

STUDIEN

Heimo Bürbaumer
Bernhard Felber
Günter Pauritsch

E-Mobilität

Die Bedeutung der E-Mobilität auf dem Weg
zu einem 100 % erneuerbaren Energiesystem

Wien, Juli 2025

Erstellt im Auftrag des Klima- und Energiefonds

1.0	Executive Summary	02
2.0	Einleitung und Fragestellung	05
3.0	Stromherkunft und Einfluss der E-Mobilität auf den Kraftwerkspark	06
3.1	Erneuerbarer Strom für Elektroautos	07
3.1.1	Smartes Laden	07
3.1.2	Laden und entladen in das Netz oder das eigene Haus	07
3.2	Strom-Mix für Elektroautos und die Merit-Order-Kurve der Erzeugung	08
3.2.1	Zeitliche Abhängigkeit der Merit Order	09
3.2.2	Zuordnung des Stromverbrauchs zur Merit-Order-Kurve der Erzeugung	10
3.3	Einfluss der E-Mobilität auf den Kraftwerkspark	12
4.0	E-Mobilität und die Transformation des Energiesystems	15
4.1	Das Energiesystem der Zukunft	15
4.2	Flexibilitäten sichern die Versorgung in Zeiten von wenig Sonne und Wind	17
4.2.1	Tägliche Flexibilitäten	17
4.2.2	Wöchentliche Flexibilitäten	19
4.2.3	Saisonale Flexibilitäten	19
4.3	Treibhausgasemissionen über den Lebenszyklus	19
4.4	Effizienzen unterschiedlicher potenziell klimaneutraler Antriebe	21
4.5	Bedeutung der E-Mobilität für die Transformation zu einem 100 % erneuerbaren Energiesystem	23
	Literatur	27
	Abbildungsverzeichnis	28
	Abkürzungsverzeichnis	30
	Impressum	31

1.0 Executive Summary

Ziel der Kurzstudie ist ein Faktencheck, inwieweit die E-Mobilität aufgrund direkter und indirekter THG (Treibhausgas)-Emissionen sowie des damit verbundenen Stromverbrauchs die Dekarbonisierung und die Energiewende in Österreich voranbringt. Insbesondere werden zwei Fragen beantwortet:

1. Woher kommt der Strom für die E-Mobilität und wie beeinflusst die E-Mobilität den Kraftwerkspark und damit das Gelingen der Energiewende?

Die beste Option sein Elektroauto zu laden, ist die Nutzung von Ökostrom. Dazu gibt es die Möglichkeit zertifizierten Ökostrom zu beziehen oder selbst erzeugten PV(Sonnen)-Strom zu nutzen. Ein Elektroauto ist hierbei von doppeltem Nutzen für das Energiesystem der Zukunft:

- Mittels „smart charging“ (intelligentem Laden) wird es im Stromsystem zu einem ausgleichenden Element, das die volatile (veränderliche) Erzeugung von PV und Wind dämpft, indem es bevorzugt zu Zeiten hoher Erzeugung lädt
- V2G („Vehicle-to-Grid“)-Technologie ermöglicht es das Elektroauto für den Stromhandel zu verwenden und gespeicherten Überschussstrom zu Zeiten von niedriger (erneuerbarer) Stromerzeugung wieder in das Netz einzuspeisen. Dadurch reduziert das Elektroauto seine eigenen THG-Emissionen und stellt eine netz- und systemdienliche Komponente für das Stromsystem der Zukunft zur Verfügung.

Bei Verwendung von Strom ohne Ökostromnachweis hängen die THG-Emissionen des Ladestroms von der aktuellen Zusammensetzung der Stromerzeugung ab. In Zeiten geringer erneuerbarer Erzeugung und hoher Stromnachfrage ist das Grenzkraftwerk der Merit-Order-Kurve oft ein fossiles Kraftwerk mit hohen THG-Emissionen. In Zeiten von hoher erneuerbarer Erzeugung wird ein günstiges erneuerbares Kraftwerk zum Grenzkraftwerk. In dieser Situation, die durch den Ausbau der Erneuerbaren immer öfter auftritt, benötigt der Strommarkt Abnehmer:innen für günstigen erneuerbaren Strom, das Laden eines Elektroautos bringt große Vorteile für das Energiesystem.

