

**ZUSAMMENFASSUNG**

**FÜR POLITISCHE ENTSCHEIDUNGSTRÄGER**

# BESCHLEUNIGUNG *DER UMSTELLUNG* **AUF ERNEUERBARE ENERGIEN IN EUROPA**

LUT UNIVERSITÄT &  
DIE GRÜNEN/EUROPÄISCHE  
FREIE ALLIANZ

**2022**

**AUTORINNEN UND AUTOREN**

Manish Ram, Dmitrii Bogdanov, Rasul Satymov, Gabriel Lopez,  
Theophilus Mensah, Kristina Sadovskaia, Christian Breyer



---

In the event of inconsistency or  
discrepancy between the English version  
and any other language version, the  
English language version shall prevail.

Die Europäische Union (EU) befindet sich in einem Energiedilemma. Bei den Herausforderungen geht es um die Sicherstellung der Versorgung genauso wie um die Bekämpfung des Klimawandels, aber auch um Kosten- und Sicherheitsfragen. Die EU ist mit der schwierigen Aufgabe konfrontiert, eine langfristige Vision für Klimaneutralität zu entwickeln ohne die kurzfristige Energieversorgungssicherheit innerhalb ihrer Grenzen und darüber hinaus zu gefährden. Zur Diskussion steht auch, was mit dem europäischen Green Deal erreicht werden soll, denn gleichzeitig ist die Umstellung auf einen höheren Anteil erneuerbarer Energien in vielen europäischen Ländern schon voll im Gang, vor allem im Stromsektor. Es besteht für Europa die Chance, mit einer beschleunigten Umstellung des Energiesystems auf 100 % erneuerbare Energien global in Führung zu gehen, was nicht nur für die europäische, sondern auch für die internationale Wirtschaft eine Reihe von Vorteilen bedeuten könnte. Vor diesem Hintergrund **haben Die Grünen/Europäische Freie Allianz (Grüne/EFA) die Technische Universität Lappeenranta (LUT) beauftragt**, mit unterschiedlichen Zielvorgaben mögliche Pfade in Europa zu untersuchen und zu benennen, die zu einem Energiesystem führen können, das im Sinne der Klimaneutralität energieeffizient ist und komplett aus erneuerbaren Energien besteht.

Das vorrangige Forschungsziel ist die Präsentation der am ehesten machbaren und tragfähigsten technisch-wirtschaftlichen Optionen durch Bestimmung der kostengünstigsten Energiemixe bei der langfristigen Umstellung der Sektoren Strom, Wärme, Verkehr und Industrie in ganz Europa auf ein integriertes Energiesystem. Dieses Vorhaben präsentiert zum ersten Mal **technologiereiche, multisektorale, multiregionale und kostenoptimierte** Analysen von Pfaden für die Energiewende in der EU mit einer hohen räumlichen (27 Mitgliedstaaten aus 20 Regionen in Europa) und zeitlichen (stündlichen) Auflösung.

Die Energiewende in Europa und vor allem in der EU wird anhand von drei unterschiedlichen Szenarien mit den folgenden abgrenzenden Parametern und Vorgaben untersucht:<sup>1</sup>

- **REFERENZSZENARIO [REF]:** Das Energiesystem in der EU setzt die derzeitigen Markttrends und die vereinbarten politischen Trends bis 2030 fort, wobei 40 % der Energieendnachfrage in der EU durch erneuerbare Energien gedeckt werden, die Effizienz von Gebäuden durch Verdoppelung der derzeitigen Sanierungsraten gesteigert wird und bis 2050 100% erneuerbare Energien zur Verfügung stehen, was bis 2030 eine Verringerung der Kohlenstoffemissionen um fast 40% gegenüber 2020 und um etwa 60% gegenüber 1990 ermöglicht<sup>2</sup>. Dieses Szenario ist nicht kompatibel mit dem ehrgeizigen Klimaziel, die Erderwärmung auf weniger als 1,5°C zu begrenzen. Der Ausstieg aus fossilen Brennstoffen wird bis 2050 vollständig vollzogen sein und bestehende Kernkraftwerke bleiben bis zum Ende ihrer technischen Lebenszeit im Einsatz, ohne dass in der EU neue Kernkraftwerke gebaut werden.

---

<sup>1</sup> Es wird in den Szenarien von ungefähr gleichbleibenden Verbraucherpräferenzen ausgegangen. Außerdem wird angenommen, dass gesteigerten Energiedienstleistungen in Zukunft mit entsprechend gesteigerter Energieeffizienz begegnet wird.

<sup>2</sup> Der Schwerpunkt dieser Studie liegt auf Kohlendioxidemissionen (CO<sub>2</sub>) aus der Nutzung von fossilen Brennstoffen in den Sektoren der EU-Energieindustrie. Einige Unsicherheiten bestehen bezüglich des Vergleichs mit den Emissionswerten von 1990.

- **ENERGIESYSTEM ERNEUERBARE ENERGIEN – SZENARIO 2040 [RES-2040]:**

Es gibt gesteigerte Bemühungen aller Mitgliedstaaten, den Anteil erneuerbarer Energien an der EU-weiten Energieendnachfrage bis 2030 auf 56%<sup>3</sup> bzw. bis 2040 auf 100% zu erhöhen. Eine gesteigerte Energieeffizienz von Gebäuden wird erreicht durch Verdreifachung der aktuellen Sanierungsraten von 1% pro Jahr. Dadurch werden energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2030 im Vergleich zu 2020 um 50% bzw. im Vergleich zu 1990 um 65% reduziert. Bis 2040 reduzieren sich die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen weiter auf Null. Der EU-weite vollständige Ausstieg aus fossilen Brennstoffen und Kernkraftwerken wird bis 2040 erreicht.

- **ENERGIESYSTEM ERNEUERBARE ENERGIEN – SZENARIO 2035 [RES-2035]:**

Mit verstärktem Nachdruck übernimmt die EU eine globale Führungsrolle bei der Eindämmung des Klimawandels und der Ermöglichung von mehr Energiesicherheit in ganz Europa. Dadurch steigt der Anteil erneuerbarer Energien an der EU-weiten Energieendnachfrage bis 2030 auf 60% bzw. bis 2035 auf 100%. Eine gesteigerte Energieeffizienz von Gebäuden wird erreicht durch Vervierfachung der aktuellen Sanierungsraten von 1% pro Jahr. Dadurch werden energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2030 im Vergleich zu 2020 um 70% bzw. im Vergleich zu 1990 um 78% reduziert. Bis 2035 reduzieren sich die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen weiter auf Null, was kompatibel ist mit dem im Pariser Klimaschutzabkommen vereinbarten Ziel, die Erderwärmung auf weniger als 1,5°C zu begrenzen. Der Stromsektor ist 2030 in allen EU-Mitgliedstaaten auf 100% erneuerbare Energien umgestellt; alle anderen Sektoren streben bis 2035 100% erneuerbare Energien an. Bis 2035 wird ein schneller, EU-weiter Ausstieg aus fossilen Brennstoffen und Kernkraftwerken vollzogen.

