technologien für saubere Energie im Verhältnis zum BIP der großen Volkswirtschaften, so weist die EU ein hohes Niveau an öffentlichen FuI auf, dem jedoch vergleichsweise niedrigere Ausgaben für private FuI gegenüberstehen. Die jüngsten verfügbaren Daten zeigen, dass die Hälfte der Mitgliedstaaten, die bereits Zahlen für 2023 gemeldet haben<sup>55</sup>, ihre öffentlichen FuI-Ausgaben erhöht haben. Sollte diese Teilberichterstattung repräsentativ sein, würde dies – unter sonst gleichen Umständen – in einer zusätzlichen Unterstützung für die FuI-Prioritäten der Energieunion in Höhe von 0,7 Mrd. EUR (+9 %) resultieren<sup>56</sup>.

Die öffentlichen Investitionen in Forschung und Innovation im Rahmen der FuI-Prioritäten der Energieunion sind stetig gestiegen. Die von den Mitgliedstaaten für 2022 gemeldeten Zahlen waren um 23 % höher als 2021<sup>57</sup>. Etwa die Hälfte der Mitgliedstaaten, die Daten vorgelegt haben<sup>58</sup>, hat die öffentlichen FuI-Investitionen in die Prioritäten der Energieunion im Jahr 2022 gegenüber 2021 erhöht. Aufgestockt durch EU-Mittel beliefen sich die im Jahr 2022 angekündigten öffentlichen Investitionen auf über 9 Mrd. EUR. Diesen Zahlen und Schätzungen für China und die USA zufolge ist die EU sowohl in absoluten Zahlen als auch im Hinblick auf den Anteil am BIP bei den öffentlichen Ausgaben für saubere Energietechnologien in wichtigen Volkswirtschaften führend (0,057 %, gefolgt von Japan mit 0,055 %).

---

<sup>54</sup> Europäische Kommission, Generaldirektion Forschung und Innovation, [Science, research and innovation performance of the EU 2024](#), 2024.

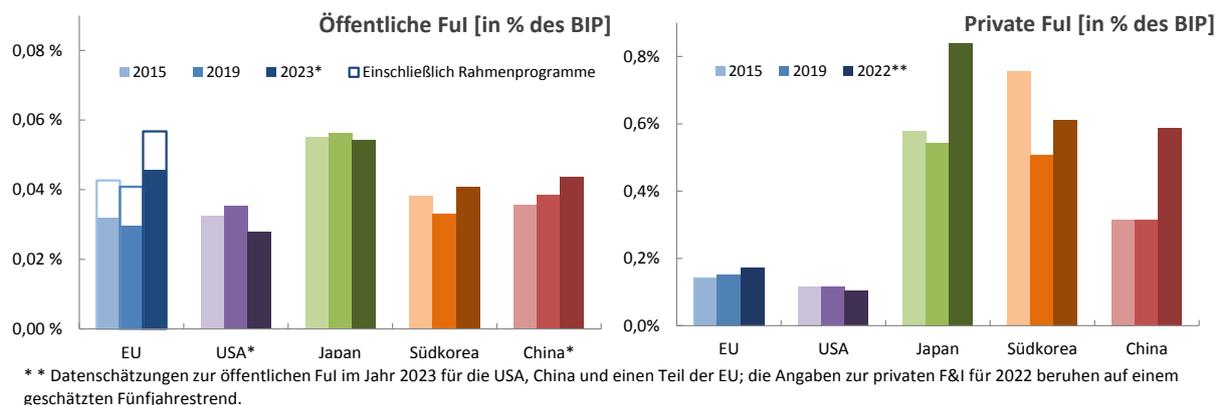
<sup>55</sup> Aktuelle, belastbare und vergleichbare Informationen über FuI-Trends im Bereich der Technologien für saubere Energie sind nicht ohne Weiteres verfügbar. Dies ist zum Teil auf die bestimmten Statistiken innewohnende Zeitverzögerung zurückzuführen, aber auch darauf, dass es nicht immer eine klare Definition der betreffenden Technologiebereiche gibt, die häufig auf breitere Themenbereiche wie Energie, Verkehr oder bauliche Umwelt verteilt sind. Die Fragmentierung der Berichterstattung macht es schwer, sich ein kohärentes Bild zu verschaffen, und ist einer der Bereiche, die Aufmerksamkeit erfordern, um die Überwachung und Koordinierung von FuI zu verbessern. Siehe auch SWD(2023) 646 final.

<sup>56</sup> COM(2015) 80 final.

<sup>57</sup> Ein erheblicher Teil des Anstiegs in den Jahren 2021 und 2022 war auf eine Änderung der Berichterstattung Spaniens und auf Überarbeitungen durch Frankreich zurückzuführen. Diese beiden Mitgliedstaaten waren im Jahr 2022 für zusätzliche FuI-Investitionen in Höhe von 1 Mrd. EUR verantwortlich; auch war Frankreich für einen Großteil des Anstiegs im Jahr 2023 verantwortlich. Quelle: Internationale Energie-Agentur (IEA), [Energy Technology RD&D Budgets - Database documentation](#), 2024.

<sup>58</sup> 22 Mitgliedstaaten sind IEA-Mitglieder: AT, BE, CZ, DE, DK, EL, ES, FI, FR, HU, IE, IT, LT, LU, NL, PL, PT, SE, SK (EL und LU übermitteln keinen Bericht; der Bericht von IT steht noch aus). Für 2022 meldeten BE, DE, EE, ES, FR, LT, IE, PL, PT und FI der IEA einen Anstieg für 2022. Bislang haben AT, BE, FR, LT, IE und SK einen Anstieg für 2023 gemeldet.

**Abbildung 2: Öffentliche/private FuI-Investitionen in FuI-Prioritäten der Energieunion in großen Volkswirtschaften als Anteil am BIP**



Quelle: JRC auf der Grundlage von IEA<sup>59</sup>, Mission Innovation<sup>60</sup>, eigene Analyse<sup>61</sup>.

Der jüngste Anstieg bedeutet, dass die Investitionen der Mitgliedstaaten ab 2021 sowohl nominal als auch inflationsbereinigt den vor zehn Jahren – vor den Auswirkungen des Konjunkturabschwungs – verzeichneten Höchststand übertroffen haben. Im selben Zeitraum kam es zu einer deutlichen Verschiebung des Anteils der öffentlichen FuI-Investitionen in die FuI-Prioritäten der Energieunion. Die nukleare Sicherheit war früher der wichtigste Bereich, der fast ein Drittel der öffentlichen FuI-Investitionen anzog; in den letzten Jahren hat der nachhaltige Verkehr einen ähnlichen Anteil angezogen, wobei der Schwerpunkt auf Batterie- und Wasserstofftechnologien lag.

Die öffentlichen Investitionen der Mitgliedstaaten werden durch EU-Mittel ergänzt. Durch das EU-Rahmenprogramm für Forschung und Innovation, Horizont Europa, werden weiterhin Technologien für saubere Energie und deren Wettbewerbsfähigkeit gefördert. So wurden beispielsweise im Rahmen des Clusters 5 „Klima, Energie und Mobilität“ von Horizont Europa zwischen 2021 und 2024 rund 320 Mio. EUR in FuI im Bereich Photovoltaik, 70 Mio. EUR in geothermische Energie und mehr als 230 Mio. EUR in die Weiterentwicklung fortgeschrittener Technologien im Bereich nachhaltiger alternativer Kraftstoffe für den Luft- und Seeverkehr investiert. Im Rahmen von Horizont Europa ist auch vorgesehen, dass Anstrengungen unternommen werden, um private Investitionen im Wege europäischer Partnerschaften, wie etwa der Partnerschaft für sauberen Wasserstoff, der europäischen Partnerschaft für Batterien und der Photovoltaik-Partnerschaft, zu mobilisieren.

Sowohl in der EU als auch in allen großen Volkswirtschaften machen private Investitionen nach wie vor den Großteil (mehr als drei Viertel) der FuI-Mittel für saubere Energietechnologien aus. Dabei sind die Investitionen im Verhältnis zum BIP in den großen asiatischen Volkswirtschaften nach wie vor deutlich höher als in der EU und den USA. Die meisten privaten FuI-Investitionen in Technologien für saubere Energie in der EU fließen in

<sup>59</sup> Nach: Internationale Energie-Agentur (IEA), [IEA energy technology RD&D budgets database](#), 2024. Datenschätzungen zur öffentlichen FuI für die USA auf der Grundlage von IEA und Myslikova, Z., Gallagher, K. S., Zhang, F., Narassimhan, E., Oh S., & Chi, K., [Global Public Energy RD&D Expenditures Database](#), 2024.

<sup>60</sup> Mission Innovation, [Country Highlights](#), 2020. Schätzung der öffentlichen FuI für China auf der Grundlage von Mitteilungen aus den Vorjahren und zusätzlichen Quellen.

<sup>61</sup> Europäische Kommission, Gemeinsame Forschungsstelle, [SET Plan information system Research and Innovation Data](#); die Angaben zur privaten FuI beruhen auf einem geschätzten Fünfjahrestrend.

nachhaltige Verkehrstechnologien. Auf die Automobilindustrie entfällt der größte Anteil an den FuE-Investitionen der Industrie in der EU. Sie ist weltweit führend bei FuE-Investitionen der Automobilindustrie und investiert achtmal so viel wie die Energieindustrie (saubere und andere Technologien)<sup>62</sup>. Fast ein Viertel der innovativen Tätigkeiten des Sektors betrifft nachhaltigere Technologien, von denen beispielsweise mehr als ein Drittel der Elektromobilität (einschließlich Batterien) gewidmet ist<sup>63</sup>.

Im Draghi-Bericht wurde die zentrale Rolle der Innovation bei der Steigerung der Produktivität hervorgehoben und gleichzeitig betont, dass gemeinsame Anstrengungen erforderlich sind, um Innovationshemmnisse zu beseitigen und die Kluft zu China und den USA bei Schlüsseltechnologien zu schließen. In diesem Zusammenhang wird in dem Bericht betont, dass der Vorsprung der EU bei grünen Technologien zunehmend gefährdet ist<sup>64</sup>. Indessen zeigt eine Analyse der führenden FuE-Investoren in der EU, dass die Renditen von FuE-Investitionen sinken, was darauf hindeutet, dass das Drängen auf mehr Investitionen allein nicht ausreichen könnte, wenn nicht auch andere Faktoren wie die Bindung von Talenten ins Auge gefasst werden<sup>65</sup>. Im Jahr 2024 ermittelte die Gruppe unabhängiger Sachverständiger unter dem Vorsitz von Manuel Heitor eine Reihe von Maßnahmen, die die EU ergreifen kann, um eine führende Rolle im Bereich Forschung und Innovation sicherzustellen und die Wettbewerbsfähigkeit in einem sich rasch wandelnden technologischen Umfeld zu fördern. Diese Maßnahmen reichen von der Aufstockung der Finanzmittel und der Neufestlegung der Zusammenarbeit bis hin zur Neugestaltung der FuI-Strategien und -Instrumente<sup>66</sup>. Die kontinuierliche Überwachung unserer FuI-Leistung und der Wettbewerbsstellung wird dabei helfen, die Änderungen in die Praxis umzusetzen und die Wirkungen nach Bedarf zu bewerten.

Die EU schneidet zwar weiterhin gut ab, doch hat China bei den Forschungsergebnissen im Bereich sauberer Technologien zunehmend die Nase vorn. Was wissenschaftliche Veröffentlichungen betrifft, so ist die EU stärker spezialisiert als die USA, stagniert aber hinter China bei intelligentem, umweltfreundlichem und integriertem Verkehr und sicherer, sauberer und effizienter Energie. Dennoch ist sie bei der Spezialisierung nach wie vor führend, wenn man die wissenschaftlichen Ergebnisse unter das Nachhaltigkeitsziel „Erschwingliche und saubere Energie“ subsumiert<sup>67</sup>.

Der Anteil der Patentanmeldungen zum Schutz von Technologien zur Eindämmung des Klimawandels an allen Erfindungen erreichte 2011 seinen Höhepunkt. Parallel zu den seither rückläufigen Anmeldungen „grüner“ Patente haben die Anmeldungen von damit zusammenhängenden Marken zugenommen, was darauf hindeutet, dass sich der Schwerpunkt von der Forschung und Innovation auf die Implementierung und Einführung verlagert hat<sup>68</sup>. Die EU ist nach wie vor weltweit führend bei der Anmeldung von hochwertigen Patenten<sup>69</sup> im

---

<sup>62</sup> Europäische Kommission, Gemeinsame Forschungsstelle, [2024 EU industrial R&D investment scoreboard](#), 2024.

<sup>63</sup> Europäische Kommission, Gemeinsame Forschungsstelle, [2023 EU Industrial R&D Investment Scoreboard](#), 2023.

<sup>64</sup> Mario Draghi, [The future of European competitiveness](#), 2024.

<sup>65</sup> Europäische Kommission, Gemeinsame Forschungsstelle, [2024 EU industrial R&D investment scoreboard](#), 2024.

<sup>66</sup> Europäische Kommission, Generaldirektion Forschung und Innovation, [Align, act, accelerate – Research, technology and innovation to boost European competitiveness](#), 2024.

<sup>67</sup> Ebd.

<sup>68</sup> Cervantes, M. et al., [Driving low-carbon innovations for climate neutrality](#), *OECD Science, Technology and Industry Policy Papers*, Nr. 143, 2023.

<sup>69</sup> JRC auf der Grundlage aller Anmeldungen, die in der PATSTAT-Frühjahrsausgabe 2024 des EPA enthalten sind. Ergebnisse ausgewiesen für die letzten drei Jahre mit vollständigen Statistiken (2018-2020), um eine Verzerrung der Trends aufgrund von Datenverzögerungen zu vermeiden. Weitere Informationen: [Patent-Based Indicators: Main Concepts and Data Availability](#).

Bereich der FuI-Prioritäten der Energieunion betreffend erneuerbare Energien (29 %) und Energieeffizienz (23 %). Beim nachhaltigen Verkehr nimmt die EU hinter Japan die zweite Stelle ein und bei der Abscheidung, Nutzung und Speicherung von CO<sub>2</sub> (CCUS) und der nuklearen Sicherheit steht sie an zweiter Stelle hinter den USA, hat jedoch bei den intelligenten Systemen keinen Boden gutgemacht. Nachdem China mehrere Jahre lang seine Anmeldungen auf seinen heimischen Markt zugeschnitten hat, zielt es nun zunehmend auf internationalen Schutz für Innovationen im Bereich der sauberen Energie ab. Es ist bereits führend bei den Anmeldungen hochwertiger Patente im Bereich intelligenter Systeme (33 %) und verbessert sich in allen anderen Bereichen. Dennoch hat die EU ihre Spezialisierung in den Bereichen erneuerbare Energien, nachhaltiger Verkehr und CCUS durchgängig über dem weltweiten Durchschnitt beibehalten. Die EU verfügt auch weiterhin über einen Spezialisierungsvorsprung bei mehreren Technologien wie Windenergie, Wasserstoff für den Verkehr und Bioenergie.

Im Rahmen des Strategieplans für Energietechnologie (SET-Plan), dem wichtigsten Instrument für die Umsetzung der Komponente Forschung, Innovation und Wettbewerbsfähigkeit der Energieunion, arbeiten die Mitgliedstaaten und die Kommission gemeinsam und in enger Partnerschaft mit der Industrie und Forschungseinrichtungen an der Erstellung gemeinsamer Forschungs- und Innovationsagenden im Bereich der Netto-Null-Technologien. Nach der Überarbeitung des SET-Plans im Jahr 2023<sup>70</sup> wurde mit der Netto-Null-Industrie-Verordnung die Rolle sowohl des SET-Plans selbst als auch seiner Lenkungsgruppe weiter gestärkt, um die Entwicklung sauberer, effizienter und kostengünstiger Energietechnologien durch Koordinierung und Zusammenarbeit zu fördern<sup>71</sup>.

In den Jahren 2023 und 2024 wurden bei der Arbeit im Rahmen des SET-Plans stetige Fortschritte erzielt. Angesichts der engen themenbezogenen Verbindungen zwischen den Arbeitsgruppen des SET-Plans wurde die Zusammenarbeit im Rahmen des SET-Plans intensiviert, wobei 2024 die meisten Kooperationen zwischen den Arbeitsgruppen seit der Einführung des SET-Plans zu verzeichnen waren. So wurde beispielsweise eine enge Zusammenarbeit zwischen der Gruppe „Energiesysteme“ und der Gruppe „Nachhaltige und effiziente Energienutzung in der Industrie“ aufgebaut. Die Arbeitsgruppen des SET-Plans aktualisieren und überarbeiten kontinuierlich ihre technologiespezifischen Umsetzungspläne. So wurde im Bereich der Gleichstromtechnologien im Jahr 2024 ein neuer Umsetzungsplan für Niederspannungs-Gleichstromtechnologien (LVDC) veröffentlicht, der darauf abzielt, LVDC-Mikronetze in Gebäuden und Industrieanlagen zu entwickeln und zu demonstrieren. Im Fortschrittsbericht 2024 zum SET-Plan<sup>72</sup> werden die jüngsten Entwicklungen ausführlicher dargestellt, darunter beispielsweise die im Rahmen des Plans für den Geothermiesektor entwickelte Vision für 2050.

In ihrem neuen Kompass für Wettbewerbsfähigkeit hat die Kommission betont, dass Forschung und Innovation als treibende Kraft für die Wettbewerbsfähigkeit in den Mittelpunkt der EU-Wirtschaft gestellt werden müssen. Im Rahmen der Maßnahmen zur Schließung der Innovationslücke wird die Kommission einen Rechtsakt über den Europäischen Forschungsraum vorlegen, der darauf abzielt, dass mehr in Forschung und Entwicklung investiert und der Zielwert von 3 % des BIP erreicht wird. Darüber hinaus werden der Europäische Forschungsrat und der Europäischen Innovationsrat erweitert<sup>73</sup>.