Selbst wenn das Grenzkraftwerk ein fossiles Kraftwerk ist, können die THG-Emissionen dieses Grenzkraftwerks nicht einem:iner einzelnen Verbraucher:in (z. B. der E-Mobilität) zugeordnet werden. Vielmehr wird der leicht geänderte Durchschnittswert der Emissionen des Erzeugungsparks allen Verbraucher:innen auf der Abnehmer:innenseite zugerechnet. Der Grund ist, dass das Stromsystem wie ein Pool funktioniert, in den die Erzeuger:innen einspeisen und aus dem die Verbraucher:innen ihren Strom entnehmen. Ansonsten würde jede neue, innovative Technologie, die statt mit fossiler Energie mit Strom betrieben wird, aufgrund angeblich hoher THG-Emissionen bestraft und damit potentiell verhindert werden.

Doch wie beeinflusst die E-Mobilität den Kraftwerkspark? Seit 2005 gibt es EU-weit klare Vorgaben für die Dekarbonisierung des europäischen Kraftwerksparks. Im europäischen Emissionshandel (EU-ETS) wird eine Obergrenze für die Treibhausgas-Emissionen des europäischen Kraftwerksparks der Energiewirtschaft sowie der energieintensiven Anlagen (Industrie) festgelegt. Die Mitgliedstaaten können eine gewisse Menge an Emissionsberechtigungen an diese Anlagen ausgeben, wobei diese auf dem Markt frei gehandelt werden können. Die Gesamtemissionen des europäischen Kraftwerksparks müssen daher jährlich schrittweise in einem vorgegebenen Ausmaß sinken. Daher kann der zusätzliche Strombedarf durch die E-Mobilität oder andere strombasierte Technologien nicht durch zusätzliche fossile Kraftwerke gedeckt werden, sondern nur durch den gesteigerten Zubau von erneuerbarer Stromproduktion (PV, Wind, etc.).

2. Wie wird in einem 100 % erneuerbaren Energiesystem der Zukunft die Stromversorgung inklusive des Bedarfs der E-Mobilität gewährleistet und welche THG-Emissionen ergeben sich daraus für ein Elektroauto?

Bei Betrachtung der Erzeugungsmengen von PV (Photovoltaik) und Windkraft im Jahresverlauf zeigt sich, dass sich die beiden Erzeugungsarten gut ergänzen. Während die PV ihre größte Erzeugung im Frühjahr und Sommer aufweist, tritt die Windkraft verstärkt im Winterhalbjahr auf. Während die PV am Tag Leistung erbringt, weht der Wind in der Nacht tendenziell stärker. Dennoch gibt es auf der täglichen, der wöchentlichen sowie der saisonalen Ebene die Notwendigkeit, Stromerzeugung und -verbrauch in Einklang zu bringen. Dazu dient der Einsatz von Flexibilitäten, wobei Elektrofahrzeuge in Zukunft eine wichtige Rolle einnehmen.

Für den Ausgleich während eines Tages sind es vor allem Pumpspeicherkraftwerke und Batterien, die entweder in Form von Hausspeichern oder als mobile Speicher durch Elektroautos als Flexibilitäten nutzbar sind. Hier gilt es vor allem die sommerliche Erzeugungsspitze zu Mittag effizient in die Abend- und Nachtstunden zu verschieben. Dazu dienen die bidirektionalen Ladetechnologien V2G (Vehicle-to-Grid) und V2H (Vehicle-to-Home). Sie ermöglichen es, flexibel auf Situationen im Stromsystem zu reagieren und in Zeiten hoher erneuerbarer Stromerzeugung und günstiger Preise Strom im Elektroauto zwischenspeichern und in Zeiten von Strommangel in den eigenen Haushalt oder zurück in das Stromnetz einzuspeisen. Somit kann man mit der Batterie eines Elektroautos am zukünftigen Flexibilitätenmarkt mitpartizipieren.