Dies sind die wichtigsten Trends und Erkenntnisse aus den drei Energiewende-Szenarien:

- **Ein hoher Anteil an erneuerbaren Energien ermöglicht in Energiesystemen der Zukunft einen hohen Elektrifizierungsgrad**

Die Energiewende ist geprägt von einem fundamentalen Wandel des bestehenden Energiesystems in der EU, das im Jahr 2020 noch zu 80% auf fossilen und nuklearen Energien basierte, hin zu einem hohen Grad der Elektrifizierung. Die Elektrifizierung des gesamten Energiesektors, einschließlich Strom, Wärme, Verkehr und Industrie, führt zu dem höchsten Anteil von 87% im Szenario RES-2035 für das Jahr 2035, 85% im Szenario RES-2040 für 2040 und 83% im REF-Szenario für 2050 (siehe Abb. ES1). Der Ausbau von erneuerbaren Energien treibt die Elektrifizierung und Integration der verschiedenen Energiesektoren mit einem zu 100% erneuerbaren Energiesystem in der EU bis 2035 im RES-2035-Szenario, bis 2040 im RES-2040-Szenario und bis 2050 im REF-Szenario voran (siehe Abb. ES1). Außerdem ist die direkte Elektrifizierung in einem Großteil der Sektoren ein Treiber für Energieeffizienz.

---

<sup>3</sup> Beinhaltet von Wärmepumpen genutzte Umgebungswärme.

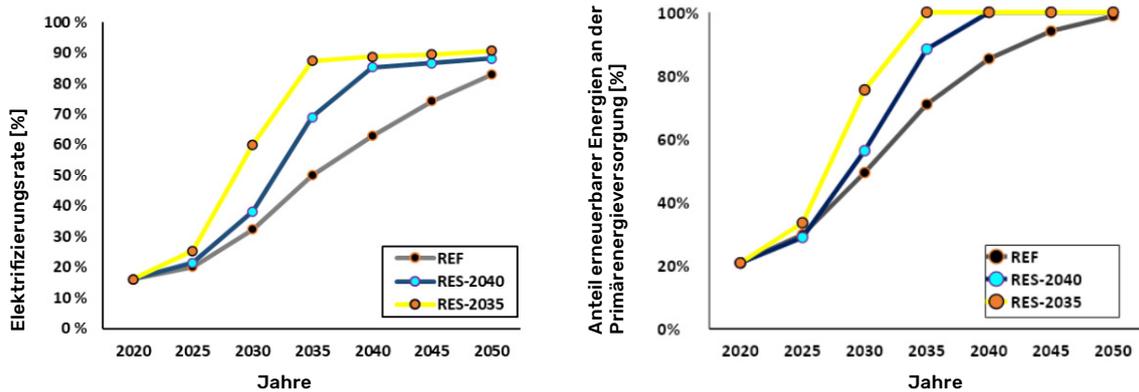


Abb. ES1: Elektrifizierungsraten (links) und Anteil an erneuerbaren Energien (rechts) in den 3 Szenarien.

Der hohe Grad der Elektrifizierung und der Nutzung erneuerbarer Energien ermöglicht einen grundlegenden Umbau des Energiesystems – **weg von einer Dominanz der Moleküle aus fossilen Brennstoffen, hin zu Elektronen in Strom aus erneuerbaren Quellen** – auch dies führt zu Steigerungen der Energieeffizienz.

### Transformation des Primärenergieverbrauchs in der EU

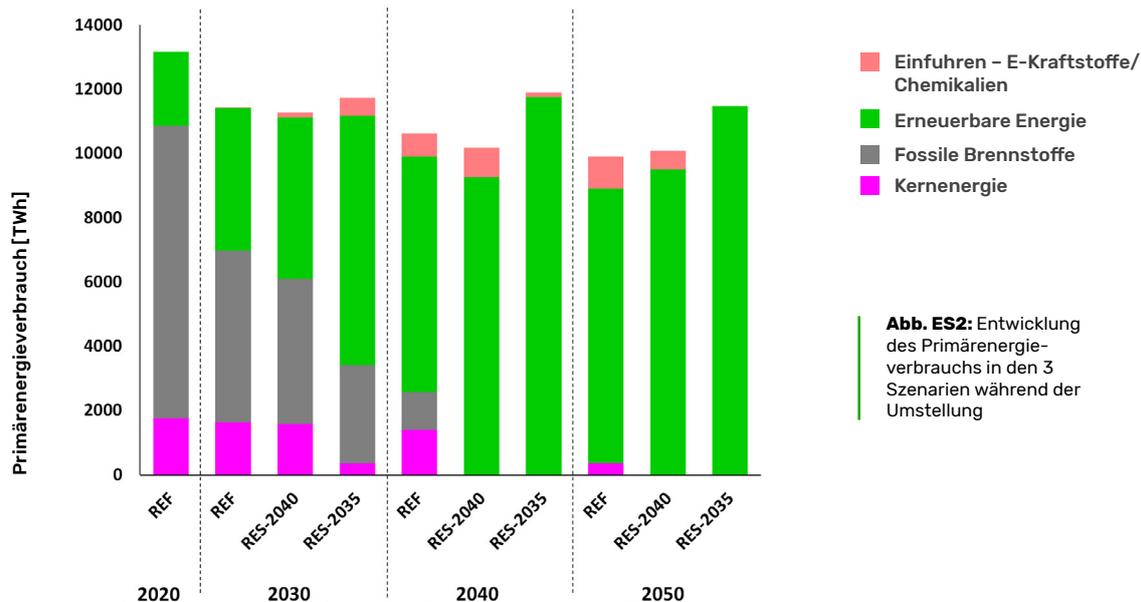
Trotz eines allgemeinen Anstiegs der Nachfrage nach Energiedienstleistungen in den Sektoren Strom, Wärme, Verkehr und Industrie sinkt als Ergebnis von Effizienzsteigerungen mit einem höheren Grad an Elektrifizierung der Primärenergieverbrauch<sup>4</sup>. Die Energiewende führt in der Zukunft in der gesamten EU zu hochgradig sektoriell gekoppelten und effizienten Energiesystemen auf der Grundlage von Strom aus erneuerbaren Energien. Der Primärenergieverbrauch sinkt von etwa 13.200 TWh im Jahr 2020 auf knapp 9.200 TWh bis 2050 im REF-Szenario, auf etwa 9.500 TWh bis 2040 im RES-2040-Szenario<sup>5</sup> und auf knapp 12.000 TWh bis 2035 im RES-2035-Szenario (siehe Abb. ES2). In den Szenarien RES-2040 und RES-2035 geht der Primärenergieverbrauch bei höheren Effizienzgewinnen bis 2050 weiter zurück.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Trend zu kostengünstiger Elektrifizierung und verstärkter sektoraler Integration zu einem starken Anstieg der Stromnachfrage führt und Strom aus erneuerbaren Energiequellen damit zum wichtigsten Energieträger in künftigen Energiesystemen wird. Im RES-2035-Szenario wird mit hoher Geschwindigkeit bis 2035, im RES-2040-Szenario bis 2040 100% und im REF-Szenario bis 2050 fast 100% erreicht (wobei sich einige Kernkraftwerke noch in der Übergangsphase befinden). Ein gewisser Anteil von importierten E-Kraftstoffen und E-Chemikalien ermöglicht kosteneffiziente Systeme mit 100% erneuerbaren Energien in der EU<sup>6</sup>. Diese Importe liegen deutlich unter den derzeitigen EU-weiten Einfuhren fossiler Kraftstoffe.