---

<sup>70</sup> COM(2023) 634 final.

<sup>71</sup> ABl. L, 2024/1735, 28.6.2024.

<sup>72</sup> Europäische Kommission, Gemeinsame Forschungsstelle, Kuzov, T., Letout, S., Georgakaki, A., Volt, S., Tumara, D., Martínez Castilla, G., Lauritzen, A., Sobczak, A., Paunescu, G., Fromentin, M., Degiorgis, E., Volkanovski, A., Tzimas, E., *SET Plan Progress Report*, 2024.

<sup>73</sup> [Politische Leitlinien für die nächste Europäische Kommission 2024-2029](#); COM(2025) 30 final.

### 2.3.2. Trends im Bereich Risikokapitalinvestitionen

Die Finanzierung von im Bereich saubere Energie tätigen Unternehmen ist von entscheidender Bedeutung, um die Resilienz und die technologische Souveränität der EU im Energiebereich zu fördern. Risikokapital, das im Mittelpunkt des Ökosystems steht, das innovative Start-up-Unternehmen und expandierende Jungunternehmen finanziert, spielt eine wesentliche Rolle, wenn es darum geht, sicherzustellen, dass die EU die industriellen Chancen nutzt, die neue Technologien für saubere Energie bieten.

Die Entwicklung von Risikokapitalinvestitionen im Bereich saubere Energie in der EU zeugt von der Arbeit der EU zur Entwicklung ihrer Risikokapitalbranche, zur Mobilisierung öffentlicher Investoren, um große Finanzierungslücken zu schließen, und zur Einwerbung anderer Geldgeber wie Unternehmen und institutioneller Anleger. Die EU hat den höchsten relativen Anteil an staatlich bereitgestelltem Risikokapital (im Vergleich zum gesamten Risikokapital)<sup>74</sup>, was die starke Rolle öffentlicher Investitionen im Vergleich zu privaten Investitionen verdeutlicht.

Für 2023 und 2024 ergibt sich ein gemischtes Bild, das sowohl Chancen als auch Herausforderungen für die EU zeigt. Im Jahr 2023 hat die EU inmitten eines weltweiten Rückgangs der Bereitstellung von Risikokapital ihre Fähigkeit unter Beweis gestellt, strategische Großabschlüsse im Bereich der Großanlagen zur Batterieherstellung und zur wasserstoffbasierten Stahlproduktion anzuziehen. Diese außergewöhnlichen Abschlüsse haben das Wachstum der Risikokapitalinvestitionen in saubere Energietechnologien in der EU vorangetrieben, die sich 2023 auf 9,2 Mrd. EUR (+ 20 % gegenüber 2022) beliefen<sup>75</sup>.

Im Jahr 2024 führte ein anhaltend ungünstiges makroökonomisches Umfeld zu einer geringeren Geschäftstätigkeit und zu einem erheblichen Rückgang der Risikokapitalinvestitionen in der EU insgesamt. Dieser drastische Rückgang (-34 % gegenüber 2023) ließ die erhebliche Abhängigkeit von sehr wenigen Großabschlüssen (über 1 Mrd. EUR an Risikokapitalfinanzierung) erkennen. Im Jahr 2023 beschafften drei Unternehmen Beträge, die zusammen 43 % der gesamten Risikokapitalinvestitionen in Technologien für saubere Energie in der EU ausmachten. Unter anderem zeigt der Fall des schwedischen Batterieherstellers Northvolt, der im November 2024 Insolvenzschutz beantragt hat, die Herausforderung, die mit einer raschen Ausweitung der Fertigung verbunden ist. Diese Abhängigkeit von Großabschlüssen war 2024 noch akuter, als nur ein solcher Abschluss getätigt wurde, der sich auf 2,4 Mrd. EUR belief und 39 % der Risikokapitalinvestitionen in Technologien für saubere Energie in der EU ausmachte<sup>76</sup>.

Aufgrund dieser Großabschlüsse war die Kluft in Bezug auf die Investitionen zwischen der EU, wo der Anteil der Technologien für saubere Energie an den gesamten Risikokapitalinvestitionen der EU zunahm, und den USA und China, wo die Risikokapitalinvestitionen zurückgingen, im Jahr 2023 am geringsten. So entfielen im

---

<sup>74</sup> Europäische Kommission, [Science, research and innovation performance of the EU – A competitive Europe for a sustainable future](#), 2024.

<sup>75</sup> Auswahl der JRC auf der Grundlage der Vertikalmärkte nach PitchBook, eingehender Analysen im Auftrag des CETO und des Europäischen Anzeigers für die Wettbewerbsfähigkeit der Netto-Null-Industrie. Für weitere Angaben siehe Europäische Kommission: JRC, Georgakaki, A., Taylor, N., Ince, E., Koukoufikis, G., Kuokkanen, A., Kuzov, T., Letout, S., Mountraki, A., Murauskaite-Bull, I., Mancini, L., Miletic, M., Pennington, D., Ozdemir, E. and Terça, G., CETO, *Overall Strategic Analysis of Clean Energy Technology in the European Union*, 2024.

<sup>76</sup> Auf der Grundlage von PitchBook, Teildaten für 2024, extrahiert im Januar 2025, auf der Grundlage der Auswahl der JRC für das CETO.

Jahr 2023 auf die EU 28 % der weltweiten Risikokapitalinvestitionen in Technologien für saubere Energie – ein wachsender Anteil –, womit sie an zweiter Stelle zwischen den USA (30 %) und China (24 %) lag. Dieser Anteil blieb 2024 relativ stabil.

Insgesamt ist der Zugang zu Finanzmitteln für die meisten EU-Unternehmen, die Technologien für saubere Energie entwickeln und herstellen, nach wie vor ein wesentliches Hindernis. Erfolgsgeschichten müssen reproduziert werden, auch in Bezug auf weitere Technologien, bei denen die EU derzeit immer noch übertrifft wird.

Parallel dazu stiegen zwischen 2021 und 2023 die Risikokapitalinvestitionen in Photovoltaik-Technologien in der EU auf 20 % der weltweiten Gesamtinvestitionen. Diese Investitionen kamen jedoch hauptsächlich Photovoltaik-Systemintegratoren zugute und sie trugen nicht zum Aufbau einer Solarmodulproduktion innerhalb der EU bei. Chinesische Unternehmen tätigten 2,7-mal mehr Risikokapitalinvestitionen als die Unternehmen der EU, von denen die meisten expandierenden Jungunternehmen zugutekamen, die neue Arten von Solarzellen und -modulen entwickeln und herstellen.

Auf die EU entfielen zwischen 2021 und 2023 auch 15 % der weltweiten Risikokapitalinvestitionen in Wasserstofftechnologien. Ihre Position wurde jedoch durch rückläufige Risikokapitalinvestitionen im Jahr 2023 und durch eine Reihe von größeren Abschlüssen unter Beteiligung von chinesischen Brennstoffzellenherstellern in den Jahren 2021 und 2022 und von US-amerikanischen Elektrolyseurherstellern im Jahr 2023 geschwächt. Im Jahr 2023 drängten sich US-amerikanische Start-up-Unternehmen, die Elektrolyseur-Technologien entwickelten, nach vorn, die achtmal mehr Risikokapital als ihre Wettbewerber in der EU mit dem Ziel beschafften, ihre Produktionskapazitäten auszubauen, die Produktionskosten zu senken und die Überseemärkte anzuvisieren.

Bei allen anderen Netto-Null-Technologien dominieren traditionell nordamerikanische Start-up-Unternehmen, die auch den Großteil der entsprechenden Risikokapitalinvestitionen angezogen haben. Dies gilt für Technologien in den Bereichen CCUS, konzentrierende Solarthermie, Geothermie, Wasserkraft, Kernenergie, erneuerbare Brennstoffe nicht biogenen Ursprungs und nachhaltige alternative Kraftstoffe, wo der Anteil der EU an den weltweit insgesamt getätigten Risikokapitalinvestitionen durchgängig gering ist.

Die EU hat jedoch eine relevante Basis von Unternehmen entwickelt, die sich mit Technologien in den Bereichen Bioenergie, Aufladung von Elektrofahrzeugen, Wärmepumpen, neuartige Energiespeicher, Meeresenergie, Solarthermie und Windkraft befassen. Zusammengenommen entfielen auf diese Unternehmen 18,5 % der Risikokapitalinvestitionen in Netto-Null-Technologien in der EU zwischen 2021 und 2023 (die Hälfte davon auf die Aufladung von Elektrofahrzeugen). Im Jahr 2023 entfiel auf die EU der größte Anteil der weltweiten Investitionen in jede dieser Technologien, gleichauf mit den USA. Obwohl die Investitionen seit 2021 gestiegen sind, mangelt es den EU-Unternehmen, die derartige Technologien und Komponenten entwickeln, nach wie vor an größeren Abschlüssen, die sie in die Lage versetzen, einen Wettbewerbsvorteil zu erlangen und die Einführung dieser Technologien in großem Maßstab zu fördern.

Es gibt mehrere EU-Finanzierungsinstrumente zur Förderung von Investitionen in innovative saubere Technologien, wie den Innovationsfonds, InvestEU und den Fonds des Europäischen Innovationsrats (EIC), die Komponente für Risikokapitalinvestitionen des EIC. Die 2024 eingerichtete Plattform „Strategische Technologien für Europa“ (STEP) dient zur Unterstützung von Investitionen in Start-up-Unternehmen, KMU und kleine Unternehmen mit

mittlerer Kapitalisierung in der EU, die kritische Technologien für saubere Energie entwickeln und herstellen<sup>77</sup>.

Um das Potenzial des unternehmerischen Ökosystems der EU für saubere Energie voll auszuschöpfen, müssen Investitionshemmnisse beseitigt und gezielte öffentliche Maßnahmen ergriffen werden<sup>78</sup>. Im Draghi-Bericht wird ein unterentwickelter Risikokapitalmarkt als eines der Hindernisse für saubere Technologien in der EU genannt und die Stimulierung privater Investitionen gefordert<sup>79</sup>. Wie aus dem Bericht hervorgeht, erfordert die Ausweitung der Investitionen in Technologien für saubere Energie eine Aufstockung und Straffung des EU-Haushalts sowie die Einrichtung von Finanzierungsprogrammen zur Unterstützung privater und risikoreicherer Investitionen in innovative Unternehmen, damit strategische Unternehmen in der EU oder langfristige Übergangprojekte auf ein höheres Niveau gehoben werden können.

In den politischen Leitlinien der Kommission wird die Notwendigkeit weiterer Maßnahmen im Bereich der öffentlichen Investitionen und der Risikominderung für privates Kapital anerkannt. Besonders wichtig ist es, die Finanzierung schnell wachsender Unternehmen durch Banken, Investoren und Risikokapital zu erleichtern. Auf der Grundlage des Letta-Berichts<sup>80</sup> wird die Kommission eine europäische Spar- und Investitionsunion für Banken und Kapitalmärkte vorschlagen<sup>81</sup>. Die Vertiefung der Banken- und Kapitalmärkte der EU ist eine wesentliche Voraussetzung, um zusätzliche Finanzierungsquellen zu erschließen, grenzüberschreitende Investitionen zu fördern und Scale-ups für Investoren attraktiver zu machen, indem ihre Ausstiegsmöglichkeiten verbessert werden.

Um sicherzustellen, dass Finanzmittel in dem zur Schließung der Investitionslücke der EU erforderlichen Umfang fließen, müssen saubere Energietechnologien als strategische Priorität betrachtet werden. In diesem Zusammenhang hat die Kommission einen Europäischen Fonds für Wettbewerbsfähigkeit im Rahmen des nächsten mehrjährigen Finanzrahmens angekündigt, mit dem Investitionen in saubere und strategische Technologien mobilisiert werden sollen. Eine eigene EU-Start-up- und Scale-up-Strategie wird die Hindernisse angehen, die die Gründung und Hochskalierung neuer Unternehmen erschweren<sup>82</sup>.

### **3. BEWERTUNG DER WETTBEWERBSFÄHIGKEIT DER EU IM BEREICH DER NETTO-NULL-TECHNOLOGIEN**

#### **3.1. Photovoltaik**

Die Photovoltaik (PV) ist die am schnellsten wachsende Technologie zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen. Im Jahr 2024 war die EU auf gutem Weg, bis 2030 das Ziel der EU-Strategie für Solarenergie von 600 GWac (~720 GWp) installierter Photovoltaik-Kapazität zu erreichen<sup>83</sup>. Den vorläufigen Daten für 2024 zufolge hat sich das jährliche Wachstum verlangsamt, doch die Anlagen haben immer noch erheblich zugenommen, nämlich von mehr als 56 GWp im Jahr 2023 auf 63 GWp im Jahr 2024. In beiden Jahren rangierte die EU bei der Einführung nach China (374 GWp im Jahr 2024) an zweiter Stelle, gefolgt von den USA

---

<sup>77</sup> ABl. L, 2024/795, 29.2.2024. Weitere Informationen: <https://strategic-technologies.europa.eu>.

<sup>78</sup> Europäische Investitionsbank, *The scale-up gap*, 2024.

<sup>79</sup> Mario Draghi, *The future of European competitiveness*, 2024.

<sup>80</sup> Enrico Letta, *Much more than a market*, 2024.

<sup>81</sup> Weitere Informationen: [Call for evidence on the European Savings and Investments Union](#).

<sup>82</sup> COM(2025) 30 final.

<sup>83</sup> COM(2022) 221 final.

(45 GWp im Jahr 2024)<sup>84</sup>. Die Kosten für die Erzeugung von Solarstrom sind in den meisten Ländern nun niedriger als für auf fossilen Brennstoffen basierende Alternativen<sup>85</sup>.

In der Netto-Null-Industrie-Verordnung wird auf das Ziel der Europäischen Allianz der Photovoltaik-Industrie verwiesen, bis 2025 in der gesamten Wertschöpfungskette mindestens 30 GWp Photovoltaik-Fertigungskapazität pro Jahr zu erreichen<sup>86</sup>. Dieses Ziel wurde bei den Wechselrichtern bereits übertroffen (82 GWp im Jahr 2023<sup>87</sup>) und wird beim Polysilicium in Kürze erreicht (29 GWp im Jahr 2024). Bei anderen Teilen der Wertschöpfungskette stellt sich die Situation jedoch anders dar. Die derzeitige Photovoltaik-Fertigungskapazität für Rohblöcke und Wafer liegt unter 1 GWp und die für Zellen und Module unter 3 GWp<sup>88</sup>, wobei es Hinweise darauf gibt, dass die tatsächliche Produktion im Jahr 2023 bei Letzteren bei rund 2 GWp lag<sup>89</sup>. Insgesamt ist die EU in hohem Maße von Einfuhren im Bereich Photovoltaik aus China abhängig, wo sich 91 % der in Betrieb genommenen Fertigungsanlagen befinden. Im Gegensatz dazu haben die EU, die USA und Indien jeweils einen Anteil von 1 %<sup>90</sup>.

Die Kosten für die Herstellung eines Solarmoduls sind in der EU schätzungsweise um etwa 60 % höher als in China<sup>91</sup>. Dieser Unterschied ist auf höhere Investitions-, Arbeits- und Energiekosten, geringere Produktionsmengen und eine mangelnde vertikale Integration zurückzuführen. Weitere Herausforderungen für die europäischen Hersteller sind die hohen Lagerbestände und das Überangebot aus China, was zu einem drastischen Rückgang der Modulpreise am Spotmarkt führt. Diese waren im Januar 2025 im Vergleich zum Vorjahr um über 25 % auf 0,105 EUR/Wp gesunken<sup>92</sup>. Dies treibt zwar die Einführung voran, übt aber einen hohen Druck auf die Hersteller aus. Anlagen zur Herstellung von Zellen und Modulen verzeichnen weltweit eine niedrige durchschnittliche Auslastung von rund 50 %<sup>93</sup>.

Insgesamt haben die Photovoltaik-Hersteller in der EU Schwierigkeiten, weltweit zu konkurrieren, insbesondere im Hinblick auf die Preise. Die Konzentration der Photovoltaik-Fertigungskapazität in einem einzigen Land, d. h. China, birgt Risiken für die Widerstandsfähigkeit der Wertschöpfungskette und die Preisstabilität<sup>94</sup>. Die EU spielt nach wie vor eine wichtige Rolle bei Forschung und Innovation im Bereich Photovoltaik, insbesondere im Hinblick auf spezifische Anwendungen wie der in Gebäude, Landwirtschaft, Infrastruktur oder Fahrzeuge integrierten Photovoltaik<sup>95</sup>.

Um die Wettbewerbsfähigkeit der Photovoltaik-Fertigung zu steigern, müsste die EU innovative Technologien in großen Fabriken im Gigawatt-Maßstab hochskalieren, die über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg integriert sind. Mit der im April 2024 unterzeichneten Europäischen Solar-Charta<sup>96</sup> haben sich die Kommission, 23 Mitgliedstaaten und Vertreter der

---

<sup>84</sup> Jaeger-Waldau, A., *Snapshot of Photovoltaics*, 2025 (in Kürze erscheinend).

<sup>85</sup> IEA, *Advancing Clean Technology Manufacturing*, 2024.

<sup>86</sup> ABl. L, 2024/1735, 28.6.2024, Erwägungsgrund 16.

<sup>87</sup> Solar Power Europe, *Inverter Explained 2.0*, Juni 2024.

<sup>88</sup> Europäische Kommission, JRC, Chatzipanagi, A., Jaeger-Waldau, A., Letout, S., Mountraki, A., Gea Bermudez, J., Georgakaki, A., Ince, E. und Schmitz, A., CETO, *Photovoltaics in the European Union*, 2024.

<sup>89</sup> ESMC, *Schreiben an die Europäische Kommission*, Januar 2024.

<sup>90</sup> CETO, *Photovoltaics in the European Union*, 2024.