Aufgrund verbesserter technischer und regulatorischer Möglichkeiten (z. B. Möglichkeit der Teilnahme an einer Marktplattform für Flexibilitäten, leistungsabhängige Netztarife, Netznutzungsentgeltbefreiung für systemdienliche Speicher, etc.) kann eine bis 2030 auf 15 % bis 20 % des Bestands gewachsene E-Autoflotte mittels Vehicle-to-Grid-Technologie einen wesentlichen Beitrag für das Funktionieren eines 100 % erneuerbaren Stromsystems leisten.

Für die Analyse der THG-Emissionen von Fahrzeugen wurden in der Metastudie „Einsatz von grünen Treibstoffen in der Mobilität“ [AEA 22] die Ergebnisse von über hundert Studien mit Lebenszyklus-Analysen aller möglichen PKW-Antriebssysteme zusammengefasst und die Emissionen pro Fahrzeugkilometer über den gesamten Lebenszyklus verglichen. Am besten schneiden hier Elektroautos (BEV) mit etwas über 100 g CO₂/Fahrzeugkilometer bei heutigem Erzeugungsmix und ca. 70 g CO₂/Fahrzeugkilometer bei Nutzung von erneuerbarem Strom ab.

Noch deutlicher ist das Ergebnis bei einem Vergleich der Gesamteffizienz der drei potenziell klimaneutralen Antriebe: Die mit Abstand höchste Gesamteffizienz bei der Nutzung von erneuerbarem Strom hat ein Elektroauto mit 74% gegenüber einer Gesamteffizienz von 30% bei einem Brennstoffzellenfahrzeug und nur 15% bei der Nutzung von e-fuel in einem Verbrennungsmotor. Die deutlich höhere Effizienz der E-Mobilität hat weitreichende Folgen für die Realisierbarkeit eines 100% erneuerbaren Energiesystems. Im Falle einer Umstellung der heutigen Fahrzeugflotte auf Elektroautos reichen 11,6 TWh erneuerbarer Strom aus, das wäre eine Erhöhung des Stromverbrauchs des Jahres 2020 um 17%. Beim flächendeckenden Einsatz von in Österreich hergestellten e-fuels ginge der dafür nötige zusätzliche Stromeinsatz über die Bruttostromerzeugung des Jahres 2020 hinaus. Selbst bei einer Produktion von e-fuels im Ausland würde durch die Ineffizienz des Produktions-

prozesses ein erheblicher Mehraufwand bei der Stromerzeugung in den Produktionsländern bestehen bleiben – das Problem der Ineffizienz würde sich nur verlagern.

Durch einen deutlich verringerten CO₂-Rucksack bei der Elektroautoherstellung (inkl. Akku) sowie durch die Effizienzsteigerung, welche die Dekarbonisierung des österreichischen Energiesystems erst ermöglicht, erreicht die E-Mobilität in allen wesentlichen Transformationspfaden bis 2040 Gesamt-THG-Emissionen von 30 bis 44 g CO₂/Fahrzeugkilometer, bevor sie 2050 beinahe vollständig klimaneutral wird.

2.0 Einleitung und Fragestellung

Um das Ziel der Klimaneutralität zu erreichen, ist eine umfassende Umgestaltung des gesamten Energie- und Wirtschaftssystems in Richtung der Nutzung erneuerbarer Energieträger und einer Erhöhung der Energieeffizienz erforderlich. Die Dekarbonisierung des Verkehrssektors spielt eine zentrale Rolle zur Erreichung der gesetzten Klimaziele. Dieser verursachte 2022 rund 30% der österreichischen Treibhausgasemissionen (THG).