<sup>4</sup> Der Primärenergieverbrauch beinhaltet weder Nichtenergie-Rohstoffe für die Industrie noch Umgebungswärme aus der Umwelt, z.B. in Wärmepumpen.

<sup>5</sup> Darüber hinaus nutzt das Energiesystem im Jahr 2040 etwa 1.700 TWh Umgebungswärme, etwa 150 TWh an Rohstoffen, darunter E-Kraftstoffe und E-Chemikalien, und etwa 40 TWh an Biokohle für die Stahlindustrie.

<sup>6</sup> Die Anteile der importierten E-Kraftstoffen und E-Chemikalien am Primärenergieverbrauch betragen im REF-Szenario 0 % im Jahr 2030 und 8 % im Jahr 2050, im RES-2040-Szenario 1 % im Jahr 2030 und 3 % im Jahr 2050 und im RES-2035-Szenario 8 % im Jahr 2030 und 0 % im Jahr 2050.



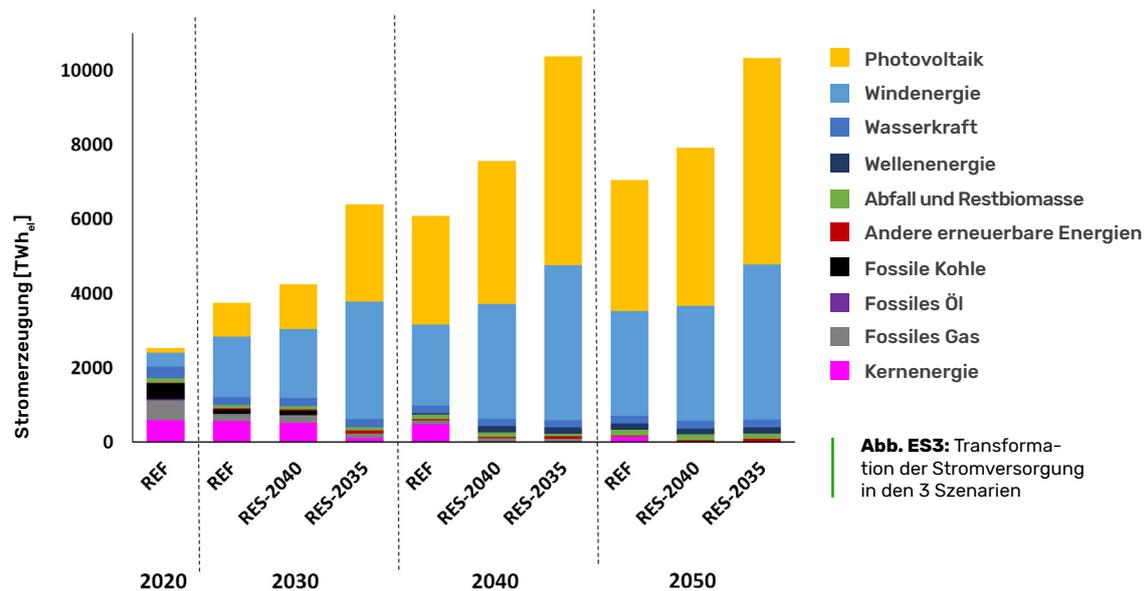
**Abb. ES2:** Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in den 3 Szenarien während der Umstellung

### Effizienzgewinne sind Treiber eines integrierten Energiesystems in der EU

Der Primärenergiebedarf spiegelt zunächst das derzeit stark untergliederte Energiesystem wider. Dieses ist dominiert von fossilen Brennstoffen, die wenig effizient in Strom für den Stromsektor, Wärme für Heizungsanwendungen im Wärmesektor umgewandelt oder als Brennstoff für Energie im Verkehrssektor genutzt werden. Der Primärenergiebedarf verändert sich während der Umstellung und bildet durch Elektrifizierung und Sektorkopplung ein zunehmend integriertes Energiesystem ab. Die Elektrifizierung wird im Stromsektor in erster Linie durch die Umstellung der Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen und Kernenergie auf Strom aus erneuerbaren Energien vorangetrieben; im Verkehrssektor durch den Umstieg von Verbrennungsmotoren auf elektrische Antriebe und im Wärmesektor durch Elektroheizungen in Verbindung mit Wärmepumpen. Die optimale Nutzung erneuerbarer Energien und der effiziente Betrieb des Energiesystems werden durch die Sektorkopplung gewährleistet, bei der Strom aus erneuerbaren Energien in Wärme und Kraftstoffe umgewandelt wird, insbesondere in Zeiten hoher und mäßiger unelastischer Energienachfrage. Hohe Effizienzgewinne durch Elektrifizierung, Gebäudesanierung und Sektorkopplung ermöglichen es, den Primärenergiebedarf eines integrierten Energiesystems sowohl kurz- als auch langfristig zu senken. Dies wird durch die Energieendnachfrage erfasst, die den Energiebedarf auf der Verbrauchsseite darstellt. Im derzeitigen entkoppelten und fossillastigen Energiesystem ist ein höheres Maß an Primärenergie erforderlich, um die Energieendnachfrage zu decken, während in einem stark elektrifizierten und sektorgekoppelten Energiesystem ein geringeres Maß an Primärenergie erforderlich ist, um die Energieendnachfrage zu decken, die wiederum von Umfang und Geschwindigkeit des Umbaus abhängt. Eine beschleunigte Umstellung auf erneuerbare Energien zum Zweck der Defossilisierung bedeutet einen zusätzlichen Energieverbrauch bei der Herstellung von E-Kraftstoffen und E-Chemikalien, welche benötigt werden, um kurzfristig in den schwer umstellbaren Sektoren eine Emissionsminderung zu erreichen. Dies führt zu geringeren Effizienzgewinnen in Bezug auf den Gesamtenergieverbrauch. Es versetzt die EU jedoch technologisch gesehen in die vorteilhafte Lage, mittelfristig zu einem Technologieexporteur von E-Kraftstoffen und E-Chemikalien zu werden. Langfristig wird die fortschreitende Elektrifizierung aller Prozesse und die sinkende Nutzung von E-Kraftstoffen eine weitere Steigerung der Energieeffizienz des integrierten EU-Energiesystems ermöglichen.