<sup>91</sup> IEA, *Renewables 2023 - Analysis and forecast to 2028*, 2024.

<sup>92</sup> PV Exchange, *Marktanalyse Januar 2025 - Modulpreise am Scheideweg*, 2025.

<sup>93</sup> IEA, *Advancing Clean Technology Manufacturing*, 2024.

<sup>94</sup> *Europäische Solar-Charta*, 2024.

<sup>95</sup> CETO, *Photovoltaics in the European Union*, 2024.

<sup>96</sup> *Europäische Solar-Charta*, 2024.

Industrie zu einer Reihe freiwilliger Maßnahmen zur Unterstützung der Photovoltaikindustrie in der EU verpflichtet.

### 3.2. Solarthermie

In der EU-Strategie für Solarenergie<sup>97</sup> wurde das Ziel festgelegt, im Zeitraum von 2022 bis 2030 den durch Solarwärme gedeckten Energiebedarf mindestens zu verdreifachen. Der Sektor hat jedoch bislang nur begrenzte Fortschritte erzielt und stand 2023 und 2024 vor mehreren Herausforderungen. Die Investitionen verlangsamten sich aufgrund des Wettbewerbs durch Photovoltaik und Wärmepumpen als alternative Lösungen im Bereich der erneuerbaren Energiequellen sowie aufgrund der Auswirkungen der niedrigeren Gaspreise und veränderter Anreize für die Einführung<sup>98</sup>. Die EU hat im Jahr 2023 ihre solarthermische Wärmekapazität um 1,3 GWth erhöht, was einem Rückgang von 24 % gegenüber 2022 entspricht. Die daraus resultierende Nettokapazitätssteigerung um 1,3 % (die Stilllegung älterer Anlagen eingerechnet) liegt weit unter der Quote, die erforderlich ist, um die Kapazität bis 2030 zu verdreifachen<sup>99</sup>.

Auch auf dem Weltmarkt war mit 21 GWth neu installierter Leistung im Jahr 2023 gegenüber 23 GWth im Jahr 2022 ein Rückgang zu verzeichnen<sup>100</sup>. Ermutigender ist, dass das Segment der industriellen Prozesswärme weltweit gegenüber dem Vorjahr um das Dreifache gewachsen ist und 2023 eine Gesamtkapazität von 0,95 GWth erreicht hat. Einen Beitrag hierzu leistete das neue größte solarthermische Kraftwerk mit Strahlungsbündelung der EU (30 MWth mit einer Speicherkapazität von 68 MWh) in Spanien. Die Erzeugungskapazität aus Solarthermie mit Strahlungsbündelung hat sich in der EU nicht erhöht und ist seit 2013 nahezu unverändert geblieben (2,30 GW, nahezu sämtlich in Spanien)<sup>101</sup>. Unterdessen hat China mit einer neu in Betrieb genommenen Kapazität von 1 GW und einer weiteren im Aufbau befindlichen Kapazität von 2 GW im Bereich Solarthermie mit Strahlungsbündelung weltweit die Führung übernommen<sup>102</sup>.

Die EU verfügt über einen starken Fertigungssektor im Bereich der solarthermischen Warmwasserbereiter, der früheren Schätzungen zufolge bis zu 90 % der Binnennachfrage deckt, was deutlich über dem in der Netto-Null-Industrie-Verordnung festgelegten Richtwert für die Fertigungskapazität liegt. Trotz der Konsolidierung des Sektors in den letzten zehn Jahren, insbesondere in Deutschland und Spanien, gibt es nach wie vor ein vielfältiges Spektrum an Akteuren, die verschiedenartige Produkte anbieten. Griechische Hersteller von Thermosiphonanlagen konnten das starke Marktwachstum nutzen und auch beträchtliche Ausfuhren verbuchen<sup>103</sup>. Mehrere EU-Unternehmen erscheinen auf dem Markt für große Fernwärmanlagen und industrielle Solarwärme, der in den kommenden zehn Jahren erheblich wachsen dürfte. Die Handelsdaten für solarbetriebene und nichtelektrische

---

<sup>97</sup> COM(2022) 221.

<sup>98</sup> EurObserv'ER, Solar thermal and concentrated solar power barometer, 2024.

<sup>99</sup> Ebenda.

<sup>100</sup> Weiss, W., Spörk-Dür, M., [Solar Heat Worldwide](#), 2024.

<sup>101</sup> Eurostat ([nrg\\_inf\\_epcrw](#)), zuletzt abgerufen am 12.2.2025, und Europäische Kommission, JRC, Carlsson, J., Taylor, N., Georgakaki, A., Letout, S., Mountraki, A., Ince, E., Schmitz, A. und Gea Bermudez, J., CETO, [Solar Thermal Energy in the European Union](#), 2024.

<sup>102</sup> REN21, *Renewables 2024 Global Status Report Collection: Energy Supply*, 2024.

<sup>103</sup> EurObserv'RE, Concentrated Solar Power and Solar Thermal Barometer 2023.

Warmwasserbereiter zeigen einen erheblichen Anstieg der Einfuhren, wenngleich die EU im Jahr 2023 eine positive Handelsbilanz von insgesamt 27 Mio. EUR aufwies<sup>104</sup>.

Die solarthermische Technologie stellt eine ausgereifte Option für die Dekarbonisierung dar, doch bleibt abzuwarten, ob sie einen bedeutsamen Marktanteil erreichen kann. Derzeit deckt Solarthermie nur 0,9 % des weltweiten Wärmeenergiebedarfs<sup>105</sup>. Die hohen Kosten für Solarwärme können gegenüber konventionellen Quellen wettbewerbsfähig sein, insbesondere in Gebieten mit guten Solarressourcen. Die solarthermische Technologie wird jedoch häufig in einem System mit einer anderen Wärmequelle installiert, während Wärmepumpen für viele Anwendungen eigenständige Lösungen bieten können. Die Solarthermie würde von koordinierten Anstrengungen und klaren Fahrplänen profitieren, wenn es darum geht, das Wachstum auf Kurs zu bringen, um das Ziel für 2030 zu erreichen.

EU-Unternehmen sind als Technologielieferanten gut aufgestellt, doch bedarf es weiterer Anstrengungen im Bereich der Normung und zum Aufbau eines Netzes von Installateuren mit Fachwissen auf dem Gebiet kosteneffizienter Lösungen, einschließlich der Hybridisierung mit anderen Technologien für erneuerbare Energien. Im Bereich der konzentrierenden Solarthermie wird eine Wiederbelebung des EU-Marktes in hohem Maße vom Vorschlag Spaniens abhängen, bis 2030 weitere 2,5 GW zu installieren<sup>106</sup>. Auch hier wäre eine Standardisierung der Konstruktion und Fertigung von entscheidender Bedeutung, um ein wettbewerbsfähiges Kostenniveau zu erreichen.

### 3.3. Onshore- und Offshore-Windkraft

Die EU nimmt in der weltweiten Windkraftindustrie eine Vorreiterrolle ein und konnte bislang eine starke Position behaupten. Ihre Wettbewerbsfähigkeit wird jedoch zunehmend von China unter Druck gesetzt. Die Windkraft spielt mit einer bis 2023 insgesamt installierten Windkraftkapazität von 219 GW (91 % an Land und 9 % auf See) eine zentrale Rolle bei der Energiewende in der EU<sup>107</sup>. Im Jahr 2023 wurden 16,8 GW an neuer Kapazität installiert, davon 83 % in Onshore-Windkraftanlagen und 17 % in Offshore-Anlagen<sup>108</sup>. Diese Entwicklungen kennzeichnen ein schnelleres Installationstempo (im Jahr 2022 wurden insgesamt 15,5 GW installiert) und machen das Jahr 2023, was die jährliche Installation angeht, zu einem Rekordjahr. Vorläufige Zahlen für 2024 zeigen, dass die EU eine zusätzliche Windkraftkapazität von 13,6 GW installiert hat, davon 10,7 GW onshore und 2,9 GW offshore<sup>109</sup>.

Mit der Netto-Null-Industrie-Verordnung hat sich die EU das Ziel gesetzt, bis 2030 eine Fertigungskapazität für Windkraft von mindestens 36 GW zu erreichen<sup>110</sup>. Im Jahr 2024 entfielen auf die EU 12,6 % der weltweiten Herstellung von Rotorblättern (~25 GW), 12,5 % der weltweiten Herstellung von Maschinenhäusern (~35 GW) und 21,8 % der weltweiten Herstellung von Türmen (~38 GW)<sup>111</sup>. Im Jahr 2023 lieferten EU-Unternehmen weltweit Windkraftanlagen mit einer Kapazität von mehr als 27 GW<sup>112</sup>. Der weltweite Marktanteil der

---

<sup>104</sup> CETO, [Solar Thermal Energy in the European Union](#), 2024.

<sup>105</sup> IEA, [Renewables 2023](#), 2024.

<sup>106</sup> Spanische Regierung, Integrierter nationaler Energie- und Klimaplan, Aktualisierung 2023-2030, 2024.

<sup>107</sup> Eurostat ([nrg\\_inf\\_eprcw](#)), zuletzt abgerufen am 12.2.2025.

<sup>108</sup> Eurostat ([nrg\\_inf\\_epc](#)), zuletzt abgerufen am 12.2.2025.

<sup>109</sup> JRC auf der Grundlage von GWEC und Rystad, 2025.

<sup>110</sup> ABl. L, 2024/1735, 28.6.2024, Erwägungsgrund 16.

<sup>111</sup> JRC auf der Grundlage von BloombergNEF und Rystad.

<sup>112</sup> Europäische Kommission, JRC, Mc Govern, L., Tapoglou, E., Georgakaki, A., Mountraki, A., Letout, S., Ince, E., GEA Bermudez, J., Schmitz, A. und Grabowska, M., CETO, [Wind Energy in the European Union](#), 2024.

EU-Hersteller ging jedoch im Jahr 2023 von den 30 % des Vorjahres auf 23 % zurück, während der Anteil der chinesischen Hersteller von 46 % auf 55 % stieg. Auf dem europäischen Markt dominieren weiterhin EU-Unternehmen, deren Marktanteil im Jahr 2023 89 % betrug. Um der künftigen Nachfrage gerecht zu werden, muss die Fertigungskapazität der EU auf der Grundlage der erwarteten steigenden Installationsrate erhöht werden. Dies ist von entscheidender Bedeutung, um den Kapitalaufwand für neue Anlagen zu senken, sicherzustellen, dass das Angebot die Nachfrage zu wettbewerbsfähigen Preisen deckt, und Lieferengpässe oder Kostensteigerungen zu vermeiden.

Die größten Herausforderungen für EU-Unternehmen betreffen insbesondere den intensiven Wettbewerbsdruck aus China. Chinesische Hersteller können deutlich niedrigere Preise anbieten als ihre europäischen Konkurrenten. Aus China ausgeführte Turbinen sind um rund 32 % billiger als die Turbinen der Wettbewerber<sup>113</sup>, und dies in einem Kontext, in dem der Preis von Windkraftanlagen und deren Komponenten im Vergleich zum Niveau vor der Pandemie weltweit um rund 26 % gestiegen ist<sup>114</sup>. Dies könnte zu ungleichen Wettbewerbsbedingungen für EU-Unternehmen führen und ihre künftige Wettbewerbsfähigkeit auf dem Weltmarkt beeinträchtigen.

Mit der Verbesserung des makroökonomischen Umfelds haben sich die Investitionen in Windkraft allmählich wieder erholt<sup>115</sup>, wobei im Jahr 2023 in der EU Rekordinvestitionen in Höhe von 48 Mrd. EUR getätigt wurden (gegenüber Investitionen von weniger als 20 Mrd. EUR im Jahr 2022). Im Jahr 2023 blieb die Onshore-Windkraft mit rund 18 Mrd. EUR auf einem dem Niveau von 2022 vergleichbaren Investitionsniveau, während die Investitionen bei der Offshore-Windkraft von 0,4 Mrd. EUR im Jahr 2022 auf 30 Mrd. EUR im Jahr 2023 anstiegen.

Die weltweite Windkraftindustrie ist in hohem Maße von komplexen Lieferketten abhängig, die anfällig für Störungen, Handelsspannungen und Engpässe bei kritischen Rohstoffen sein können. Der Bedarf an Materialien wie Kupfer und Stahl ist erheblich, da diese in verschiedenen Komponenten von Windkraftanlagen wie Generatoren, Türmen, Rotorblättern und Getrieben verwendet werden. Besonders besorgniserregend ist die starke Abhängigkeit von seltenen Erden aus China<sup>116</sup>, die für die Herstellung von Dauermagneten für Windturbinen von entscheidender Bedeutung sind. Anfälligkeiten bestehen auch hinsichtlich Komponenten und Teilkomponenten wie Generatoren, was das Risiko von Unterbrechungen der Lieferkette erhöht. Die Beschaffung sowohl von Materialien als auch von Komponenten kann auf einige wenige Länder konzentriert sein, was aufgrund geopolitischer Abhängigkeiten zu Lieferkettenrisiken führen kann. Dies macht deutlich, dass diversifizierte und resiliente Lieferketten vonnöten sind, um das Wachstum der Windkraftindustrie zu unterstützen.

Mit dem Europäischen Windkraft-Aktionsplan hat die Kommission Maßnahmen zur Förderung der Wettbewerbsfähigkeit der Windkraftindustrie in der EU vorgeschlagen<sup>117</sup>. Eine der damit verbundenen Initiativen, die Europäische Windcharta<sup>118</sup>, wurde im Dezember 2023 unterzeichnet. Die Charta bringt 26 Mitgliedstaaten zusammen, die sich verpflichtet haben, den EU-Windkraftsektor zu unterstützen, indem sie unter anderem die Fertigungskapazitäten in der

---

<sup>113</sup> BloombergNEF, *Wind Turbine Price Index 2H 2024*, 27. Dezember 2024.

<sup>114</sup> BloombergNEF, *Rising costs dampen the outlook for offshore wind*, 3. Juli 2024.

<sup>115</sup> Rystad und WindEurope, Bericht: [Rebound in wind energy financing in 2023 shows that the right policies attract investors](#), 21. März 2024.

<sup>116</sup> Europäische Kommission, Generaldirektion Binnenmarkt, Industrie, Unternehmertum und KMU, [Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023: Final Report](#), 2023.

<sup>117</sup> COM(2023) 669 final.

<sup>118</sup> [Europäische Windcharta](#), 2023.

EU ausbauen sowie das Auktions- und Genehmigungsverfahren verbessern und vereinfachen. Die laufenden Anstrengungen zur Unterstützung des Einsatzes, einschließlich schnellerer Genehmigung, Sichtbarkeit der Projekt-Pipeline und Investitionen ins Netz, müssen fortgesetzt werden, um sicherzustellen, dass Investitionen in künftige Windparks attraktiv bleiben und dass die Windkraftindustrie der EU in der Lage ist, die Chancen zu nutzen, die der weltweite Ausbau der Windkraft bietet.

### 3.4. Meeresenergie

Die Meeresenergie umfasst mehrere Technologien, wobei Gezeiten- und Wellenenergie die am weitesten fortgeschrittenen Technologien sind. Obwohl einige dieser Technologien einen hohen Technologie-Reifegrad erreicht haben, werden Meeresenergie-Technologien noch nicht in industriellem Maßstab eingesetzt.

Die EU ist führend bei der Entwicklung von Meeresenergie-Technologien, insbesondere bei Gezeiten- und Wellenenergie. Sie steht jedoch zunehmend im Wettbewerb mit anderen großen Volkswirtschaften wie den USA und China. Die USA haben in den letzten fünf Jahren 546 Mio. EUR<sup>119</sup> in Meeresenergie investiert. In den Jahren 2023 und 2024 verzeichnete der Markt beispiellose Finanzmittel und ein noch nie da gewesenes Interesse. Vorläufige Daten für 2024 zeigen, dass in diesem Jahr in Europa neue Meeresenergie-Kapazitäten in Höhe von mindestens 1 230 kW installiert wurden<sup>120</sup>. In der EU wurden im Jahr 2022 878 kW und im Jahr 2023 250 kW installiert<sup>121</sup>. Nationale Einnahmestützung (z. B. Differenzverträge oder Einspeisetarife) sowie EU- und nationale Mittel waren im Zeitraum 2023/2024 die wichtigsten Triebkräfte, um private Investitionen anzuziehen und die Entwicklung dieser Projekte in Europa zu fördern. Vertreter der Industrie erwarten eine Pipeline von 165 MW für 15 Pilot- und vorkommerzielle Parks<sup>122</sup>. Unter den Mitgliedstaaten haben Frankreich, Dänemark und die Niederlande den größten Anteil an der kumulierten installierten Kapazität bei der Gezeitenströmungsenergie, während Portugal und Spanien beim Einsatz von Anlagen zur Nutzung von Wellenkraft führend sind.

Die EU-Industrie spielt eine führende Rolle bei der Entwicklung des Sektors: 41 % der Entwickler im Bereich Gezeitenstrom und 52 % der Entwickler im Bereich Wellenenergie sind in der EU angesiedelt<sup>123</sup>. Die Herstellung von Getrieben, Generatoren und Steuersystemen ist überwiegend europäisch, wobei durch die Projekte Schätzungen zufolge mindestens 415 Vollzeitäquivalentstellen in der EU bereitgestellt werden. Weltweit betrachtet beläuft sich der Anteil der EU an hochwertigen Erfindungen auf 20 %, womit sie an zweiter Stelle hinter China (32 %) liegt<sup>124</sup>.

Die größte Herausforderung stellen nach wie vor die hohen Kapitalkosten dar, die die Investitionen und die Einführung verlangsamen, was Folgewirkungen für die Industrialisierung hat. Im Strategieplan für Energietechnologie (SET-Plan) werden diesbezüglich Ziele

---

<sup>119</sup> Unter Zugrundelegung des durchschnittlichen Wechselkurses von 0,9239 EUR für 1 USD im Jahr 2024, auf der Grundlage von Daten der [EZB](#).