Ziel der Kurzstudie ist ein Faktencheck inwieweit die E-Mobilität aufgrund direkt und indirekter THG-Emissionen sowie aufgrund des damit verbundenen Verbrauchs an erneuerbarem Strom die Dekarbonisierung und die Energiewende in Österreich unterstützt oder durch alternative Antriebstechnologien ersetzt bzw. ergänzt werden sollte. Insbesondere sollen folgende Fragen in Bezug auf die Auswirkungen der E-Mobilität auf das österreichische Energiesystem von heute und in Zukunft beantwortet werden:

„Woher kommt der Strom für die E-Mobilität und wie beeinflusst die E-Mobilität den österreichischen (und europäischen) Kraftwerkspark und damit das Gelingen der Energiewende? (Siehe Kapitel 3)“

„Wie wird in einem 100 % erneuerbaren Energiesystem der Zukunft die Stromversorgung inklusive des zusätzlichen Bedarfs der E-Mobilität gewährleistet und welche THG-Emissionen ergeben sich daraus für ein Elektroauto in der Zukunft? (Siehe Kapitel 4)“

Dazu soll ein vollständiges Bild gezeigt werden, das die E-Mobilität im Rahmen der Energiewende systemisch betrachtet, sowie wesentliche Rahmenbedingungen wie politische Vorgaben, die Wechselwirkung mit der Dekarbonisierung sowie unseren heutigen Kenntnisstand in Bezug auf das Energiesystem der Zukunft berücksichtigt.

3.0 Stromherkunft und Einfluss der E-Mobilität auf den Kraftwerkspark

Wesentliches Element der Dekarbonisierung ist die Elektrifizierung des Energiesystems. Bereits bis 2030 soll dazu die Stromversorgung zu 100% (national, bilanziell) aus heimischen erneuerbaren Quellen gedeckt werden. Szenarien gehen von einer möglichen Verdopplung des Strombedarfs bis 2040 aus, zu einem wesentlichen Teil

bedingt durch die Elektrifizierung des Wärme-, Mobilitäts- sowie Industriesektors. Die Stromstrategie von Oesterreichs Energie geht davon aus, dass der Strombedarf in Österreich bis 2040 nahezu 140 TWh (1 Terawattstunde entspricht 1 Milliarde kWh) erreichen wird, eine Steigerung um 90% gegenüber 2020 [OE 22].