## Transformation der Stromversorgung in der EU

Photovoltaik und Windenergie erweisen sich aufgrund ihrer preislichen Wettbewerbsfähigkeit in allen drei Szenarien als die dominierenden Stromerzeugungsquellen. Photovoltaik bietet im Verlauf der Energiewende nicht nur die größten Kapazitäten, nämlich fast 3 TW im REF-Szenario im Jahr 2050 sowie mehr als 4,5 TW im RES-2035-Szenario im Jahr 2035, sondern verfügt mit über 50% im REF-Szenario im Jahr 2050 und bis zu 54% im RES-2035-Szenario im Jahr 2035 auch über die größten Anteile bei der Erzeugung (siehe Abb. ES3). Windenergie, die andere Säule der Energiewende, verfügt über installierte Kapazitäten von fast 800 GW im REF-Szenario im Jahr 2050 bis über 1.000 GW im RES-2035-Szenario im Jahr 2035 und macht 38% bis 41% der Erzeugungsanteile in den drei Szenarien aus, ergänzt durch andere erneuerbare Energien wie Wasserkraft, Wellen- und Bioenergie. Fossile Brennstoffe sind in allen drei Szenarien vollständig aus dem EU-Energiesystem eliminiert. Kernkraftwerke werden im REF-Szenario bis zum Ende ihrer technischen Lebensdauer weiter betrieben, während der Ausstieg im RES-2040-Szenario bis 2040 und im RES-2035-Szenario bis 2035 stattfindet. Ein Neubau von Kernkraftwerken wird in keinem der drei Szenarien in Betracht gezogen, da Kernkraft im Vergleich zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen kostenmäßig nicht mithalten kann und außerdem EU-weit mit den längsten Bauzeiten assoziiert ist. Die Ergebnisse dieser Studie sind ein weiterer Beleg dafür, dass Kernenergie keine kosteneffiziente Option ist und aufgrund von mit ihr assoziierten komplexen und umfangreichen Budgetüberschreitungen und extrem langen Bauzeiten in den möglichen Pfaden für eine rasche Energiewende nicht vorkommt, da sie eher noch zusätzliche Fragen der Nachhaltigkeit und Sicherheit aufwirft.



Strom wird zum wichtigsten Energieträger in den verschiedenen Energiesektoren, was zu einem Anstieg des Stromangebots von derzeit über 2.530 TWh (Zahlen von 2020) auf das 2,5-fache bis 2050 (7.050 TWh) im REF-Szenario, auf das 3-fache bis 2040 (7.550 TWh) im RES-2040-Szenario und auf das fast 4-fache bis 2035 (9.700 TWh) im RES-2035-Szenario führt (siehe Abb. ES3).

## Transformation der Wärmeversorgung in der EU

Der derzeitige Wärmesektor in der EU wird mit einem Anteil von über 65% stark von fossilem Gas dominiert, das größtenteils importiert wird. Voraussichtlich wird im Verlauf der Umstellung eine Kombination aus direkter und indirekter Stromwärme vorherrschen und rund 70% der Wärmeversorgung in allen drei Szenarien leisten (siehe Abb. ES4), was auf die erheblichen Effizienzsteigerungen von Wärmepumpen und stromgekoppelten Lösungen zurückzuführen ist.

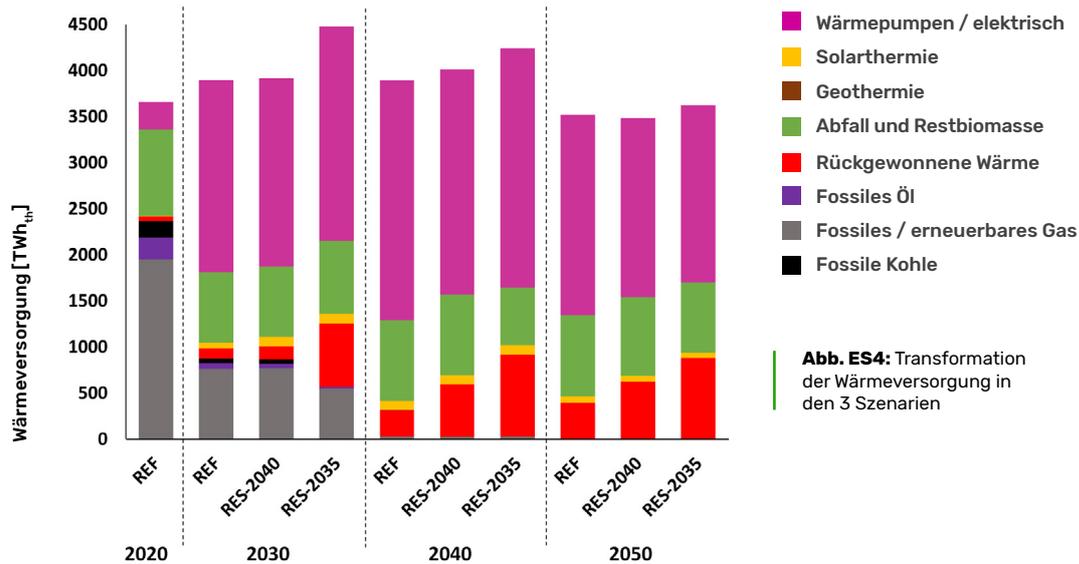


Abb. ES4: Transformation der Wärmeversorgung in den 3 Szenarien

Wahrscheinlich wird der Großteil der Wärmeerzeugungskapazitäten während der Umstellung auf mit Ökostrom betriebene Elektroheizungen (direkt) und Wärmepumpen (indirekt) entfallen, ergänzt durch einen kleinen, aber steten Anteil anderer erneuerbarer Energieträger, vor allem nachhaltige Bioenergie und in geringerem Umfang auch Solarthermie. Die Wärmerückgewinnung, bei der Abwärme aus verschiedenen Prozessen zur Deckung des Bedarfs genutzt wird, spielt eine wichtige Rolle bei der Umstellung und erhöht die Effizienz des EU-Energiesystems weiter. Die Wärmeversorgung bleibt in allen drei Szenarien auf dem derzeitigen Niveau (siehe Abb. ES4), obwohl die Wärmenachfrage für Raumheizung und Warmwasserbereitung zurückgeht. In erster Linie ist dies auf erhebliche Effizienzgewinne durch neue Heiztechnologien sowie auf verbesserte Gebäudestandards in der EU zurückzuführen. Wie das RES-2035-Szenario zeigt, ist eine rasche Abkehr von importiertem fossilem Gas in der gesamten EU machbar und tragfähig und trägt sowohl zur Energiesicherheit als auch zum Klimaschutz bei.