<sup>120</sup> Vorläufige Daten von Ocean Energy Europe.

<sup>121</sup> Eurostat ([nrg\\_inf\\_epc](#)), zuletzt abgerufen am 12.2.2025.

<sup>122</sup> ETIP Ocean, [Strategic Research and Innovation Agenda for Ocean Energy](#), 2024.

<sup>123</sup> Europäische Kommission, JRC, Tapoglou, E., Mc Govern, L., Georgakaki, A., Mountraki, A., Letout, S., Ince, E., Gea Bermudez, J., Schmitz, A. und Grabowska, M., CETO, [Ocean Energy in the European Union](#), 2024.

<sup>124</sup> CETO, [Ocean Energy in the European Union](#), 2024.

vorgegeben: Bis 2030 sollen die Erzeugungskosten im Fall der Gezeitenströmungsenergie auf 0,10 EUR/kWh und im Fall der Wellenenergie auf 0,15 EUR/kWh gesenkt werden<sup>125</sup>. Dies soll insbesondere durch technologiespezifische Auktionen für Pilot- und vorkommerzielle Parks erreicht werden, die es in einigen Mitgliedstaaten noch nicht gibt. Zur Umsetzung der Projekt-Pipeline und der Erreichung dieser Ziele sind Instrumente zur Verringerung des Investitionsrisikos vonnöten. Derartige Instrumente zur Risikominderung könnten Darlehensbürgschaften für die ersten vorkommerziellen Parks umfassen, um die Kapitalkosten zu senken, Investoren anzuziehen und die Einführung zu beschleunigen. Dies wird Skaleneffekte freisetzen und die Kosten weiter senken, wie dies bereits bei etablierten erneuerbaren Energien der Fall war.

### 3.5. Batterien und Energiespeicherung

Europas Ambition, beim globalen Übergang zu sauberer Energie führend voranzugehen, setzt voraus, dass es in der Lage ist, schnell und in großem Maßstab fortschrittliche Batterietechnologien zu entwickeln, herzustellen und zu integrieren. In der Netto-Null-Industrie-Verordnung wird auf das Ziel verwiesen, bis 2030 in der EU eine Fertigungskapazität für Batterien von mindestens 550 GWh zu erreichen<sup>126</sup>.

Anfang 2024 schien die EU auf einem guten Weg, um ihre Ziele für 2030 zu erreichen. In der Zwischenzeit hat jedoch das schwedische Unternehmen Northvolt im November 2024 Insolvenzschutz beantragt. Schätzungen zufolge sind in Europa etwa 616 GWh geplante Fertigungskapazität als gestrichen, aufgeschoben oder reduziert gemeldet worden, was die Ziele für 2030 gefährden könnte<sup>127</sup>. Infolgedessen liegt der Anteil der EU an der weltweiten betriebsbereiten Batterieproduktion mit 7 % im Jahr 2024 unter früheren Schätzungen. Gleichzeitig dürfte sich die weltweite Gesamtproduktion in den kommenden fünf Jahren fast verfünffachen, und der prognostizierte Anteil der EU von 10 % an der weltweiten Produktion würde den prognostizierten Bedarf der EU im Jahr 2030 vollständig decken, sofern er erzielt wird<sup>128</sup>.

Die Zellenproduktion in der EU ist mit kritischen Risiken in der Lieferkette konfrontiert, insbesondere aufgrund der hohen Abhängigkeit von China bei Kathoden und Anoden und höherer Produktionskosten – in der Regel 70 % bis 130 % mehr pro Einheit Produktionskapazität als in China<sup>129</sup>. Die Zunahme der weltweiten Überproduktion von Zellen und die sinkende Nachfrage nach Elektrofahrzeugen führten dazu, dass die europäischen Produktionsstätten unterhalb ihrer Kapazität betrieben wurden oder die Produktion gestoppt bzw. zurückgestellt wurde, wie etwa im Volkswagenwerk Salzgitter (nur 20 GWh statt 40 GWh)<sup>130</sup>. Für das Jahr 2030 sagen Prognosen ein weltweites Überangebot an Batteriezellen voraus. Darüber hinaus nehmen handelspolitische Schutzmaßnahmen zu, darunter beispielsweise US-Zölle auf chinesische Elektrofahrzeuge. Eine weitere Eskalation der

---

<sup>125</sup> SET-Plan, [Ocean energy implementation plan](#), 2021; CETO, [Ocean Energy in the European Union](#), 2024.

<sup>126</sup> ABl. L, 2024/1735, 28.6.2024, Erwägungsgrund 16.

<sup>127</sup> BloombergNEF, *Northvolt Collapse Underscores Importance of Supply Chains*, 2024.

<sup>128</sup> 237 GWh Produktionskapazität in der EU gegenüber einer weltweiten Produktionskapazität von 3 347 GWh im Jahr 2024 und schätzungsweise 1 510 GWh Produktionskapazität in der EU gegenüber einer weltweiten Produktionskapazität von 14 903 GWh im Jahr 2030, auf der Grundlage von BloombergNEF, zuletzt abgerufen am 20.2.2025.

<sup>129</sup> IEA, *Advancing Clean Technology Manufacturing Report*, 2024.

<sup>130</sup> Reuters, *Volkswagen's German battery plant to stay at half capacity amid cost pressures*, 2024.

Handelsspannungen könnte die Kosten erhöhen und sich auf Beschaffungsentscheidungen in der Batterie-Lieferkette auswirken<sup>131</sup>. In der EU hat die Kommission im Jahr 2024 eine Antisubventionsuntersuchung betreffend die Einfuhren batteriebetriebener Elektrofahrzeuge aus China abgeschlossen, die zu Ausgleichszöllen auf eingeführte Fahrzeuge geführt hat<sup>132</sup>.

Die weltweite Kapazität des netzgebundenen Batterie-Energiespeichersystems (BESS) erreichte im Jahr 2024 168 GWh, was einen erheblichen Anstieg gegenüber den 96,1 GWh im Jahr 2023 darstellt<sup>133</sup>. Auf China entfielen weltweit 67 % der eingesetzten BESS, gefolgt von den USA und Kanada, wobei Europa derzeit bei der Einführung von BESS hinterherhinkt. Die Energiespeicherung „nach dem Zähler“ erreichte im Jahr 2024 weltweit 40 GWh. Bis 2035 dürften 16 % der weltweit eingesetzten Batterien auf stationäre Anwendungen entfallen, gegenüber 6 % im Jahr 2020<sup>134</sup>. Die meisten führenden Lieferanten von BESS-Batterien haben ihren Sitz in Asien.

Um mit ihren Wettbewerbern Schritt zu halten, muss die EU die Produktionskapazität schneller ausbauen und zuverlässige Wertschöpfungsketten aufbauen, mehr in Forschung und Entwicklung für neue Batterietechnologien investieren und kritische Lücken in ihrer Wertschöpfungskette mithilfe alternativer Lösungen schließen.

### 3.6. Wärmepumpen-Technologien

In der EU ansässige Hersteller von Wärmepumpen für die Endmontage gehören zu den weltweit führenden Anbietern hochwertiger hydronischer Lösungen für Wohngebäude, während chinesische Unternehmen den Markt für reversible Klimaanlage dominieren<sup>135</sup>. Die Hersteller in der EU haben für dieses Jahrzehnt einen Ausbau ihrer Endmontagekapazität um über 30 GWth angekündigt. Im Jahr 2023 lag die Kapazität bereits bei etwa 24 GWth. Mit diesem geplanten Ausbau wird die EU-Industrie den von der Internationalen Energie-Agentur ermittelten Bedarf der EU von rund 60 GWth im Jahr 2030 fast decken<sup>136</sup>. Während die EU auf dem richtigen Weg ist, das Ziel der Netto-Null-Industrie-Verordnung von einer Fertigungskapazität von mindestens 31 GWth für die Endmontage von Wärmepumpen zu erreichen, sind die EU-Unternehmen derzeit bei der Herstellung bestimmter Komponenten nicht so gut aufgestellt.

Das Handelsbilanzdefizit der EU bei hydronischen Wärmepumpen wurde 2023 aufgrund eines Rückgangs der Einfuhren um 13 % und eines Anstiegs der Ausfuhren um 14 % um ein Drittel verringert<sup>137</sup>. Gleichzeitig ging der Verkauf von Wärmepumpen in der EU im Jahr 2023 im Vergleich zu 2022 um 7,2 % zurück, nachdem über ein Jahrzehnt lang ein stetiges Wachstum

---

<sup>131</sup> BloombergNEF, *Energy Storage: 10 Things to Watch in 2025*, 2025.

<sup>132</sup> ABl. L, 2024/2754, 29.10.2024.

<sup>133</sup> Energy Storage News, [Global BESS deployments soared 53% in 2024](#), 2025.

<sup>134</sup> Auf der Grundlage von BloombergNEF, Januar 2025.

<sup>135</sup> Daten von COMEXT/COMTRADE für HS-Code 841861 - Wärmepumpen; ausgenommen Klimageräte: EU-Ausfuhren in die Welt: 3 837 Mio. EUR, davon 603 Mio. EUR in Länder außerhalb der EU; Ausfuhren Chinas in die Welt: 971 Mio. EUR. Und Daten von COMEXT/COMTRADE für den HS-Code 841581 – Klimageräte: EU-Ausfuhren in die Welt: 782 Mio. EUR, davon 177 Mio. EUR in Länder außerhalb der EU; Ausfuhren Chinas in die Welt: 549 Mio. EUR.

<sup>136</sup> IEA, *Advancing Clean Technology Manufacturing*, 2024. Szenario von Netto-Null-Emissionen bis 2050; Umfang: Wärmepumpen für die Raumheizung und Warmwasserbereitung in Wohn- und Geschäftsgebäuden, reversible Klimageräte, soweit sie als primäre Heizgeräte verwendet werden.

<sup>137</sup> HS 841861– Wärmepumpen (ausg. Klimageräte). Weitere Einzelheiten in: Europäische Kommission, JRC, Toleikyte, A., Lecomte, E., Volt, J., Lyons, L., Roca Reina, J.C., Georgakaki, A., Letout, S., Mountraki, A., Wegener, M., Schmitz, A., CETO, [Heat Pumps in the European Union](#), 2024.

verzeichnet worden war<sup>138</sup>. Dieser Trend setzte sich 2024 fort, da die Verkäufe in Europa im Vergleich zu 2023 um 31 % zurückgingen<sup>139</sup>. Dies führte zu Kurzarbeit und Arbeitsplatzabbau in der Branche sowie zu Unsicherheiten bei Entscheidungen über Investitionen in die Fertigung. 2023 verlangsamte sich auch das Wachstum der Fertigungskapazität in der EU<sup>140</sup>. Um diesen Trend umzukehren, fordert die Industrie ehrgeizige EU-Ziele für die Dekarbonisierung der Raumheizung, stabile langfristige nationale politische Rahmen und ein günstiges Strom-Gas-Preisverhältnis<sup>141</sup>.

Die Kosten für die Endmontage der Wärmepumpen werden in Europa und den USA heute auf etwa 184-230 EUR/kW<sup>142</sup> geschätzt, was etwa dem Doppelten der für China geschätzten Kosten entspricht. Da die Komponenten 75 % der Endkosten ausmachen, sind vertikal integrierte Hersteller wettbewerbsfähiger<sup>143</sup>. Die EU-Industrie ist nach wie vor weitgehend von Einfuhren von Komponenten wie Kompressoren, Wärmetauschern, Ventilen und Kältemitteln abhängig. Um diese Abhängigkeit zu verringern und so die Wettbewerbsfähigkeit und Widerstandsfähigkeit im Bereich der Herstellung von Wärmepumpen für Wohngebäude zu stärken, wären eine stärkere Diversifizierung der Zulieferer und stärkere Wertschöpfungsketten in der EU erforderlich.

Bei **industriellen Wärmepumpen** haben die EU-Hersteller weltweit eine führende Rolle übernommen und decken die gesamte Lieferkette ab<sup>144</sup>. Laut der Internationalen Energie-Agentur sollten bis 2050 etwa 30 % des industriellen Wärmebedarfs bis 400 °C durch industrielle Wärmepumpen gedeckt werden, wovon die Hälfte bereits bis 2030 erreicht werden sollte<sup>145</sup>. Industrielle Wärmepumpen haben auch das Potenzial, den Wärmebedarf unter 200 °C zu decken, der 37 % des industriellen Wärmebedarfs ausmacht<sup>146</sup>. Entsprechende Anwendungen gibt es bereits in den Sektoren Lebensmittel, Getränke, Zellstoff und Papier.

Für die Weiterentwicklung industrieller Wärmepumpen sind FuE-Projekte vonnöten, um das Spektrum der Anwendungen zu erweitern und die schnellstmögliche Anwendung und Standardisierung der Technologien zu ermöglichen<sup>147</sup>. Darüber hinaus sind Investitionen in die Lieferkette der EU erforderlich, um die Produktionskapazitäten auszubauen und die Produktkosten zu senken. Die Industrie sieht in industriellen Wärmepumpen das Potenzial, zu einer europäischen Erfolgsgeschichte zu werden.

---

<sup>138</sup> European Heat Pump Association (EHPA), Market Report, 2024, beschränkt auf AT, BE, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, HU, IE, IT, LT, NL, PL, PT, SE und SK. Hauptsächlich Wärmepumpen für die Raumheizung und die Sanitärwarmwasserbereitung.

<sup>139</sup> BloombergNEF, Europe's Heat Pump Market Collapse Triggers Spending Dip, 2025.

<sup>140</sup> IEA, *Advancing Clean Technology Manufacturing*, 2024.

<sup>141</sup> EHPA, *EU Heat Pump Accelerator*, 2023.

<sup>142</sup> Unter Zugrundelegung des durchschnittlichen Wechselkurses von 0,9239 EUR für 1 USD im Jahr 2024, auf der Grundlage von Daten der [EZB](#).

<sup>143</sup> IEA, *Advancing Clean Technology Manufacturing*, 2024.

<sup>144</sup> IEA HPT TCP, [Annex 58 High-Temperature Heat Pumps](#), 2023. 20 in der EU und 7 in Norwegen; 24 in Japan, von denen 9 auf die Technologie der mechanischen Brüdenverdichtung (MBV) spezialisiert sind; sowie MBV-Anlagen in China.

<sup>145</sup> IEA, *Net Zero by 2050*, 2021.

<sup>146</sup> TNO, [Strengthening Industrial Heat Pump Innovation](#), 2020.

<sup>147</sup> IEA Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (HPT TCP), [Annex 58 High-Temperature Heat Pumps](#), 2023.

### 3.7. Geothermische Energie

Im Jahr 2024 hat die geothermische Energie an öffentlicher Aufmerksamkeit und politischer Dynamik gewonnen. In diese politische Dynamik sind die Entschließung des Europäischen Parlaments zu der geothermischen Energie<sup>148</sup> und die Schlussfolgerungen des Rates zu der geothermischen Energie<sup>149</sup> einzuordnen. Im Jahr 2023 belief sich die installierte Nettokapazität bei der geothermischen Energie in der EU auf rund 0,9 GWe<sup>150</sup> (weltweit 14,8 GWe<sup>151</sup>). Die Nutzung geothermischer Direktwärme nahm stetig zu. Im Jahr 2023 gab es 298 Fernwärme- und Fernkältesysteme<sup>152</sup>.

EU-Unternehmen spielen eine wichtige Rolle im Binnenmarkt, von der Standortuntersuchung bis zur Stilllegung, da die Wertschöpfungsketten für die Nutzung in der Regel ausschließlich inländisch sind<sup>153</sup>. Was die Herstellung von Endprodukten betrifft, so wird davon ausgegangen, dass der Sektor das in der Netto-Null-Industrie-Verordnung festgelegte Ziel der Deckung von 40 % des Bedarfs durch die Produktion innerhalb der EU erreicht<sup>154</sup>. Dagegen wird der Weltmarkt für Komponenten wie Turbinen, Turboexpander, Pumpen, Ventile und Steuerungssysteme von Nicht-EU-Unternehmen dominiert. Japan produziert 82 % der Turbinen für das Flashverfahren und Israel 74 % der Expander für das Binärverfahren. Die europäischen Hersteller dieser Technologien sind hauptsächlich in Italien und in geringerem Maße in Deutschland und Frankreich angesiedelt<sup>155</sup>. Im Bereich Forschung und Innovation war die EU früher weltweit führend bei hochwertigen Erfindungen, bevor sie 2019 von China überholt wurde<sup>156</sup>.

Die Koproduktion von Lithium und anderen Rohstoffen kann die wirtschaftliche Nachhaltigkeit geothermischer Anlagen erhöhen. Was die Materialabhängigkeit betrifft, ist diese Technologie durch einen großen Bedarf an Stahl gekennzeichnet, von dem ein Großteil aus Asien eingeführt wird. In geringerem Maße benötigt der Geothermiesektor auch kritische Rohstoffe wie Aluminium<sup>157</sup>, Kupfer und Titan<sup>158</sup>. Im jüngsten Initiativbericht des Europäischen Parlaments<sup>159</sup> und in den Schlussfolgerungen des Rates<sup>160</sup> wird unter anderem Folgendes empfohlen: i) Verbesserung der politischen Sichtbarkeit und des allgemeinen Bewusstseins für das Potenzial und die Herausforderungen der Geothermie; ii) Lösung des Problems der Datenverfügbarkeit; iii) Verringerung der Investitionsrisiken durch die Umsetzung von Garantieregelungen; iv) Straffung und Beschleunigung der Genehmigungsverfahren; v) Förderung bewährter Verfahren; vi) Bekämpfung des Fachkräftemangels; und vi) Verbesserung der öffentlichen Akzeptanz.

---

<sup>148</sup> Europäisches Parlament, Entschließung vom 18. Januar 2024 zu der geothermischen Energie (2023/2111(INI)).