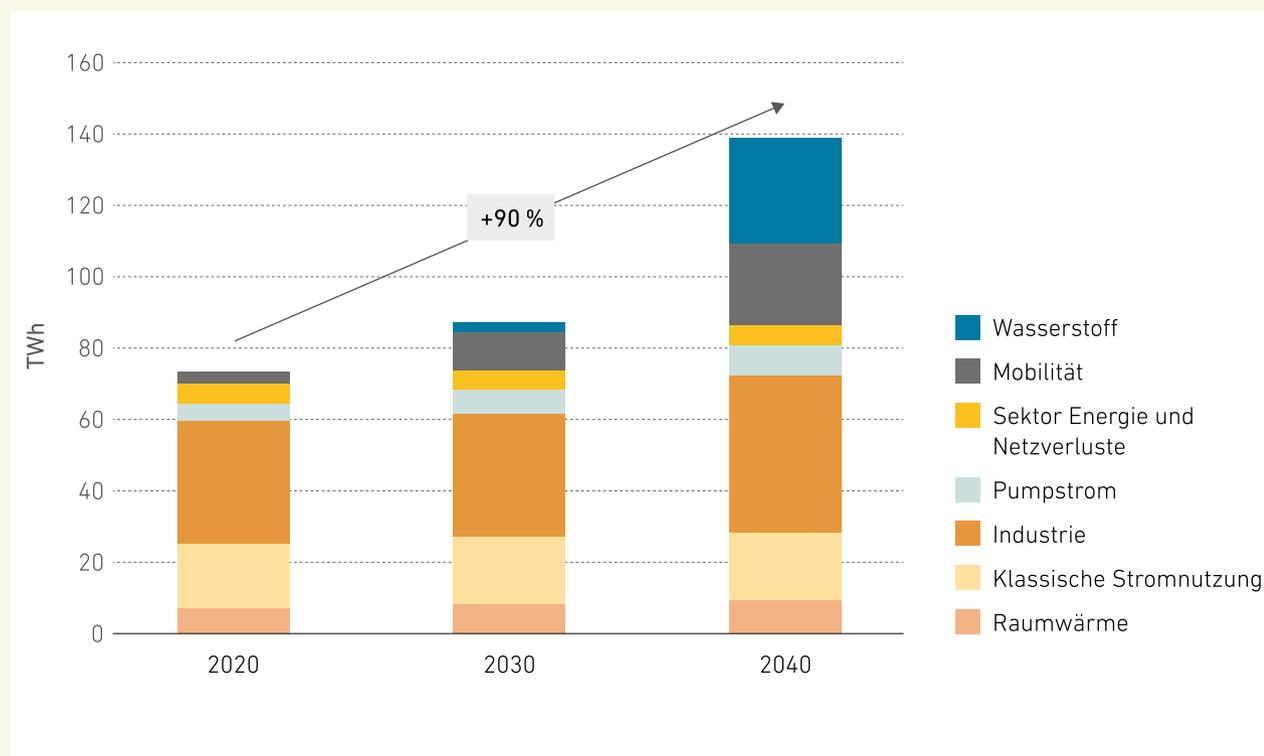


Abbildung 1

Steigerung des österreichischen Strombedarfs
um 90% bis 2040 (in TWh) [OE 22]

(Quelle: Daten für 2020: E-Control | 2030: Prognose OE & PwC
entsprechend Gesamtbedarf nach EAG | Prognose OE & PwC)

Gleichzeitig wird die Stromerzeugung dekarbonisiert, was den Wegfall jeglicher fossilen Stromerzeugung bis 2040 bedeutet.

Doch woher kommt der Strom für die E-Mobilität und welche THG-Emissionen verursacht ein Elektroauto heute und in der Zukunft?

3.1 Erneuerbarer Strom für Elektroautos

Die beste Option ein Elektroauto zu laden, ist die Nutzung von Ökostrom. Dazu gibt es die Möglichkeit am Strommarkt zertifizierten Ökostrom zu beziehen oder selbst erzeugten PV(Photovoltaik)-Strom zu nutzen. In beiden Fällen dienen Herkunftsnachweise als Beleg für die Möglichkeit eines THG-freien Betriebs des Elektroautos. Um zu gewährleisten, dass Elektroautos einen möglichst großen Beitrag zur Dekarbonisierung leisten, wird eine der beiden Optionen meist als Förderbedingung für Elektroautos von der jeweiligen Förderinstitution verlangt (z. B. Leitfaden E-Mobilität für Private des Klima- und Energiefonds 2024: Förderbedingung „Bestätigung des Strombezugs aus 100% erneuerbaren Energieträgern (EET)“).

Doch die Bedeutung der E-Mobilität geht über die Möglichkeit, den eigenen THG-Beitrag im Betrieb eines Fahrzeugs zu minimieren, hinaus. In Zukunft sollen PV-Anlagen so ausgelegt sein, dass sie „die Versorgung des Haushalts mit Strom für Geräte, zum Heizen mit einer Wärmepumpe, sowie für die Mobilität mit einem E-Auto oder E-Bike auch in Zukunft erbringen können. Überschüsse werden ins Netz nur dann eingespeist, wenn es in Bezug auf Netz- und Energieversorgungssituation sinnvoll ist. Dazu ist eine (Zwischen-)Speicherung des Stroms nötig“ [AEA 24]. Ein Elektroauto ist hierbei von doppeltem Nutzen für das Energiesystem der Zukunft.