## Transformation der Nutzung von Brennstoffen und Chemikalien in der EU

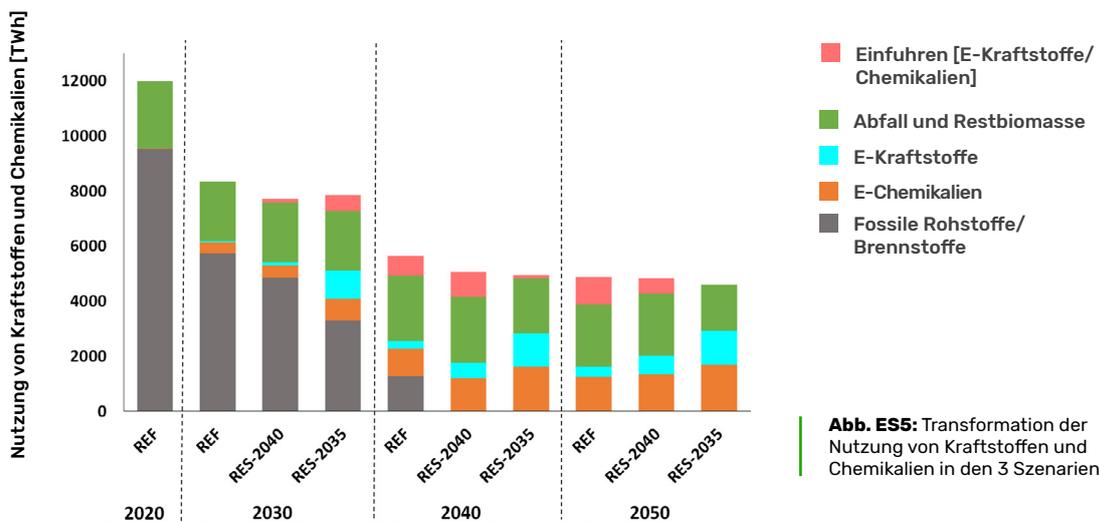
Fossile Brennstoffe dominieren derzeit die Energie- und Rohstoffversorgung des Verkehrs- und Industriesektors in der EU. Nur etwa 8% der Energie im Verkehrssektor kommt aus erneuerbaren Energieträgern; dies sind vor allem Biokraftstoffe und, in geringerem Umfang, Strom. Im Rahmen der

Energiewende erweist sich die direkte Elektrifizierung als die effizienteste Lösung zur Dekarbonisierung des Straßenverkehrs, während der Luft- und Seeverkehr in den drei Szenarien in hohem Maße auf strombasierte synthetische Kraftstoffe aus erneuerbaren Energien angewiesen ist.

Der Industriesektor umfasst die Energie- und Rohstoffversorgung der Zement-, Stahl-, Chemie-, Aluminium-, Zellstoff- und Papier- sowie anderer Industrien. Der Industriesektor wird derzeit EU-weit von fossilen Brennstoffen dominiert. Eine vollständige Umstellung des Industriesektors wird jedoch in allen drei Szenarien erreicht, einerseits durch die direkte Elektrifizierung bestimmter industrieller Prozesse, wie z.B. der Stahlproduktion, sowie andererseits durch die Einführung nachhaltiger Prozesse, die **strombasierte E-Kraftstoffe (E-Wasserstoff, E-Methan und Fischer-Tropsch-Kraftstoffe) und E-Chemikalien (E-Ammoniak und E-Methanol) aus erneuerbaren Energien nutzen.**

Die massive Elektrifizierung, vor allem im Straßenverkehr und in einigen Industriezweigen, führt zu einer drastischen Verringerung des Einsatzes von Kraftstoffen und Chemikalien, nämlich um etwa 60% im REF- und RES-2040-Szenario bis 2050 bzw. 2040 und um etwa 50% im RES-2035-Szenario bis 2035 (siehe Abb. ES5). Die verbleibenden fossilen Brennstoffe werden in den drei Szenarien überwiegend durch teilweise importierte E-Kraftstoffe und E-Chemikalien ersetzt, während für den Übergang zu EU-Energiesystemen mit 100% erneuerbarer Energie nachhaltige, auf Bioabfall basierende Kraftstoffe benötigt werden (siehe Abb. ES5).

In allen drei Szenarien lässt sich ein grundlegender Wandel weg von einem stark untergliederten Energiesektor hin zu einem integrierten Energiesystem beobachten, was durch kostengünstigen Strom aus erneuerbaren Energien ermöglicht wird. Die direkte Elektrifizierung in den Bereichen Wärme, Verkehr und Industrie sowie die indirekte Elektrifizierung durch die Produktion von E-Kraftstoffen und E-Chemikalien verbinden die verschiedenen Energiesektoren und führen zu einem höheren Effizienzniveau und wirtschaftlichen Vorteilen.



**Abb. ES5:** Transformation der Nutzung von Kraftstoffen und Chemikalien in den 3 Szenarien

## Hohe Nachhaltigkeitsstandards für Bioenergie in der EU

Bioenergie spielt eine Rolle bei der Erzeugung von Strom und Wärme sowie bei der Produktion von Kraftstoffen. Alle in dieser Studie betrachteten Bioenergiequellen liegen weit innerhalb der Nachhaltigkeitsgrenzen der biologischen Vielfalt in der EU. Bei den Bioenergiequellen handelt es sich in erster Linie um Abfälle und Reststoffe; Energiepflanzen aus der EU oder aus anderen Ländern in Form von Importen werden für die Zeit nach 2030 nicht berücksichtigt. Für Bioenergie wird ein Höchstmaß an Nutzung im Energiesystem angenommen.