<sup>149</sup> Rat der Europäischen Union, Schlussfolgerungen zur Förderung der geothermischen Energie, 16. Dezember 2024.

<sup>150</sup> Eurostat ([nrg\\_inf\\_epcrw](#)), zuletzt abgerufen am 12.2.2025.

<sup>151</sup> Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), *Renewables Global Status Report*, 2024.

<sup>152</sup> European Geothermal Energy Council (EGEC), *Geothermal Market Report 2023*, 2024.

<sup>153</sup> EGEC, *Geothermal Market Report 2023*, 2024.

<sup>154</sup> Europäische Kommission, JRC, Taylor, N., Georgakaki, A., Ince, E., Letout, S. Mountraki, Gea Bermudez, J. und Schmitz, A., CETO, *Geothermal Energy in the European Union*, 2024.

<sup>155</sup> EGEC, *Geothermal Market Report 2023*, 2024.

<sup>156</sup> CETO, *Geothermal Energy in the European Union*, 2024.

<sup>157</sup> EGEC, *Geothermal Market Report 2023*, 2024.

<sup>158</sup> Europäische Kommission, Generaldirektion Forschung und Innovation, Schleker, T., Hicks, M., Cressida Howard, I., Ohrvik-Stott, J. et al., *Study on clean energy R&I opportunities to ensure European energy security by targeting challenges of distinct energy value chains for 2030 and beyond*, 2024.

<sup>159</sup> Europäisches Parlament, Entschließung vom 18. Januar 2024 zu der geothermischen Energie (2023/2111(INI)).

<sup>160</sup> Rat der Europäischen Union, Schlussfolgerungen zur Förderung der geothermischen Energie, 16. Dezember 2024.

### 3.8. Wasserstofftechnologien: Elektrolyseure und Brennstoffzellen

Die Wasserelektrolyse ist ein Prozess, bei dem mithilfe elektrischen Stroms Wasserstoff aus Wasser gewonnen wird. Wenn der Strom aus erneuerbaren und CO<sub>2</sub>-armen Quellen stammt, kann diese Technologie eine Schlüsselrolle bei der Dekarbonisierung schwer zu dekarbonisierender Industriesektoren spielen, insbesondere im Bereich der Herstellung von energieintensiven Materialien (z. B. Stahl, Zement) und Düngemitteln sowie im See- und Luftverkehr. Die Fertigungskapazität für Elektrolyseure nimmt in Europa zu, unterstützt durch rechtliche und finanzielle Rahmenbedingungen<sup>161</sup>. Im Rahmen der ersten Auktion der Europäischen Wasserstoffbank im Jahr 2024 wurden 720 Mio. EUR für sieben Projekte bereitgestellt. Dies ermöglicht zwar bei mehr Projekten endgültige Investitionsentscheidungen, doch sind europäische Unternehmen nach wie vor mit finanziellen und operativen Hindernissen konfrontiert.

Die Kapazität der in Europa installierten Elektrolyseure ist von 228 MWe im Jahr 2023 auf 663 MWe im Jahr 2024 gestiegen (laufende Projekte oder Projekte, bei denen eine Investitionsentscheidung getroffen wurde), davon 517 MWe in EU-Mitgliedstaaten<sup>162</sup>. Die weltweit installierte Kapazität ist von 1,4-1,7 GWe im Jahr 2023 auf 5 GWe im Jahr 2024 gestiegen<sup>163</sup>. Davon befinden sich 2,7 GWe in China und etwa 300 MWe in den USA.

Die europäische Fertigungskapazität für Elektrolyse-Stacks beläuft sich Schätzungen im Jahr 2024 zufolge auf 10-15,7 GWe jährlich<sup>164</sup>, während die weltweite Kapazität auf 40-54 GWe pro Jahr geschätzt wird<sup>165</sup>. China weist mit rund 20 GWe im Jahr 2024 die höchste Fertigungskapazität auf<sup>166</sup>.

Trotz des Ausbaus der Fertigungskapazität und der Steigerung der Anlagengröße wurden die erwarteten Kostensenkungen noch nicht erreicht. Dies ist auf die Inflation und andere Kosten wie etwa für Hilfskomponenten und den Netzanschluss sowie indirekte Kosten zurückzuführen. Jüngsten Studien zufolge belaufen sich die mit der Investition verbundenen Kosten für alkalische 100 MW-Anlagen auf 3 050 EUR pro kW und bei 200-MW-Anlagen auf 2 630 EUR pro kW<sup>167</sup>, was mindestens viermal so hoch ist wie in Asien. Einige europäische Hersteller geben an, dass sie nicht genügend Käufer für ihre Produktion haben, was ihre Fähigkeit, die Kapitalkosten pro kW zu senken, und die Rentabilität von erneuerbarem und CO<sub>2</sub>-armem Wasserstoff in vielen Geschäftsszenarien beeinträchtigt.

---

<sup>161</sup> Hierzu gehören die Verbrauchsziele in der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (EU) 2023/2413, das Ziel der Elektrolyseur-Partnerschaft, bis 2025 jährlich 25 GWe zu erreichen, und vier IPCEI in den Bereichen Wasserstoff und Brennstoffzellen, siehe: [https://competition-policy.ec.europa.eu/state-aid/ipcei/approved-ipceis\\_en](https://competition-policy.ec.europa.eu/state-aid/ipcei/approved-ipceis_en).

<sup>162</sup> Auf der Grundlage des Datensatzes zu den Wasserstoffprojekten der IEA, auf den im Januar 2025 für die EU, NO, UK und CH zugegriffen wurde.

<sup>163</sup> Europäische Kommission, JRC, Bolard, J., Dolci, F., Gryc, K., Eynard, U., Georgakaki, A., Letout, S., Mountraki, A., Ince, E., Shtjefni, D., Rózsai, M. und Wegener, M., CETO, *Water Electrolysis and Hydrogen in the European Union*, 2024; IEA, *Global Hydrogen Review*, 2024. Die IEA vermeldet im Jahr 2024 für die USA eine deutlich geringere installierte Kapazität als die 717 MWe, die im Jahr 2023 in der Projektdatenbank ausgewiesen wurden.

<sup>164</sup> IEA, *Global Hydrogen Review*, 2024; CETO, *Water Electrolysis and Hydrogen in the European Union*, 2024. Der obere Bereich bezieht sich auf Rystadt Energy und schließt die im Aufbau befindliche Fertigungskapazität ein (Oktober 2024).

<sup>165</sup> IEA, *Global Hydrogen Review*, 2024. Geschätzte Daten für den oberen Bereich in BloombergNEF, *Electrolysers, too many fish in the Pond*, 2024.

<sup>166</sup> IEA, *Global Hydrogen Review*, 2024. Der obere Bereich bezieht sich auf die Hauptsitze der OEMs in China.

<sup>167</sup> Auf der Grundlage von BloombergNEF, *Electrolyser Price Survey*, 2024; TNO, *Evaluation of the levelised cost of hydrogen based on proposed electrolyser projects in the Netherlands*, 2024.

Das Wachstum des Angebots in Europa verlangsamt sich. Dies ist auf Engpässe in der vorgelagerten Lieferkette, das Fehlen geeigneter Nachfragevolumina und Abhängigkeiten bei kritischen Rohstoffen (z. B. Metalle der Platingruppe)<sup>168</sup> und Komponenten<sup>169</sup> zurückzuführen. Diese Faktoren tragen auch zu höheren Herstellkosten bei. Die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Elektrolyseure ist daher moderat. Einerseits gibt es im Handel Produkte für die wichtigsten Gruppen von Elektrolyseuren<sup>170</sup> und sind die EU-Akteure in Bezug auf hochwertige Patente gut aufgestellt<sup>171</sup>. Andererseits hat die Stackmontage lange Vorlaufzeiten, weist die Wertschöpfungskette Schwachstellen im vorgelagerten Bereich auf und sind die Systeme teurer, was sich Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Hersteller auswirkt. Das Geschäftsszenario kann auch durch andere Aspekte beeinflusst werden, wie z. B. Garantien nach der Fertigung und hohe Betriebskosten bei der Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff.

Die Stromkosten spielen bei den Wasserstoff-Gestehungskosten eine wichtige Rolle. Dies liegt daran, dass Strom einen erheblichen Teil der Gesamtkosten ausmacht, wobei der relative Anteil je nach Standort und technischen Eigenschaften der Elektrolyseure variiert<sup>172</sup>. Bei den jüngsten Projekten in den Niederlanden lagen die Gestehungskosten für Wasserstoff<sup>173</sup> beispielsweise bei 12-14 EUR/kg Wasserstoff für Offshore-Strom für Elektrolyseursysteme mit einer Leistung von 100-200 MWe. Die Gestehungskosten für Wasserstoff werden in erheblichem Maße von der Konzeption, dem Betrieb und dem Standort der Projekte abhängen.

Zu den verbleibenden Herausforderungen im Bereich Forschung und Innovation gehören die Substitution von in Membranen verwendeten Ewigkeitschemikalien, die Senkung der Systemkosten, die Verbesserung der Leistung und Lebensdauer der Systeme, die Verringerung des Frischwasserverbrauchs und die Einführung in den Endverbrauchssektoren zu wettbewerbsfähigen Preisen.

**Brennstoffzellen (BZ)** sind Systeme zur effizienten Stromerzeugung aus sauberem Wasserstoff. Sie haben einen Mehrwert bei der Bereitstellung dekarbonisierter Lösungen für Verkehr, Heizung oder netzunabhängigen Strom. Sie werden in erster Linie in mit Brennstoffzellen betriebenen Elektrofahrzeugen, Bussen und Regionalzügen sowie in geringerem Maße in Heizungsanlagen und Maschinen sowie zur stationären netzunabhängigen Stromerzeugung eingesetzt. In der EU schaffen Emissionsnormen und CO<sub>2</sub>-Preise zusätzliche Anreize für Investitionen. Im Jahr 2023 belief sich die geschätzte installierte Kapazität weltweit auf 7,8 GW. Führend ist Asien (72 %), gefolgt von den USA und Kanada (18 %) und Europa mit 0,6 GW (8 %)<sup>174</sup>. Der größte Teil des Marktes betrifft die Mobilität<sup>175</sup>.

Europäische Hersteller bieten Brennstoffzellenbusse an, doch werden die Brennstoffzellen in den meisten Fällen von anderen Lieferanten, insbesondere aus Kanada und Japan, bezogen. In der EU werden Brennstoffzellen-Prototypen für schwere Nutzfahrzeuge entwickelt, da das Interesse an einem sauberen Verkehr wächst und die Gesamtbetriebskosten nach 2035 möglicherweise das Niveau der Gesamtbetriebskosten von Diesel-Lkw erreichen. Es wird

---

<sup>168</sup> Auf der Grundlage von JRC, [Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU](#), 2023. 1-5 % der kritischen Rohstoffe für Elektrolyseure werden in Europa bezogen.

<sup>169</sup> Auf der Grundlage von BloombergNEF, [Electrolyser Overcapacity](#), 2024.

<sup>170</sup> Die vier wichtigsten kommerziellen Technologien sind: alkalische Elektrolyse, Protonenaustausch-Membran-Elektrolyse, Festoxid-Elektrolyse und Anionenaustausch-Membran-Elektrolyse. Die protonenleitende Keramik-Elektrolyse ist eine weitere in der Entwicklung befindliche Technologie.

<sup>171</sup> European Climate-neutral industry competitiveness scoreboard (CIndECS). 31 % der hochwertigen Erfindungen in der EU.

<sup>172</sup> CETO, [Water Electrolysis and Hydrogen in the European Union](#), 2024.

<sup>173</sup> TNO, [Evaluation of the levelised cost of hydrogen based on proposed electrolyser projects in the Netherlands](#), 2024.

<sup>174</sup> Auf der Grundlage von Rystad Energy, [Fuel Cell Installed Capacity Dataset](#), 2024.

<sup>175</sup> European Hydrogen Observatory, [Fuel Cell Market Dataset](#), 2021.

erwartet, dass mit Brennstoffzellen betriebene schwere Nutzfahrzeuge weiterhin teurer sein werden als batterieelektrische. Brennstoffzellen zum Heizen werden in der EU wahrscheinlich nur eine Nebenrolle spielen.

Die Widerstandsfähigkeit der Wertschöpfungsketten sowohl für Elektrolyseure als auch für Brennstoffzellen muss gestärkt werden, angefangen bei der Beschaffung von Rohstoffen über die Herstellung und Lieferung von Komponenten bis hin zur Verkürzung der Lieferzeiten vollständiger Systeme in Europa, wobei die Kosten wettbewerbsfähig sein müssen. Die Verfügbarkeit großer Mengen an kostengünstigem erneuerbarem und CO<sub>2</sub>-armem Wasserstoff bleibt eine politische Priorität.

### 3.9. Nachhaltige Biogas- und Biomethantechnologien

Europa verfügt über eine ausgereifte, hauptsächlich im Bereich der Stromerzeugung aus Biogas tätige Branche. Außerdem wachsen die Märkte für Wärme und Transport, angetrieben durch die Netzeinspeisung von Biomethan. Fast 50 % der Erzeugung entfallen auf Europa, wobei allein Deutschland 20 % der weltweiten Nachfrage deckt<sup>176</sup>. Die anaerobe Vergärung ist nach wie vor die wichtigste kommerzielle Technologie zur Erzeugung von Biogas, das dann zu Biomethan aufbereitet wird. Die EU ist mit einer Gesamtproduktion von rund 22,1 Mrd. Kubikmetern im Jahr 2023<sup>177</sup> ein führender Erzeuger von Biogas und Biomethan. Sie ist auch führend in der Herstellung der Ausrüstung. Die Kapazität der EU für die Erzeugung von Biomethan durch anaerobe Vergärung belief sich 2023 auf 3,8 Mrd. m<sup>3</sup> und die geschätzte tatsächliche jährliche Erzeugung auf 3,5 Mrd. m<sup>3</sup>. Bis 2030 dürfte sich die Erzeugungskapazität jedoch voraussichtlich verfünffachen<sup>178</sup>. Die derzeitige Wachstumsrate beim Biomethan in der EU orientiert sich eng an den Zielen der nationalen Energie- und Klimapläne für 2030 und steht im Einklang mit dem REPowerEU-Ziel.

In der EU gibt es weltweit führende Unternehmen in der Erzeugung von Biogas und Biomethan sowie in der Herstellung von Komponenten (z. B. Faulbehälter, Biogasaufbereitungsanlagen, Vergaser)<sup>179</sup>. Neue Wege werden derzeit entwickelt, wobei die EU federführend ist<sup>180</sup>. Im Rahmen des EU-Programms Horizont wurden mehr als 120 Mio. EUR in 20 innovative Projekte investiert, um die Technologie in diesem Bereich voranzubringen. Innovative Technologien zur direkten Erzeugung von Biomethan, wie die Vergasung von Biomasserückständen und Abfällen, wurden in der EU noch nicht weit verbreitet (2 000 t/Jahr an installierter und betriebsbereiter Erzeugungskapazität im Jahr 2023; allerdings wird die Biomethanerzeugung bis 2030 voraussichtlich auf 0,7 Mrd. m<sup>3</sup> steigen<sup>181</sup>). Mit ihrer Kapazität von rund 7,3 TWh im Jahr 2023, die bis 2025 auf 15,4 TWh steigen dürfte, stellen Bio-LNG-Produktionsanlagen eine wertvolle Option in der EU dar<sup>182</sup>.

---

<sup>176</sup> IEA, Renewables 2023, [Special section: Biogas and biomethane](#), 2024.

<sup>177</sup> Auf der Grundlage von European Biogas Association (EBA), [Statistical report](#), 2024.

<sup>178</sup> Europäische Kommission, Generaldirektion Forschung und Innovation, [Development of outlook for the necessary means to build industrial capacity for drop-in advanced biofuels](#), (Anhang 3), 2024.

<sup>179</sup> Europäische Kommission, Generaldirektion Forschung und Innovation, [Study on energy technology dependence](#), 2020.

<sup>180</sup> Europäische Kommission, JRC, Motola, V., Scarlat, N, Buffi, M., Hurtig, O., Rejtharova, J., Georgakaki, A., Mountraki, A., Letout, S., Salvucci, R., Rózsai, M. und Schade, B., CETO, [Bioenergy in the European Union](#), 2024.

<sup>181</sup> Europäische Kommission, Generaldirektion Forschung und Innovation, [Development of outlook for the necessary means to build industrial capacity for drop-in advanced biofuels](#), (Anhang 3), 2024.

<sup>182</sup> CETO, [Bioenergy in the European Union](#), 2024.

Auf die EU entfällt ein erheblicher Teil der Investitionen im Bereich Biogas und sie ist bei hochwertigen Patenten führend<sup>183</sup>. Bei Biogastechnologien (anaerobe Vergärung und Gasaufbereitung) finden sich keine kritischen Abhängigkeiten in Bezug auf Materialien, Komponenten oder Lieferanten, und es besteht keine Abhängigkeit in Bezug auf Ausrüstungen, Materialien oder Technologienlieferanten, die für einen Vergaser spezifisch sind<sup>184</sup>. Zudem ist die EU nicht abhängig von der Einfuhr von biologischen Ausgangsmaterialien<sup>185</sup>. Bei Gasmotoren und Turbinen für die Stromerzeugung bestehen jedoch – wie im Fall aller gasförmigen Brennstoffe – Abhängigkeiten von Nicht-EU-Lieferanten.

Hohe Kosten stehen derzeit der weiteren Nutzung von Biomethan im Wege, da die Kapitalkosten für eine anaerobe Vergärungsanlage für Biogas zwischen 1 500 und 2 000 EUR/kW<sup>186</sup> betragen und die Gesamtkosten für die Erzeugung und Aufbereitung von Biogas schätzungsweise etwa 100 EUR/MWh betragen<sup>187</sup>. Ebenso belaufen sich die Kapitalkosten für eine Vergasungsanlage für Biomethan auf 2 000-3 600 EUR/kW und die Produktionskosten auf etwa 89-112 EUR/MWh<sup>188</sup>.

Damit die EU in diesem Sektor weiterhin wettbewerbsfähig bleibt, müssen Innovationen bei Technologien für die nachhaltige Biomethanherzeugung durch Vergasung und durch die Aufbereitung von Biogas aus anaerober Vergärung weiter gefördert werden, um die Erzeugungskapazität zu erhöhen und die Erzeugungskosten zu senken. Darüber hinaus sollte der Netzzugang für Biogas- und Biomethananlagen erleichtert werden.

### 3.10. CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung (CCS)

Mit ihrer Strategie für das industrielle CO<sub>2</sub>-Management<sup>189</sup>, die im Februar 2024 angenommen wurde, legt die EU eine Vision für einen soliden Regelungs- und Investitionsrahmen für Technologien für Abscheidung, Transport, Nutzung und Speicherung von CO<sub>2</sub> sowie für Technologien zur CO<sub>2</sub>-Entnahme aus der Atmosphäre dar. Unterstützt durch die Netto-Null-Industrie-Verordnung, in der ein jährliches Ziel für die Injektionskapazität der Speicherstätten in der EU bis 2030 von mindestens 50 Mio. Tonnen festgelegt ist<sup>190</sup>, werden in der Strategie konkrete Maßnahmen zur Unterstützung von CCS-Technologien festgelegt.

Die EU ist im Bereich der Technologien zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung gut aufgestellt: Fünf der 16 größten Anbieter von Technologien für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung sind EU-Unternehmen<sup>191</sup>. In Bezug auf den CO<sub>2</sub>-Transport, die CO<sub>2</sub>-Speicherung und die gesamte Wertschöpfungskette liegt Europa jedoch hinter den USA und Kanada zurück, da nur sehr wenige Unternehmen die

---

<sup>183</sup> CETO, [Bioenergy in the European Union](#), 2024.

<sup>184</sup> Europäische Kommission, Generaldirektion Forschung und Innovation, [Study on energy technology dependence](#), 2020.

<sup>185</sup> CETO, [Bioenergy in the European Union](#), 2024.

<sup>186</sup> Europäische Kommission, Generaldirektion Forschung und Innovation, [Development of outlook for the necessary means to build industrial capacity for drop-in advanced biofuels](#), 2023.

<sup>187</sup> IEA, [Outlook for Biogas and Biomethane](#), 2020; Europäische Kommission, Generaldirektion Forschung und Innovation, [Development of outlook for the necessary means to build industrial capacity for drop-in advanced biofuels](#), (Anhang 3), 2024.

<sup>188</sup> Europäische Kommission, Generaldirektion Forschung und Innovation, [Development of outlook for the necessary means to build industrial capacity for drop-in advanced biofuels](#), (Anhang 3), 2024.

<sup>189</sup> COM(2024) 62 final.

<sup>190</sup> ABl. L, 2024/1735, 28.6.2024, Erwägungsgrund 36.

<sup>191</sup> Europäische Kommission, JRC, Martinez Castilla, G., Tumara, D., Mountraki, A., Letout, S., Jaxa-Rozen, M., Schmitz, A., Ince, E. und Georgakaki, A., CETO, [Carbon Capture, Utilisation and Storage in the European Union](#), 2024.

entsprechenden Technologien anbieten<sup>192</sup>. Die EU hat in den letzten Jahren bei den öffentlichen FuE-Ausgaben aufgeholt. Im Jahr 2022 entfielen auf die EU rund 22 % der weltweiten Ausgaben, die etwas höher als die von Kanada und Japan waren<sup>193</sup>, wobei die meisten Investitionen in die CO<sub>2</sub>-Speicherung getätigt wurden.

Im Jahr 2023 verdoppelte sich die Zahl der in verschiedenen Entwicklungsstadien befindlichen CCS-Projekte gegenüber dem Vorjahr und erreichte weltweit 392 Anlagen (davon 119 Projekte in Europa), was 361 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr entspricht<sup>194</sup>. In Europa unterstützen CCS-Projekte in verschiedenen Entwicklungsstadien Industriezweige wie Wasserstoff-, Ammoniak- und Düngemittelproduktion (20 Anlagen), Strom- und Wärmeerzeugung (19 Anlagen), Zementproduktion (17 Anlagen) und Umwandlung von Biomasse in Strom/Wärme (15 Anlagen)<sup>195</sup>.

Unter den 35 in Entwicklung befindlichen Projekten im Bereich CO<sub>2</sub>-Transport und -Netze in Europa sind mehrere wichtige Vorhaben von gemeinsamem Interesse zur Unterstützung eines grenzüberschreitenden Kohlendioxidnetzes in der EU<sup>196</sup>. Zwar sind die ermittelten Speicherkapazitäten nach wie vor in der Nordsee konzentriert, doch wurden in Mitgliedstaaten wie Bulgarien, Kroatien, Griechenland und Italien neue Standorte für Onshore- und Offshore-CCS-Projekte ausgewiesen. Im Jahr 2024 wurden die ersten Explorationslizenzen für die Onshore-CO<sub>2</sub>-Speicherung in Dänemark erteilt, wodurch sich die Gesamtzahl der Explorationslizenzen für die CO<sub>2</sub>-Speicherung verdoppelt hat<sup>197</sup>. Im Januar 2025 gewährte die Kommission Mittel in Höhe von 250 Mio. EUR aus dem Bereich „Energie“ der Fazilität „Connecting Europe“, um den Bau von drei Vorhaben und die Finanzierung von neun vorbereitenden Studien für CO<sub>2</sub>-Infrastrukturvorhaben von gemeinsamem Interesse zu unterstützen<sup>198</sup>.

Die EU ist in wichtigen Bereichen der Herstellung von CCS-Komponenten für Abscheidungstechnologien, z. B. Aminlösungen für die Absorption (die ausgereifteste Technologie), gut positioniert. Sie ist jedoch weder in großem Maßstab tätig noch verfügt sie über spezialisierte Wertschöpfungsketten. Nach einer Zeit der Stagnation in den letzten zehn Jahren erreichte die EU-Produktion von Aminlösungen im Jahr 2023 260 Mio. EUR, was einem Anstieg um 8 % gegenüber dem Vorjahr entspricht. Die EU ist bei der Entwicklung innovativer Verfahren, unter anderem in den Bereichen (polymere, keramische) Membranen und Adsorptionsmittel, gut aufgestellt, während China bei Peer-Review-Artikeln weltweit führend ist. Es wird erwartet, dass Projekte im Rahmen des EU-Programms Horizont 2020 die Prozesse erheblich verbessern und diese Verfahren zur Marktreife bringen werden<sup>199</sup>.

Trotz der im vergangenen Jahr im Bereich CCS in der EU entstandenen Dynamik wird das Tempo der Einführung der CO<sub>2</sub>-Speicherung exponentiell zunehmen müssen, um den erheblichen Umfang an gespeichertem CO<sub>2</sub> zu erreichen, der für die Erreichung der Ziele

---

<sup>192</sup> CETO, *Carbon Capture, Utilisation and Storage in the European Union*, 2024.

<sup>193</sup> Ebd.

<sup>194</sup> Anlagen, die sich in der Entwicklung, im Bau oder in Betrieb befinden; ohne die Kapazität von Projekten für den CO<sub>2</sub>-Transport und/oder die CO<sub>2</sub>-Speicherung (zur Vermeidung von Doppelzählungen), mit Ausnahme derjenigen CO<sub>2</sub>-Transport- und/oder -Speicheranlagen, die nicht über eine eigene CO<sub>2</sub>-Abscheidungsquelle verfügen.

<sup>195</sup> Global CCS Institute, *Global Status of CCS 2023, Scaling up through 2030*.

<sup>196</sup> Wie etwa die Projekte PORTHOS und ARAMIS in den Niederlanden bzw. Antwerpen in Belgien. Die [neue Liste der EU-Energievorhaben von gemeinsamem und gegenseitigem Interesse \(europa.eu\)](#) umfasst 14 CO<sub>2</sub>-Netzvorhaben.

<sup>197</sup> Dänisches Ministerium für Klima, Energie und öffentliche Dienste, [The first exploration licenses for land-based storage of CO<sub>2</sub> in Denmark have been granted](#), 20. Juni 2024.

<sup>198</sup> Siehe [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip\\_25\\_377](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_25_377).

<sup>199</sup> CETO, *Carbon Capture, Utilisation and Storage in the European Union*, 2024.

für 2030, 2040 und 2050 erforderlich ist. Die EU ergreift Maßnahmen, um die Sichtbarkeit von Nachfrage und Angebot im Bereich der Speicherung zu verbessern und den notwendigen Rahmen für einen diskriminierungsfreien, offenen Zugang und eine multimodale CO<sub>2</sub>-Infrastruktur festzulegen. Mit diesen Maßnahmen werden die wichtigsten Herausforderungen bei der Einführung von Lösungen für das industrielle CO<sub>2</sub>-Management angegangen, die Vorhersehbarkeit für Investoren erhöht und das Risiko von Investitionen verringert. Die Kommission wird weitere Maßnahmen vorschlagen, um die Nutzung von Technologien zur Abscheidung, Nutzung und Speicherung von CO<sub>2</sub> (CCUS) zu fördern und zu steigern<sup>200</sup>.

### 3.11. Stromnetztechnologien: Stromleitungen und Transformatoren

Im EU-Aktionsplan für Stromnetze<sup>201</sup> werden globale Entwicklungen (z. B. steigender Stromverbrauch, Digitalisierung und Integration erneuerbarer Energien) aufgezeigt, die dazu beitragen, die weltweite Nachfrage nach Netzkomponenten, einschließlich Stromleitungen und Transformatoren, zu erhöhen<sup>202</sup>. Aus der Analyse der Zehnjahresnetzentwicklungspläne von 2024 durch Europacable<sup>203</sup> geht hervor, dass zwischen 2024 und 2033 in Europa fast 100 000 km neue Übertragungsleitungen und Kabel verlegt werden (Aufwärtskorrektur von 10 % gegenüber 2022). In Bezug auf das Verteilernetz geht Eurelectric davon aus, dass zwischen 2025 und 2050 – neue Leitungen und Austausch zusammengenommen – durchschnittlich 262 000 km Leiter installiert werden müssen<sup>204</sup>. Darüber hinaus könnte es der Ausbau des Verteilernetzes erforderlich machen, dass allein in der EU und Norwegen zwischen 2025 und 2050 jedes Jahr bis zu 172 000 Transformatoren hinzugefügt werden, wodurch sich ihre Zahl bis Mitte des Jahrhunderts von 4,5 Millionen auf 9 Millionen verdoppeln würde<sup>205</sup>. Insgesamt könnte der Ausbau der europäischen Stromübertragungs- und -verteilungsinfrastruktur bis 2040 Investitionen in Höhe von bis zu 730 Mrd. EUR erfordern<sup>206</sup>.

In der EU gibt es einige langjährige Markt- und Technologieführer in den Bereichen Stromleitungen und Transformatoren. Der Draht- und Kabelmarkt der EU wird hauptsächlich von europäischen Unternehmen beliefert, doch könnte der Wettbewerbsdruck durch internationale Akteure kurz- bis mittelfristig zunehmen. Was den europäischen Transformatorenmarkt angeht, stellt sich die Lage etwas anders dar: Während einige große multinationale Unternehmen das Segment der großen Übertragungstransformatoren dominieren, fallen in das Segment der mittelgroßen Transformatoren und Verteilungstransformatoren sowohl alteingesessene nationale Hersteller und Familienunternehmen aus Europa als auch internationale Wettbewerber.

Die Kupfer- und Aluminiumlieferketten sind für die Herstellung von entscheidender Bedeutung. Zwar dürften diese kurzfristig mit der stetig steigenden Nachfrage Schritt halten,

---

<sup>200</sup> Mandatsschreiben vom 17. September 2024 an Dan Jørgensen, Kommissar für Energie und Wohnungswesen.

<sup>201</sup> COM(2023) 757 final.

<sup>202</sup> Während der Schwerpunkt dieser Ausgabe auf Stromleitungen und Transformatoren liegt, standen in der letzten Ausgabe Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungssysteme (HGÜ-Systeme) und Stromrichterstationen im Mittelpunkt (siehe COM(2023) 652 final).

<sup>203</sup> ENTSOG and ENTSO-E, *Ten-Year Network Development Plans (TYNDP)*, Mai 2024.

<sup>204</sup> Dies dürfte in einer Nettoausweitung des Netzes der EU und Norwegens im Zeitraum von 2025 bis 2050 von 10 auf 16,8 Mio. km resultieren.

<sup>205</sup> Eurelectric, *Grids for speed*, 2024.

<sup>206</sup> Europäische Kommission, Generaldirektion Energie, Finesso, A., Kralli, A., Bene, C., Goodall, F. et al., [Investment needs of European energy infrastructure to enable a decarbonised economy](#), 2025.

doch die hohe Nachfrage und die Konzentration der Produktion von raffiniertem Kupfer bergen langfristig die Gefahr von Störungen<sup>207</sup>. Die wichtigste hochwertige Komponente für Transformatoren, der Kern, wird aus kornorientiertem Elektroblech (GOES) hergestellt. Schätzungen zufolge dürfte sich der Wert des weltweiten GOES-Marktes aufgrund der Nachfrage aus der Transformatorenherstellung bis 2032 fast verdoppeln<sup>208</sup>. Obwohl die EU ein bedeutender Hersteller ist, sind viele Transformatorenhersteller in der EU auf Einfuhren von Stahl für den Kern angewiesen<sup>209</sup>.

Die steigende Nachfrage nach Netzkomponenten wie Stromleitungen und Transformatoren hat zu Lieferverzögerungen, langen Vorlaufzeiten und weiteren Preiserhöhungen geführt. Als Reaktion darauf haben mehrere führende europäische Kabelhersteller Berichten zufolge mit der Umsetzung von Investitionsentscheidungen im Wert von 4 Mrd. EUR begonnen, was zur Verdoppelung der Produktionskapazitäten für Höchst- und Hochspannungskabel in Europa beigetragen hat<sup>210</sup>. Aus einer Umfrage unter Transformatorenherstellern in und außerhalb der EU geht hervor, dass, wenn sich der Nachfragetrend bestätigt, kurzfristig (bis 2026) mit einer Ausweitung der Fertigungskapazität um 10 % und bis 2030 um 30 % gerechnet werden kann<sup>211</sup>. Dennoch wird erwartet, dass die Nachfrage in den kommenden Jahren und in den 2030er Jahren weiterhin schneller wächst als das Angebot.

Eine der größten Herausforderungen für die Branche ist der Mangel an qualifizierten Arbeitskräften. Fast die Hälfte der befragten Transformatorenhersteller berichtete von unzureichend ausgelasteten Kapazitäten aufgrund des Fachkräftemangels<sup>212</sup>. In ihrem Aktionsplan für Stromnetze hat die Kommission Maßnahmen genannt, mit denen sichergestellt werden soll, dass die EU-Stromnetze effizienter funktionieren und schneller ausgebaut werden<sup>213</sup>. Eine engere Zusammenarbeit zwischen Behörden, Netzbetreibern und Technologieanbietern wird von entscheidender Bedeutung sein, um gemeinsame Technologiespezifikationen zu entwickeln, die Sichtbarkeit der Pipelines an Netzvorhaben zu verbessern, Investitionen in Fertigungskapazitäten zu fördern und die Lieferketten abzusichern. In der laufenden Amtszeit wird die Kommission den Rechtsrahmen für europäische Netze prüfen, um die Elektrifizierung zu fördern und die Genehmigungsverfahren zu beschleunigen<sup>214</sup>. Die Kommission wird einen Aktionsplan für Elektrifizierung vorlegen, um die Elektrifizierung in allen Endverbrauchssektoren zu unterstützen, und ein europäisches Netzpaket zur Modernisierung und Erweiterung der Infrastruktur des europäischen Energieübertragungs- und -verteilnetzes vorschlagen.

### 3.12. Technologien für Kernspaltungsenergie

Kernkraftwerke (KKW) sind eine der Technologien, die regelbaren CO<sub>2</sub>-arm erzeugten Strom liefern<sup>215</sup>. Die Kosten je Einheit Strom von KKW liegen in der Regel zwischen erneuerbaren und fossilen Technologien. Im Jahr 2023 wurden 22,8 % des Stroms in der EU in KKW erzeugt,

---

<sup>207</sup> IEA, *Critical Minerals Market Review*, 2023.

<sup>208</sup> Fortune Business Insights, *Grain Oriented Electrical Steel Market Size, Share & Industry Analysis*, 2024.

<sup>209</sup> T&D Europe, *Transformer Commodities Indices*, April 2024.

<sup>210</sup> [Europacable](#), *Letter to European Commission Executive Vice-President Maroš Šefčovič*, 5. März 2024.

<sup>211</sup> Transformers Magazine's Industry Navigator, *Investments 2024 – Outlook to 2033*, 2024.

<sup>212</sup> Ebd.

<sup>213</sup> COM(2023) 757 final.

<sup>214</sup> Mandatsschreiben vom 17. September 2024 an Dan Jørgensen, Kommissar für Energie und Wohnungswesen.

<sup>215</sup> Die Mitgliedstaaten können ihren Energiemix im Einklang mit den Verträgen frei wählen.

was geringfügig über den 21,9 % im Jahr 2022 liegt<sup>216</sup>. Dabei wurden drei Hebel zur Erreichung dieses Ziels eingesetzt: Verlängerung der Lebensdauer, Bau neuer großer KKW und Einsatz kleiner modularer Reaktoren (KMR).