## Energiespeicherung erweist sich als entscheidende Komponente in 100% integrierten erneuerbaren Energiesystemen

Die Energiespeicherung spielt eine entscheidende Rolle bei der Umstellung des Energiesystems auf einen hohen Anteil erneuerbarer Energien, da sie für **Stabilität und Flexibilität** sorgt. Darüber hinaus ermöglichen Energiespeichertechnologien eine Integration des Energiesystems mit dem Vehicle-to-Grid-System (dt. vom Fahrzeug zum Netz-System), indem sie den Strom- und den Verkehrssektor miteinander verbinden, während die Speicherung von Gas (Methan und Wasserstoff) Power-to-Gas-Lösungen ergänzt. Kombinierte Speichertechnologien decken den Energiebedarf während des gesamten Übergangszeitraums, wobei Batterien (Versorger und Prosumer) in den drei Szenarien den Großteil des Stromspeicherbedarfs decken (siehe Abb. ES6). Gasspeichertechnologien sind ein unverzichtbarer Bestandteil der Energiewende im Zusammenhang mit der Bereitstellung saisonaler Energie für Heizzwecke in der EU, vor allem im Winter. Der wichtigste Energieträger ist hier Biomethan. Die Wasserstoffspeicherung spielt eher eine Rolle als Puffer für die verschiedenen Strom-H<sub>2</sub>-X-Lösungen. Thermische Energiespeicher (TES), sowohl Hochtemperatur- als auch Fernwärmespeicher, gewährleisten während der Energiewende in allen drei Szenarien eine stabile und zuverlässige Wärmeversorgung.

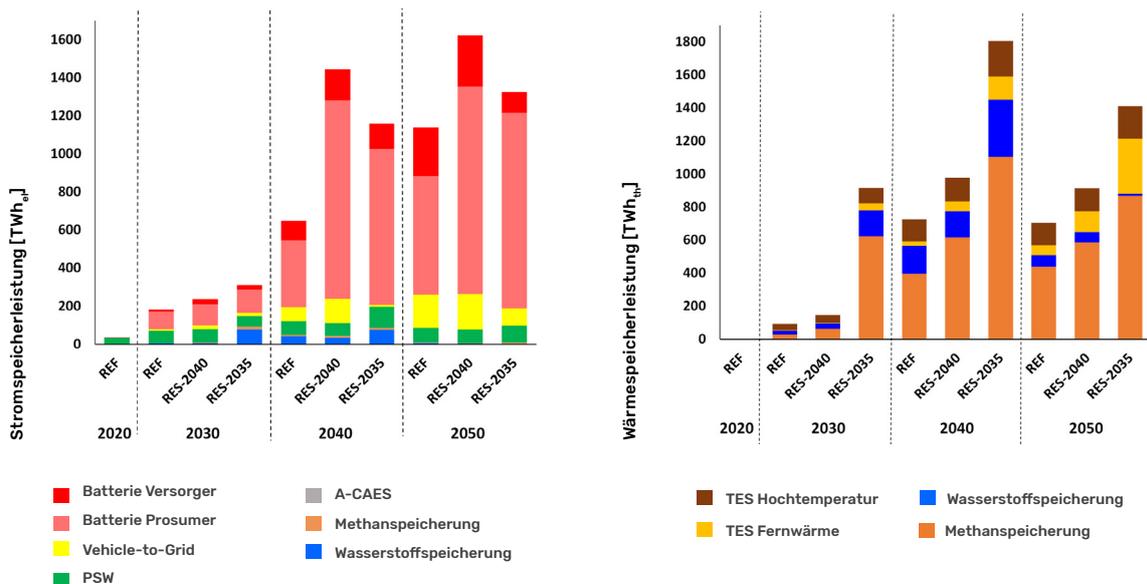


Abb. ES6: Stromspeicherleistung (links) und Wärmespeicherleistung (rechts) während des Übergangs in den 3 Szenarien

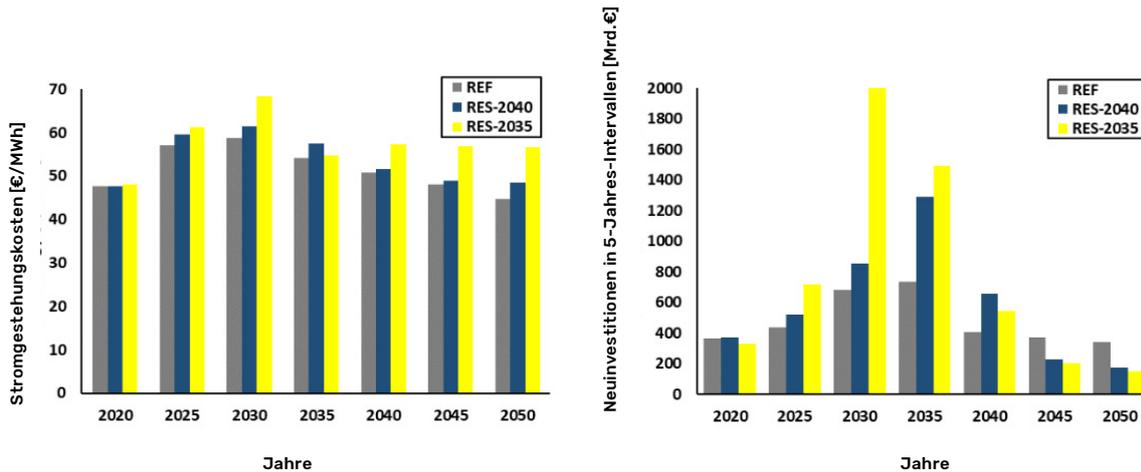
Ein hochgradig integrierter Ansatz mit vollständiger Sektorkopplung und hohen Elektrifizierungsraten liefert das effizienteste und kostengünstigste Energiesystem. Das Wachstum der Strom-, Gas- und Wärmespeicherleistung liegt dabei in den drei Szenarien bei etwa 20–30% des Primärenergiebedarfs. Daher sind Energiespeichertechnologien für die Gewährleistung effizienter und kostengünstiger Energiesysteme in der Zukunft von entscheidender Bedeutung.