Die meisten im Bau befindlichen neuen Reaktoren befinden sich in Asien. Anfang 2024 befanden sich weltweit etwa 61 GW Reaktorkapazität im Bau, davon mehr als die Hälfte in China und Indien. Die EU verfügt über einen aktiven Reaktoranbieter<sup>217</sup>, der 5,3 % der oben genannten Kapazität baut<sup>218</sup>. Dies verdeutlicht, dass die EU-Industrie ihre Wettbewerbsfähigkeit im Einklang mit den Zielen der Netto-Null-Industrie-Verordnung verbessern muss.

Im Jahr 2024 hat die Kommission die Europäische Industriallianz für kleine modulare Reaktoren (KMR) ins Leben gerufen, um deren Einführung bis Anfang der 2030er Jahre zu erleichtern und ein wettbewerbsfähiges europäisches Ökosystem zu fördern<sup>219</sup>. KMR weisen innovative Designs auf und basieren auf modularen Komponenten, die möglicherweise in Serie produziert werden könnten. In der EU wurden sie noch nicht eingesetzt, doch in China und Russland sind bereits die ersten KMR in Betrieb<sup>220</sup>.

Um die veranschlagten Kapazitäten in der EU bereitzustellen, müssen die Fertigungskapazitäten ausgebaut werden<sup>221</sup>. Darüber hinaus muss dem Problem der Alterung des Personals in der Branche durch die Einstellung neuer Arbeitskräfte und die Umschulung von Fachkräften aus anderen Branchen begegnet werden. Spezifische Programme zur Entwicklung kerntechnischer Kompetenzen müssen gefördert werden. Mit der Diversifizierung der Lieferkette für Kernbrennstoffe, Dienstleistungen im Kernbrennstoffkreislauf und Ersatzteile muss die Abhängigkeit von einzelnen unzuverlässigen Partnern, insbesondere von Russland, weiter angegangen werden<sup>222</sup>. Der Schwerpunkt muss weiterhin auf der Aufrechterhaltung der nuklearen Sicherheit, der Sicherung diversifizierter Lieferungen, einer sicheren Abfallbewirtschaftung und der Förderung neuer Technologien liegen<sup>223</sup>. Voraussetzung für jede künftige Nutzung von Kernenergie muss weiterhin die Einhaltung der strengsten Standards für nukleare Sicherheit sowie die sichere Entsorgung aller Arten von nuklearen Abfällen und abgebrannten Brennelementen bleiben.

---

<sup>216</sup> Analyse der Kommission auf der Grundlage von Eurostat, *Nettostromerzeugung nach Brennstoff - monatliche Daten*, Online Datencode: [nrg\\_cb\\_pem](#), letzte Aktualisierung am 28.1.2025; ENTSO-E, *Statistical Factsheet 2023, 2024*; Wissenschaftlicher Dienst des Europäischen Parlaments, *Strategic autonomy and the future of nuclear energy in the EU*, 2024; SWD/2024/63 final, Teil 1/5.

<sup>217</sup> In den 1980er Jahren gab es vier europäische Reaktorhersteller: ABB (Schweden/Schweiz), Framatome (Frankreich), Kraftwerk Union/Siemens (Deutschland) und National Nuclear Corp. (Vereinigtes Königreich). Nur Framatome ist heute noch aktiv. Nuclear Energy Agency, *Nuclear New build: Insights into Financing and Project Management*, 2015.

<sup>218</sup> Analyse der Kommission auf der Grundlage von Daten aus dem PRIS der IAEO (31. Dezember 2023). Framatome hat den Bau des Kernkraftwerks Olkiluoto 3 (Finnland) abgeschlossen, das im Mai 2023 den kommerziellen Betrieb aufgenommen hat.

<sup>219</sup> [European Industrial Alliance on SMRs](#), 2024.

<sup>220</sup> Daten aus dem PRIS der IAEO (31. Dezember 2023).

<sup>221</sup> Zudem fehlt im globalen Westen nach Analysen der Euratom-Versorgungsagentur (ESA) eine Anreicherungs Kapazität von bis zu 2 500 t TAE bis 2030 und ist die Konversionskapazität der westlichen Reaktoren im Szenario mit einer stabilen Nachfrage um 6 000 t U pro Jahr zu niedrig. ESA, *Jahresbericht 2022 der Euratom-Versorgungsagentur*.

<sup>222</sup> Fünf Mitgliedstaaten betreiben Reaktoren des Typs WWER. In der Vergangenheit gab es für diese Reaktoren nur einen einzigen, russischen Anbieter von Dienstleistungen im Kernbrennstoffkreislauf, was eine Schwachstelle für die Versorgungssicherheit darstellt. Im Jahr 2022 leitete die Kommission Konsultationen mit den Mitgliedstaaten ein, die WWER betreiben, um den Prozess der Diversifizierung der Brennstoffversorgung im Einklang mit den REPowerEU-Zielen zu beschleunigen.

<sup>223</sup> Mandatsschreiben vom 17. September 2024 an Dan Jørgensen, Kommissar für Energie und Wohnungswesen.

### 3.13. Wasserkraft

Im Jahr 2023 betrug die weltweite Wasserkraftkapazität 1 416 GW<sup>224</sup> und bis 2030 wird mit einer zusätzlichen Kapazität von rund 160 GW gerechnet (davon ca. 15-16 GW in Europa)<sup>225</sup>. Pumpspeicher-Wasserkraft ist mit mehr als 90 % der gesamten netzgebundenen Speicherung weltweit und einer installierten Pumpkapazität von 46 GW in der EU nach wie vor die gängigste Energiespeichertechnologie<sup>226</sup>. Zwar sind EU-Unternehmen weltweit an neuartigen Wasserkraftprojekten beteiligt, doch liegt ein erheblicher Schwerpunkt in der EU auf der Modernisierung und Aufarbeitung bestehender Anlagen, die eine installierte Kapazität von etwa 153 GW aufweisen<sup>227</sup>.

Die Fertigungsindustrie im Bereich der von Wasserkraft-Komponenten in der EU ist 2024 nach wie vor stark, was auf positive Aussichten hinsichtlich der Fortschritte bei der Erreichung der Richtwerte der Netto-Null-Industrie-Verordnung schließen lässt. Zwar ist die Lieferkette der EU gut entwickelt, doch besteht die Gefahr einer künftigen Abhängigkeit von Dauermagneten als Komponente<sup>228</sup>. Der Wert der in der EU hergestellten Teile und Turbinen belief sich 2023 auf 605 Mio. EUR, doch der Handelsüberschuss ist in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen, und zwar auf 213 Mio. EUR im Jahr 2023 gegenüber dem Höchststand von 466 Mio. EUR im Jahr 2015. Dies spiegelt sich auch im Anteil der EU an den weltweiten Ausfuhren wider, der mit 44 % im Zeitraum 2021-2023 jedoch nach wie vor hoch war<sup>229</sup>. Der Rückgang des Produktionswerts in den letzten Jahren zeigt, dass die EU-Industrie zwar wettbewerbsfähig bleibt, aber einem zunehmenden weltweiten Wettbewerb ausgesetzt ist, da insbesondere China seine Position in der Wasserkrafttechnologie ausgebaut hat<sup>230</sup>.

Auch wenn die Wasserkraftbranche der EU nach wie vor weltweit einen führenden Rang einnimmt, ist davon auszugehen, dass ihr dieser Rang mittel- und langfristig weiter streitig gemacht wird. Ein besonderes Problem für die EU-Industrie ist in diesem Zusammenhang das geringere Potenzial für neue Wasserkraftprojekte in Europa, da es nach wie vor sehr schwierig ist, neue Standorte für nachhaltige Wasserkraft zu ermitteln. Eine weitere Herausforderung für die Fertigung im Bereich der Wasserkraft in der EU besteht darin, die Kompetenzen in diesem Sektor zu bewahren.

Die EU muss ihre weltweit führende Position im Bereich der Wasserkraft behalten, indem sie mehr in Forschung und Innovation investiert als ihre globalen Konkurrenten und indem sie den EU-Markt durch neue Investitionen stärkt. Insbesondere besteht noch ungenutztes Potenzial beim Ausbau der Pumpspeicher-Wasserkraft zur Erhöhung der Netzflexibilität, unter anderem durch Nachrüstung bestehender Wasserkraftwerke.

---

<sup>224</sup> Europäische Kommission, JRC, Quaranta, E., Georgakaki, A., Letout, S., Mountraki, A., Ince, E. und Gea Bermudez, J., CETO, [Hydropower and Pumped Storage Hydropower in the European Union](#), 2024.

<sup>225</sup> IRENA, [The changing role of hydropower: Challenges and opportunities](#), 2023; IEA, *Hydropower Special Market Report Analysis and forecast to 2030*, 2021.

<sup>226</sup> CETO, [Hydropower and Pumped Storage Hydropower in the European Union](#), 2024.

<sup>227</sup> Eurostat ([nrg\\_inf\\_epc](#)), zuletzt abgerufen am 12.2.2025.

<sup>228</sup> Europäische Kommission, Generaldirektion Forschung und Innovation, Schleker, T., Hicks, M., Cressida Howard, I., Ohrvik-Stott, J. et al., [Study on clean energy R&I opportunities to ensure European energy security by targeting challenges of distinct energy value chains for 2030 and beyond](#), 2024.

<sup>229</sup> CETO, [Hydropower and Pumped Storage Hydropower in the European Union](#), 2024.

<sup>230</sup> IEA, *Hydropower Special Market Report Analysis and forecast to 2030*, 2021.

### 3.14. Nachhaltige alternative Kraftstoffe

Nachhaltige alternative Kraftstoffe im Sinne der Netto-Null-Industrie-Verordnung sind nachhaltige und CO<sub>2</sub>-arme Kraftstoffe, mit denen die Treibhausgasemissionen im Luft- und Seeverkehr verringert werden sollen<sup>231</sup>. Die EU ist bei diesen Technologien gut aufgestellt, doch sind weitere Anstrengungen erforderlich, um eine wettbewerbsfähige Massenproduktion in der EU aufzubauen. Insgesamt verfügt die EU derzeit über einen technologischen Vorteil bei der Produktion: Sie verfügt über die meisten gewerblichen Anlagen der Welt und spielt eine wichtige Rolle bei der Entwicklung neuartiger und innovativer Technologien.

Mit Wasserstoff behandelte Ester und Fettsäuren (HEFA) sind derzeit die einzige vollständig kommerzielle Technologie für Flugkraftstoffe. Zwar gibt es in der EU derzeit keine wesentliche Produktion nachhaltiger Flugkraftstoffe, doch könnten bestehende Anlagen zur Herstellung von hydriertem Pflanzenöl (HVO) aufgerüstet werden, um etwa 1,07 Mio. t RÖE fortgeschrittener HEFA-Kraftstoffe pro Jahr herzustellen. Dies wäre mehr als das Doppelte der weltweiten Gesamtproduktion nachhaltiger Flugkraftstoffe im Jahr 2023<sup>232</sup> und weniger als die Hälfte der von der EU-Politik getriebenen Nachfrage. Die EU-Produktion aus infrage kommenden Biomasserohstoffen wird bis 2030 voraussichtlich auf 1,5 Mio. t RÖE pro Jahr ansteigen. Für die Seeschifffahrt produziert die EU derzeit jährlich 0,1 Mio. t RÖE aus abfallbasierten Rohstoffen. Für 2030 wird eine Ausweitung auf 2,1 Mio. t RÖE pro Jahr prognostiziert<sup>233</sup>, was etwa der Hälfte der von der EU-Politik generierten Nachfrage entspricht. Schätzungen in den vorgestellten Industrieplänen zufolge wird die Produktion von E-Kerosin bis 2023 jährlich 1 129 Mio. t RÖE erreichen, während die Produktion von E-Methanol und E-Ammoniak 1 464 Mio. t RÖE pro Jahr erreichen wird<sup>234</sup>. Dies entspricht etwa 3 % bzw. 4 % der prognostizierten EU-Nachfrage.

Von den 28 gewerblichen Anlagen (TRL 9), die weltweit nachhaltige Flugkraftstoffe herstellen, befinden sich 15 in der EU (davon 14 HEFA-Anlagen) und sechs in den USA. Außerdem gibt es in der EU sechs vorkommerzielle Anlagen (TRL 8) für HEFA und fortgeschrittene Technologien gegenüber vier in den USA. Für die Seeschifffahrt gibt es nur drei betriebsbereite innovative Biomethananlagen (TRL 8) (eine in der EU)<sup>235</sup>. Dies verdeutlicht die derzeitige Wettbewerbsfähigkeit der EU im aufstrebenden Sektor und die Notwendigkeit, die Vermarktung fortgeschrittener Technologien zu beschleunigen, um diese Wettbewerbsfähigkeit zu bewahren.

Es bestehen keine kritischen Abhängigkeiten bei Technologien, da viele Technologieentwickler und Ausrüstungshersteller in der EU ansässig sind, und das Risiko einer Abhängigkeit bei kritischen Materialien ist gering<sup>236</sup>. Bei fortschrittlichen Biokraftstofftechnologien besteht keine kritische Abhängigkeit von Rohstoffeinfuhren. Dagegen besteht bei erneuerbaren Kraftstoffen nicht biogenen Ursprungs eine kritische Abhängigkeit von Nicht-EU-Ländern, die Katalysatormaterialien (Kobalt, Chrom, Vanadium

---

<sup>231</sup> ABl. L, 2024/1735, 28.6.2024, Artikel 3, im Einklang mit den Begriffsbestimmungen in den Verordnungen „ReFuelEU Aviation“ und „FuelEU Maritime“. In diesem Abschnitt werden nur Biokraftstoffe und synthetische erneuerbare Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs behandelt.

<sup>232</sup> IATA, *Annual Review*, 2024.

<sup>233</sup> Europäische Kommission, Generaldirektion Forschung und Innovation, *Development of outlook for the necessary means to build industrial capacity for drop-in advanced biofuels* (Anhang 3), 2024.

<sup>234</sup> Europäische Kommission, Generaldirektion Forschung und Innovation, *Development of outlook for the necessary means to build industrial capacity for drop-in advanced biofuels*, (Anhang 4), 2024.

<sup>235</sup> Siehe die Datenbank zu [Task 39, Biofuels to decarbonize transport](#).

<sup>236</sup> Europäische Kommission, Generaldirektion Forschung und Innovation, *Study on energy technology dependence*, 2020.

und Wolfram) herstellen, sowie von der Verfügbarkeit von erneuerbarem Strom, erneuerbarem Wasserstoff (siehe Abschnitt 3.8 über Wasserstofftechnologien) und CO<sub>2</sub>-Rohstoff.

Die Produktionskosten variieren je nach Technologie und stellen nach wie vor eine Herausforderung dar, da diese Technologien noch auf den kommerziellen Maßstab hochskaliert werden müssen. Die Kosten für die Herstellung von HEFA-Kraftstoff aus fortschrittlichen Rohstoffen liegen zwischen 15 EUR und 32 EUR pro MWh und für Biomethanol durch Vergasung zwischen 89 EUR und 112 EUR pro MWh<sup>237</sup>. Die Kosten von erneuerbaren Kraftstoffen nicht biogenen Ursprungs hängen weitgehend von den Kosten für erneuerbaren Wasserstoff, Strom und CO<sub>2</sub> ab und liegen zwischen 90 EUR und 180 EUR pro MWh für die Nutzung in der Seeschifffahrt, sind aber im Fall von E-Kerosin, das aus E-Methanol hergestellt wird, viel höher<sup>238</sup>.

Die Preise für nachhaltige Flugkraftstoffe sind derzeit drei- bis zehnmal höher als für konventionelle Kraftstoffe, doch werden sie voraussichtlich mit der Hochskalierung der Produktionstechnologien erheblich sinken. Durch weitere Forschung und Innovation könnten die Kosten erheblich gesenkt werden. In Verbindung mit der Errichtung von Demonstrationsanlagen und frühkommerziellen Anlagen zur Senkung der Kapital- und Betriebskosten könnte eine Senkung der Gesamtproduktionskosten um 5-27 % erreicht werden<sup>239</sup>. Darüber hinaus könnten Märkte und Produktionsanlagen für erneuerbare KFZ-, Flug- und Schiffs-kraftstoffe parallel entwickelt werden, um Synergien zwischen allen Verkehrssektoren zu schaffen. So entsteht beispielsweise durch die Herstellung von Flugkraftstoffen über viele Herstellungswege von fortschrittlichen Biokraftstoffen ein Nebenproduktmarkt für umweltfreundliche Dieselkraftstoffe (für Lastkraftwagen) und Naphtha (für Schiffe). Die Verwertung des wirtschaftlichen Werts von Nebenprodukten kann zu einer Senkung der Kosten des Primärkraftstoffs führen. Synergieeffekte zwischen fortschrittlichen Biokraftstoffen und erneuerbaren Kraftstoffen nicht biogenen Ursprungs sind auch für die Nutzung von grünem Wasserstoff, biogenem CO<sub>2</sub> und damit zusammenhängenden Technologien von entscheidender Bedeutung.

### 3.15. Technologien zur Rückgewinnung von Überschusswärme aus der Industrie

Technologien zur Rückgewinnung von Überschusswärme aus industriellen Prozessen sind für die Steigerung der Energieeffizienz in der Industrie von entscheidender Bedeutung<sup>240</sup>. Es gibt mehrere Techniken. Im Allgemeinen wird die Wärme zunächst mithilfe von Wärmetauschern entzogen (z. B. aus den Abgasen). Sie kann dann vor Ort – entweder direkt oder über ein Fluid – an einen anderen Prozess (z. B. Vorwärmen von Rohstoffen) übertragen oder in ein Fernwärmenetz abgeführt werden. Die rückgewonnene Wärme kann zur Nutzung mit einer höheren Temperatur aufbereitet (z. B. durch Wärmepumpen, siehe Abschnitt 3.6) oder für die Kühlung umgewandelt werden. Als Alternative kann die Wärme in mechanische oder elektrische Energie umgewandelt werden.