### ■ Für eine rasche Umstellung des Energiesystems in der EU sind massive Investitionen erforderlich

Wie teuer Energie ist, gehört zu den wichtigsten Faktoren, die über die Realisierbarkeit von Energieszenarien, -konzepten, -fahrplänen und -pfaden entscheiden. Auch in der EU bestehen weiterhin auf vielen Seiten Befürchtungen hinsichtlich der Kosten ehrgeiziger Energiewendepfade hin zu 100% erneuerbaren Energien. Die vorliegende Studie zeigt jedoch, dass die Kosten im ehrgeizigsten RES-2035-Szenario mit EU-weit 100% erneuerbaren Energien nur 10–12% über den Kosten des Jahres 2020 liegen werden. Auch die Kosten im RES-2040-Szenario sind nur um etwa 4–5% höher als im Jahr 2020. Allerdings kann die Volatilität der Preise für fossile Brennstoffe zu wesentlich höheren Kostenspitzen für das Energiesystem führen. Bei den derzeitigen Energiepreisen für fossile Brennstoffe<sup>7</sup> wären die Gesamtkosten des Energiesystems in der EU in den Jahren 2025 und 2030 jeweils um fast 70% und 2% höher als die Kosten im Jahr 2020. Die Abhängigkeit von importierten fossilen Brennstoffen, die an volatile Weltmärkte gekoppelt sind, führt daher zu zusätzlichen wirtschaftlichen und ökologischen Risiken. Um das ehrgeizigste Szenario zu verwirklichen, müssen jedoch die Investitionen in erneuerbare Energien und nachhaltige Technologien in der gesamten EU **noch in diesem Jahrzehnt bis 2030 auf bis zu 2.000 Mrd. €** erhöht werden (siehe Abb. ES7). Diese Investitionen kurbeln die Wirtschaft an, schaffen Arbeitsplätze und ermöglichen es, die Ziele der europäischen Klimaneutralität und des Pariser Klimaschutzabkommens zu erreichen sowie gleichzeitig in Europa ein höheres Maß an Energieversorgungssicherheit zu gewährleisten. Bei der Energiewende geht es nicht nur um Direktinvestitionen, sondern auch um die Kosten pro Erzeugungseinheit: Betrachtet man diese Stromgestehungskosten (LCOEnergy), so liegt der LCOE-Wert beim REF-Szenario bei 45€/MWh im Jahr 2050, beim RES-2040-Szenario bei 52 €/MWh im Jahr 2040 und beim RES-2035-Szenario bei 55 €/MWh im Jahr 2035<sup>8</sup>(siehe Abb. ES7). Diese Werte können mit dem derzeitigen LCOE-Wert von 48 €/MWh im Jahr 2020 gut mithalten. Dies zeigt, dass eine beschleunigte Energiewende hin zu 100% erneuerbaren Energien wirtschaftlich attraktiver ist als eine langsame Umsetzung. Die Stromgestehungskosten werden in den drei Szenarien zunehmend von Kapitalkosten dominiert, da die Kosten für Brennstoffe mit dem Ausstieg aus fossilen Brennstoffen und Kernenergie mit der Zeit immer weniger ins Gewicht fallen.

7 Für das Energiesystem der EU werden für das Jahr 2025 die durchschnittlichen EU-Energiepreise für Kohle, fossiles Öl und fossiles Gas vom Winter 2021/2022 berücksichtigt. Für das Jahr 2030 wird aufgrund der Unsicherheiten im Zusammenhang mit erhöhten LNG-Importen und langfristigen Marktverzerrungen für fossiles Gas mit 30 % des Durchschnittspreises im Winter 2021/2022 gerechnet.

8 Für den Übergangszeitraum bis 2050 wird der reale Wert des Euro (€) im Jahr 2020 angenommen, ohne Berücksichtigung der Inflation. Dies ermöglicht auf der Zeitlinie belastbare Vergleiche der Energiekosten und des Investitionsbedarfs.

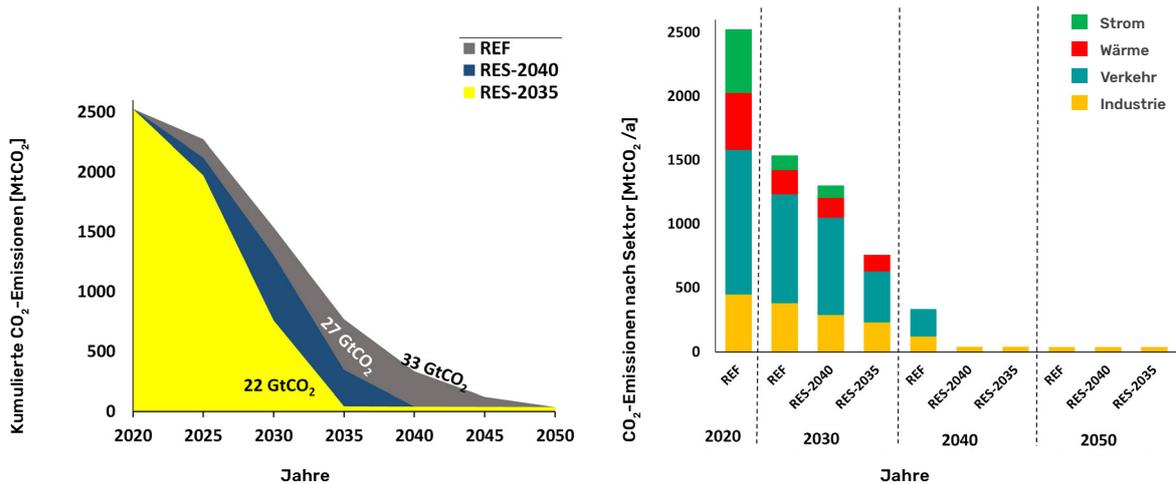


**Abb. ES7:** Stromgestehungskosten (links) und neue Investitionsausgaben (rechts) während des Übergangs in den 3 Szenarien. Die Investitionsausgaben gelten für den jeweiligen 5-Jahres-Zeitraum

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass **das Tempo der Energiewende in der EU direkt davon abhängt, wie viel Kapital in den nächsten Jahren in erneuerbare Energien und nachhaltige Technologien investiert wird.** Dies ist ein deutlicher Wegweiser für Politiker und Entscheidungsträger in Hinblick auf die Prioritätensetzung bei der Kapitalzuweisung. Eine beschleunigte Energiewende in der EU könnte einen umweltfreundlichen Konjunkturaufschwung nach der Pandemie ermöglichen, ein hohes Maß an Versorgungssicherheit durch lokal erzeugte erneuerbare Energien gewährleisten, teure Importe fossiler Brennstoffe ersetzen, die Energieunabhängigkeit von Russland erreichen und die CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie die damit verbundene Umweltverschmutzung senken, wodurch das Klima stabilisiert und die Umweltqualität verbessert würde.

**— Eine beschleunigte Energiewende löst den stärksten Rückgang an CO<sub>2</sub>-Emissionen in der EU aus**

Eine beschleunigte Energiewende hin zu 100% erneuerbaren Energien führt zu einem starken Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen des gesamten Energiesystems in der EU. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen gehen in den drei Szenarien zurück, und zwar von etwa 2500 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> (MtCO<sub>2</sub>) im Jahr 2020 auf nahezu Null bis zum Jahr 2035 im RES-2035-Szenario, auf nahezu Null bis zum Jahr 2040 im RES-2040-Szenario und auf nahezu Null bis zum Jahr 2050 im REF-Szenario (verbleibende kalksteinbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen sind aus der Zementindustrie und können durch Kohlenstoffabscheidung und -speicherung oder natürliche Senken gemindert werden, während die energiebedingten Emissionen auf Null sinken) (siehe Abb. ES8). Die verbleibenden kumulierten CO<sub>2</sub>-Emissionen liegen bei etwa 22 Gigatonnen CO<sub>2</sub> (GtCO<sub>2</sub>) von 2020 bis 2035 im RES-2035-Szenario, etwa 27 GtCO<sub>2</sub> von 2020 bis 2040 im RES-2040-Szenario und 33 GtCO<sub>2</sub> von 2020 bis 2050 im REF-Szenario (siehe Abb. ES8).



**Abb. ES8:** Kumulierte CO<sub>2</sub>-Emissionen (links) und sektorbezogene CO<sub>2</sub>-Emissionen (rechts) während des Übergangs in den 3 Szenarien

Die vorgestellten Szenarien für die Umstellung des Energiesystems in der EU sind mit dem Pariser Klimaschutzabkommen vereinbar. Dabei zeigt das RES-2035-Szenario einen beschleunigten Pfad zur Erreichung des ehrgeizigen Ziels der Begrenzung des Temperaturanstiegs auf unter 1,5°C auf, **der die EU auf den Weg zu einer globalen Führungsrolle bringt**. Das RES-2040-Szenario illustriert einen etwas weniger ehrgeizigen Pfad zur Begrenzung der Erwärmung auf 1,5°C, und das REF-Szenario ist das am wenigsten ehrgeizige Szenario mit einer Erwärmung von mehr als 1,5°C.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse dieser Studie, dass ein wenig ehrgeiziger Pfad in der EU nicht nur in Sachen Klimawandel und Wirtschaft eine Belastung für die Gesellschaft darstellt, sondern auch weil ein solcher Pfad das Risiko einer unsicheren Energieversorgung erhöht. Die Ergebnisse bestätigen, dass eine sehr ehrgeizige Energiewende hin zu 100% erneuerbaren Energien bis 2040 technisch machbar und wirtschaftlich tragfähig ist. Mit den richtigen politischen Maßnahmen und hohem Druck könnte dies sogar bis 2035 bewerkstelligt werden. Erforderlich ist dafür eine erhebliche Ausweitung der Investitionen, jedoch mit dem Vorteil stabiler Energiekosten pro Einheit. Mit der Aussicht auf lokal erzeugte nachhaltige Energie lässt sich die Unabhängigkeit vom Import fossiler Brennstoffe realisieren, vor allem werden damit aber die Weichen zum Erreichen des 1,5°C-Ziels des Pariser Klimaschutzabkommens gestellt.

## Anhang

Der Anhang enthält detailliertere Ergebnisse zur Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien am Energiesystem, zur Stromerzeugung und zu Effizienzstandards, auch für die Teilsektoren Gebäude, Wärme, Verkehr und Strom. Die Betonung liegt hier auf den Ergebnissen für das zentrale RES-2040-Szenario.

Tabelle A1: Primärenergiebedarf und Endenergieverbrauch in der EU im RES-2040-Szenario

	PRIMÄRENERGIEBEDARF UND ENDENERGIEVERBRAUCH <sup>9</sup> IN DER EU-27						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PEB (TWH)	13 197	12 808	11 216	10 688	9 648	9 623	9 621
PEB (MTOE)	1 135	1 101	964	919	830	827	827
EEV (TWH)	11 058	10 469	9 289	8 692	8 548	8 499	8 517
EEV (MTOE)	951	900	799	747	735	731	732

Tabelle A2: Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch der EU-Mitgliedstaaten im Szenario RES-2040

	ANTEIL ERNEUERBARER ENERGIEN AM ENDENERGIEVERBRAUCH [%]						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
ÖSTERREICH	38%	34%	61%	92%	100%	100%	100%
BELGIEN	10%	16%	47%	89%	100%	100%	100%
BULGARIEN	26%	35%	55%	87%	100%	100%	100%
KROATIEN	21%	43%	62%	91%	100%	100%	100%
ZYPERN	20%	24%	57%	90%	100%	100%	100%
<b>EU-27</b>	<b>21%</b>	<b>29%</b>	<b>56%</b>	<b>88%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

<sup>9</sup> Folgende Webseite enthält die Eurostat-Definitionen für Primärenergiebedarf (PEB) und Endenergieverbrauch (EEV): <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/final-energy-consumption-by-sector-13>

	ANTEIL ERNEUERBARER ENERGIEN AM ENDENERGIEVERBRAUCH [%]						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
TSCHECH. REP.	22%	27%	52%	79%	100%	100%	100%
DÄNEMARK	33%	47%	65%	92%	100%	100%	100%
ESTLAND	34%	47%	68%	92%	100%	100%	100%
FINNLAND	33%	48%	75%	91%	100%	100%	100%
FRANKREICH	20%	32%	54%	83%	100%	100%	100%
DEUTSCHLAND	18%	25%	58%	90%	100%	100%	100%
GRIECHENLAND	26%	35%	55%	87%	100%	100%	100%
UNGARN	38%	34%	61%	92%	100%	100%	100%
IRLAND	15%	24%	57%	89%	100%	100%	100%
ITALIEN	20%	20%	50%	89%	100%	100%	100%
LETTLAND	34%	47%	68%	92%	100%	100%	100%
LITAUEN	34%	47%	68%	92%	100%	100%	100%
LUXEMBURG	10%	16%	47%	89%	100%	100%	100%
MALTA	20%	20%	50%	89%	100%	100%	100%
NIEDERLANDE	10%	16%	47%	89%	100%	100%	100%
POLEN	13%	39%	65%	93%	100%	100%	100%
PORTUGAL	20%	25%	53%	88%	100%	100%	100%
RUMÄNIEN	26%	35%	55%	87%	100%	100%	100%
SLOWAKEI	22%	27%	52%	79%	100%	100%	100%
SLOWENIEN	21%	43%	62%	91%	100%	100%	100%
SPANIEN	20%	25%	53%	88%	100%	100%	100%
SCHWEDEN	44%	44%	65%	89%	100%	100%	100%
<b>EU-27</b>	<b>21%</b>	<b>29%</b>	<b>56%</b>	<b>88%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>



Tabelle A3: Anteil erneuerbarer Energien in unterschiedlichen Energiesegmenten der EU im Szenario RES-2040

	ANTEIL ERNEUERBARER ENERGIEN [%] IN DER EU-27						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<b>STROMVERSORGUNG</b>	39%	59%	81%	95%	100%	100%	100%
<b>GEBÄUDE</b>	35%	42%	77%	96%	100%	100%	100%
<b>WÄRME</b>	33%	36%	75%	96%	100%	100%	100%
<b>INDUSTRIE</b>	0%	31%	75%	95%	100%	100%	100%
<b>VERKEHR</b>	4%	6%	17%	72%	100%	100%	100%

<sup>10</sup> Green Hydrogen (H<sub>2</sub>) for non-energy use in industry.





60 rue Wiertz/Wiertzstraat 60  
1047 Brussels, Belgium  
[www.greens-efa.eu](http://www.greens-efa.eu)  
[contactgreens@ep.europa.eu](mailto:contactgreens@ep.europa.eu)