---

<sup>237</sup> Europäische Kommission, Generaldirektion Forschung und Innovation, [Development of outlook for the necessary means to build industrial capacity for drop-in advanced biofuels](#), (Anhang 3), 2024.

<sup>238</sup> Europäische Kommission, Generaldirektion Forschung und Innovation, [Development of outlook for the necessary means to build industrial capacity for drop-in advanced biofuels](#), (Anhang 4), 2024.

<sup>239</sup> IEA Bioenergy Technology Cooperation Programme, [Advanced Biofuels - Potential for Cost Reduction](#), 2020.

<sup>240</sup> Zwar wird in der Literatur traditionell von der Rückgewinnung industrieller „Verlustwärme“ gesprochen, doch wird heute der Begriff „Überschusswärme“ bevorzugt, da die Wärme, wenn sie zurückgewonnen wird, nicht mehr verloren geht.

Der Schwerpunkt dieses Abschnitts liegt auf der Rückgewinnung von Wärme und der Umwandlung in elektrische Energie durch den Rankine-Kreisprozess, bei dem die Wärme zum Expandieren eines Fluids genutzt wird, um eine Turbine und einen elektrischen Generator anzutreiben. Sowohl der Organic Rankine Cycle (ORC) als auch der Steam Rankine Cycle (SRC) sind kommerziell verfügbare Technologien; die ORC-Technologie wird durch Forschung und Innovation ständig weiter verbessert. Die Technologie des Kreisprozesses mit überkritischem CO<sub>2</sub> (sCO<sub>2</sub>) hat das Potenzial, effizienter und kompakter zu sein, ist aber noch nicht ausgereift.

In der EU wurde das theoretische industrielle Überschusswärmepotenzial auf 920 TWh jährlich geschätzt, was einem Carnot-Potenzial von 279 TWh entspricht<sup>241</sup>. Schätzungen zufolge könnte die überschüssige Energie aus industriellen Prozessen in der EU mithilfe von ORC-Kraftwerken in 150 TWh an Strom jährlich umgewandelt werden<sup>242</sup>.

Der weltweite Markt für ORC wurde 2023 auf 750 Mio. EUR geschätzt und wird voraussichtlich wachsen<sup>243</sup>. Diese Technologie kommt hauptsächlich im Bereich der geothermischen Energie (77 %), der Rückgewinnung von Überschusswärme aus der Industrie (11 %) und der Biomasse (10 %) zum Einsatz<sup>244</sup>. Die Hauptkomponenten von ORC- und SRC-Anlagen sind Wärmetauscher, Verflüssiger, Förderpumpen und Turbinen mit Generatoren. Bei den verwendeten Materialien handelt es sich um Stahl, Aluminium und (organische) Flüssigkeiten, Kupfer und Magnete für die Generatoren sowie andere Komponenten für die Steuerungselektronik.

In Europa gibt es zahlreiche Hersteller von ORC-Anlagen und viele Innovationen in diesem Bereich. Ein US-amerikanisches und zwei EU-Unternehmen sind führend auf dem globalen Markt für ORC und nehmen den größten Teil des Marktes ein (78 % im Zeitraum 2016-2020)<sup>245</sup>. Europa ist bei den entsprechenden FuE-Tätigkeiten im Bereich ORC<sup>246</sup> führend, doch ist das Interesse weltweit gestiegen, und die Zahl der wissenschaftlichen Arbeiten zum Thema ORC hat sich im Vergleich zu 2014-2018 mehr als verdoppelt und belief sich im Zeitraum 2019-2023 auf 3 329. 523 dieser Veröffentlichungen wurden in der EU herausgegeben, die damit hinter China (860) und vor dem Iran (368), dem Vereinigten Königreich (176) und den USA (165) liegt<sup>247</sup>.

Es gibt weiterhin gewisse Hemmnisse für den Einsatz des Rankine-Kreisprozesses und anderer Technologien zur Wärmerückgewinnung, die der weiteren Entwicklung des Wirtschaftszweigs im Wege stehen. Die Vorlauf- und Instandhaltungskosten bei der Wärmerückgewinnung sowie der Preis des erzeugten Stroms können sehr unterschiedlich sein, was zu unterschiedlichen Amortisationszeiten führt<sup>248</sup>. Zugleich kann die künftige Verfügbarkeit der Wärmeversorgung aufgrund möglicher Änderungen des jeweiligen industriellen Prozesses (z. B. Elektrifizierung) ungewiss sein.

---

<sup>241</sup> Bianchi, G., Panayiotou, G.P., Aresti, L. et al., [Estimating the waste heat recovery in the European Union Industry](#). Energy, Ecology and Environment, 2019.

<sup>242</sup> KCORC, [Thermal Energy Harvesting](#), 2025.

<sup>243</sup> Grand View Research, [Organic Rankine Cycle Market Size & Trends](#), 2024. Unter Zugrundelegung des durchschnittlichen Wechselkurses von 0,9239 EUR für 1 USD im Jahr 2024, auf der Grundlage von Daten der [EZB](#).

<sup>244</sup> Wieland, C., Schifflechner, C., Dawo, F., Astolfi, M., [The organic Rankine cycle power systems market: Recent developments and future perspectives](#), Applied Thermal Engineering, 2023.

<sup>245</sup> Ebd.

<sup>246</sup> KCORC, [Thermal Energy Harvesting](#), 2025.

<sup>247</sup> Elsevier, Datenbank Scopus, unter Verwendung der Suchzeichenfolge „Organic AND Rankine AND Cycle AND Power“, abgefragt am 31.1.2025.

<sup>248</sup> CE-Delft, [ORC Plants for Thermal Energy Harvesting](#), 2023.

Prozess- und standortspezifische Bedingungen erhöhen den Aufwand, der für die Planung, Konzeption und Installation von Wärmerückgewinnungsanlagen erforderlich ist. Für den Einsatz der Überschusswärme-Rückgewinnung und für die entsprechende Lieferkette wären stärker standardisierte Komponenten von Vorteil, die so konzipiert sind, dass sie den Erfordernissen der meisten Anlagen in einem bestimmten industriellen Teilsektor genügen. Auf EU-Ebene könnte ein weitergehender Austausch zwischen Technologieanbietern und Endnutzersektoren, möglicherweise im Rahmen des Strategieplans für Energietechnologie, dazu beitragen, den Einsatz zu beschleunigen und die Wettbewerbsfähigkeit der EU zu stärken.

#### 4. SCHLUSSFOLGERUNGEN

**Der Sektor der Netto-Null-Technologien stellt eine große wirtschaftliche Chance für die EU dar und ist für die Energiewende von entscheidender Bedeutung.** Der Weltmarkt für Schlüsseltechnologien für saubere Energie könnte sich fast verdreifachen und bis 2035 rund 1,9 Billionen EUR erreichen<sup>249</sup>. Die EU-Industrie hat – auf der Grundlage einer nach wie vor starken industriellen Basis und der Forschungs- und Innovationsleistung – das Potenzial, eine Schlüsselrolle bei der Bereitstellung dieser Technologien zu spielen. Möglicherweise gibt es keinen anderen derart schnell wachsenden Technologiebereich, in dem die EU ebenso gut aufgestellt ist.

**Die EU ist nach wie vor einer der größten globalen Märkte für Netto-Null-Technologien.** Erneuerbare Energiequellen sind in der EU äußerst wettbewerbsfähig und haben eine Rekordnutzung erreicht. So lieferten sie 2024 48 % des Stroms in der EU. Indessen sind die Energiepreise in der EU nach wie vor deutlich höher als in vielen anderen großen Volkswirtschaften, insbesondere in den USA und China. Dies ist ein struktureller Nachteil für die EU-Industrie, insbesondere für ihre energieintensiven Wirtschaftszweige, aber auch für die Wettbewerbsfähigkeit vieler Hersteller im Bereich der Netto-Null-Technologien. Netto-Null-Technologien werden umso wichtiger, je mehr die EU auf ihrem Weg zur Energiewende voranschreitet, die Elektrifizierung vorantreibt und sich von ihrer Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen löst. Die Wettbewerbsfähigkeit der EU-Hersteller wird darüber entscheiden, ob ein wesentlicher Teil dieses Übergangs in der EU erfolgt oder ob diese Technologien eingeführt werden. Dabei geht es nicht nur um Versorgungssicherheit, sondern auch um Wohlstand und Beschäftigung.

**Die EU ist in der Forschung im Bereich der Technologien für saubere Energie nach wie vor gut aufgestellt, hinkt aber bei den privaten FuI-Investitionen weiterhin hinterher.** Im Rahmen von Horizont Europa werden weiterhin FuI im Bereich der Technologien für saubere Energie und deren Wettbewerbsfähigkeit gefördert, wobei auch Anstrengungen zur Mobilisierung privater Investitionen durch europäische Partnerschaften unternommen werden. Gleichzeitig wird die EU weiterhin durch seit Langem bekannte Herausforderungen im Zusammenhang mit privaten Investitionen in FuI und mit der Expansion von Unternehmen gebremst. Im Jahr 2023 schnitt die EU bei der Gewinnung von Risikokapital für den Bereich der Technologien für saubere Energie besser ab, was allerdings einer begrenzten Zahl großer Geschäftsabschlüsse zu verdanken war. Dies ist ein wesentlicher Faktor, der den Rückgang des Risikokapitals in diesem Bereich erklärt, wie vorläufige Daten für das Jahr 2024 zeigen. Dies

---

<sup>249</sup> IEA, *Energy Technology Perspectives*, 2024. Globale Marktschätzungen für Photovoltaik, Windkraft, Elektrofahrzeuge, Batterien, Elektrolyseure und Wärmepumpen. Im Bericht ist die Rede von 2 Billionen USD, umgerechnet in EUR zum Ende des Jahres 2024.

macht auch deutlich, dass die Bemühungen der EU um die Mobilisierung privater Finanzmittel fortgesetzt werden müssen, damit Unternehmen expandieren können.

**Angesichts der zunehmend kostengünstigen Konkurrenz läuft die EU Gefahr, bei der Wettbewerbsfähigkeit und der Fertigung weiter an Boden zu verlieren.** China beherrscht bereits die weltweite Fertigung in den Bereichen Photovoltaik und Batterien und dürfte seine Fertigungskapazitäten im Bereich weiterer Technologien für saubere Energie in den kommenden Jahren erheblich ausbauen. Die aktuellen Probleme der aufstrebenden EU-Batterieindustrie beim Ausbau der Produktion zeigen die enormen Herausforderungen beim Aufbau großmaßstäblicher Fertigungskapazitäten für Technologien, deren Schwerpunkt und Fertigungs-Know-how trotz erheblicher öffentlicher und privater Investitionen nicht mehr in Europa liegen. In den kommenden Jahren wird sich zeigen, ob die vorhandene Forschungs- und Innovationskompetenz der EU im Bereich Solarenergie und Batterien dazu beitragen kann, diese Sektoren in der EU wiederzubeleben, etwa durch die Erforschung von Lösungen, die weniger kritische Rohstoffe erfordern.

**Bei der Herstellung mehrerer Netto-Null-Technologien, darunter Windenergie und Wärmepumpen, nimmt die EU nach wie vor eine starke Position ein.** Beide Technologien werden weltweit weiter an Bedeutung gewinnen. Schätzungen zufolge besteht jedoch im Vergleich zur erwarteten globalen Nachfrage eine potenzielle Unterkapazität in der Fertigung. Während die Windkraftbranche der EU nach wie vor gut aufgestellt ist, drängen chinesische Wettbewerber zunehmend in die globalen Märkte, wo EU-Unternehmen in den letzten Jahren bereits Marktanteile eingebüßt haben. Wärmepumpenlösungen werden künftig eine Schlüsselrolle bei der Deckung des Heizbedarfs sowohl der Haushalte als auch der Industrie spielen. Die EU hat nach wie vor eine starke Position, aber der Sektor braucht neue Impulse. Diese strategischen Industriezweige müssen weiter unterstützt werden, um die Wertschöpfungsketten in der EU zu stärken.

**Es gibt weitere etablierte Technologien, bei denen wettbewerbsfähige EU-Wirtschaftszweige Wachstumspotenzial aufweisen.** Die EU verfügt über eine ausgereifte Biogas- und Biomethanindustrie. In der EU ansässige Unternehmen nehmen zudem eine starke Position als Lieferant von Stromnetzkomponenten ein, die mit der zunehmenden Elektrifizierung weltweit immer stärker nachgefragt werden. Der Sektor dürfte jedoch in Zukunft einem weiteren Wettbewerbsdruck ausgesetzt sein. Wie viele andere Netto-Null-Technologien ist die Fertigung von Netzkomponenten stark von Materialien wie Kupfer und Sonderstahl abhängig. Die EU-Industrie hat eine lange Tradition im Bereich der Wasserkraft, musste aber in den letzten Jahren weltweit Marktanteile abgeben. Auch in der EU gibt es noch ungenutztes Potenzial im Bereich der Wasserkraft. Der Ausbau der Pumpspeicher-Wasserkraft, auch durch die Nachrüstung bestehender Anlagen, könnte dazu beitragen, die Netzflexibilität zu erhöhen.

**Zudem gibt es mehrere Technologien, die noch in ihren Anfängen stecken und weitere Unterstützung benötigen, um ihr kommerzielles Potenzial unter Beweis zu stellen.** Dies betrifft Technologien wie Meeresenergietechnologien, kleine modulare Reaktoren, nachhaltige alternative Kraftstoffe sowie CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung. Diese Technologien erfordern gezielte Unterstützung, um ihre kommerzielle Rentabilität zu erhöhen und sie in größerem Maßstab einzusetzen.

**Innovation spielt eine zentrale Rolle bei der Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der EU, sowohl bei der Markteinführung neuer Technologien als auch bei der Verbesserung bestehender Lösungen.** Forschung und Innovation sind erforderlich, um die Effizienz zu steigern und nach Möglichkeit die Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen, wie etwa Lithium

in der Batterietechnologie, zu begrenzen. Es bedarf auch weiterer Anstrengungen, um die Kreislaufwirtschaft auszubauen und die Nachhaltigkeit zu verbessern, indem beispielsweise der Einsatz von PFAS-Chemikalien in Elektrolyseuren angegangen wird. Angesichts des Anstiegs der weltweiten Investitionen in Netto-Null-Technologien wird die EU weitere Anstrengungen unternehmen müssen, um im Bereich der Forschung und Innovation Schritt zu halten. Dem wird mit dem jüngsten Kompass für Wettbewerbsfähigkeit Rechnung getragen, dessen Schwerpunkt darauf liegt, die Innovationslücke zu schließen. Dem kürzlich gestärkten Strategieplan für Energietechnologie kommt eine Schlüsselrolle zu, wenn es darum geht, die Forschungsprioritäten zu koordinieren und aufeinander abzustimmen, öffentliche und private Interessenträger zusammenzubringen sowie die Effizienz der FuI-Ausgaben der Mitgliedstaaten zu erhöhen, auch im Rahmen der Partnerschaft für die Energiewende<sup>250</sup>.

**Um die wirtschaftlichen Vorteile der globalen Energiewende in vollem Umfang nutzen zu können, muss die EU ihre Fertigungskapazität ausbauen.** Entscheidend bleibt ein Ansatz für die Wertschöpfungskette, der die gesamte Kette von den Rohstoffen über die energieintensiven Wirtschaftszweige, die die Materialien bereitstellen, bis hin zur Fertigung und Endmontage einbezieht. Der Fachkräftemangel wird in den kommenden Jahren eine weitere große Herausforderung bleiben, die angegangen werden muss, damit der Sektor florieren kann.

**Die Umsetzung der Netto-Null-Industrie-Verordnung kann eine Schlüsselrolle bei der koordinierten Unterstützung der Herstellung von Netto-Null-Technologien in der EU spielen.** Dazu müssen alle darin vorgesehenen Instrumente genutzt werden, von der Genehmigung bis hin zur Anwendung von nicht preisbezogenen Kriterien bei öffentlichen Vergabeverfahren und Auktionen. Der „Net-Zero Europe“-Plattform kommt eine wichtige Rolle bei der Koordinierung der Politik in der EU und der Zusammenarbeit mit der Industrie zu. Mit dem Inkrafttreten der Netto-Null-Industrie-Verordnung wurde dieser Bericht über die Fortschritte bei der Wettbewerbsfähigkeit zu ihrem wichtigsten Überwachungsinstrument erklärt. In den kommenden Jahren werden im Wege dieses Berichts die Entwicklungen im Zusammenhang mit der Wettbewerbsfähigkeit der EU im Bereich der Netto-Null-Technologien weiterhin aufmerksam verfolgt und Fragen im Zusammenhang mit der Umsetzung der Netto-Null-Industrie-Verordnung untersucht werden.

**Mit dem Kompass für Wettbewerbsfähigkeit, dem Deal für eine saubere Industrie und dem Aktionsplan für erschwingliche Energie hat die Kommission die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der EU in den Mittelpunkt ihrer Pläne für die kommenden Jahre gestellt.** Zusammen skizzieren diese drei Dokumente die wesentlichen Maßnahmen zum Ausbau und zur Stärkung des Bereichs der Netto-Null-Technologien. Dazu gehören der gemeinsame Fahrplan für Dekarbonisierung und Wettbewerbsfähigkeit der EU-Industrie im Rahmen des Deals für eine saubere Industrie und die im Aktionsplan für erschwingliche Energie dargelegten Maßnahmen zur Verbesserung des Zugangs zu erschwinglicher Energie.

**In diesem Zusammenhang wird die Kommission Netto-Null-Technologien weiterhin fördern,** weil es sich dabei um einen wichtigen Industriezweig handelt und weil dies die Technologien sind, die die Dekarbonisierung der gesamten Wirtschaft ermöglichen. Dies erfordert weitere koordinierte Anstrengungen auf EU- und nationaler Ebene.

---

<sup>250</sup> Weitere Informationen: [Clean Energy Technology Partnership](#).