3.1.1 Smartes Laden

Einerseits kann ein Elektroauto Überschüsse aus dem Stromsystem nutzen, in dem es verstärkt zu Zeiten lädt, in denen der Strompreis aufgrund einer vermehrten erneuerbaren Erzeugung niedrig ist. Mittels „smart charging“ (intelligentem Laden) wird es zu einem ausgleichenden Element im Stromsystem, das die volatile (veränderliche) Erzeugung von PV und Wind nutzt, indem es bevorzugt zu Zeiten hoher Erzeugung lädt. Im einfachsten Fall wird dazu beim Ladevorgang priorisiert, den eigenen PV-Strom zu nutzen, das heißt es wird vermehrt zu Zeiten hoher eigener PV-Erzeugung geladen. Mittels dynamischer Stromtarife, die z. B. an die Day-ahead-Preise (Strompreise, die für den Folgetag auf dem Börsenstrommarkt festgelegt werden) gekoppelt sind, wird generell beanreicht, Elektroautos smart zu laden. Der Autofahrerin ist es meist egal, wann ihr Auto geladen wird, solange sie am Morgen einen ausreichend gefüllten Speicher zur Verfügung hat. Sie hat dafür den Vorteil, günstigen Strom zu nutzen und damit ihre Betriebskosten deutlich zu senken.

3.1.2 Laden und entladen in das Netz oder das eigene Haus

Der nächste Schritt, um ein Elektroauto sowohl für den:die Eigentümer:in als auch für das Energiesystem vorteilhaft zu nutzen, besteht darin, den Speicher des Elektroautos in den vielen Stunden, in denen es parkt, für den Stromhandel zu nutzen. Dabei wird günstiger „Überschussstrom“ (Strommehrerzeugung zu Zeiten von viel Wind und Sonne) im Elektroauto eingespeichert und zu Zeiten, in denen die Nachfrage hoch und die erneuerbare Erzeugung im Stromsystem niedrig ist, wieder in das Netz oder das eigene Haus eingespeist (bidirektionales Laden).

So kann man günstigen oder selbst erzeugten Strom im Elektroauto zwischenspeichern und z. B. am Abend im eigenen Haushalt oder zum Heizen mit einer Wärmepumpe nutzen. V2H (Vehicle-to-Home) nennt sich die Technologie, die es ermöglicht den eigenen Haushalt mit Strom aus dem Elektroauto zu versorgen und bei entsprechender Installation kann man sich damit auch im Fall eines Blackouts selbst mit Strom versorgen. Indem Elektroautos vor allem während der Erzeugungsspitze zu Mittag selbst erzeugten PV-Strom speichern und zu Tagesrandzeiten oder in der Nacht für den Haushalt bereitstellen, entlasten sie nicht nur das Haushaltsbudget, sondern auch die Netze. Diese stoßen durch die wachsende Zahl von PV-Anlagen immer mehr an ihre Kapazitäts-Grenzen, was zu hohen Netzausbaukosten führen kann.

V2G (Vehicle-to-Grid) ermöglicht es in naher Zukunft Strom aus der Batterie eines Elektroautos zurück in das Stromnetz einzuspeisen und damit Gewinn zu machen. Günstiger Strom aus dem Netz wird zu Zeiten hoher erneuerbarer Stromerzeugung und günstiger Preise am Strommarkt im Elektroauto zwischengespeichert und meist zu Tagesrandzeiten bei hohen Strompreisen ins Netz entladen und verkauft. Sobald diese Technologie mit allen Komponenten flächendeckend zur Verfügung steht, können Elektrofahrzeugbesitzende finanziell profitieren und gleichzeitig dem Stromsystem nützlich sein, da so Stromerzeugung und -verbrauch ausgeglichen werden.

Elektroautos können mittels V2G nicht nur am Strommarkt teilnehmen, sondern auch wichtige Funktionen für das Netz erfüllen:

- **Netzdienliche Speicherung:** Elektroautos mit V2G-Technologie können überschüssige Energie aus dem Netz aufnehmen und damit Lastspitzen glätten und die Netzstabilität erhöhen.

- **Notstromversorgung:** Im Falle eines Stromausfalls können Elektroautos (bei entsprechender Auslegung durch den:die Elektriker:in) als Notstromquelle für den eigenen Haushalt dienen.
- **Frequenzregelung:** Durch die Einspeisung von Strom in Zeiten von hohem Strombedarf und geringer Erzeugung können Elektroautos zur Frequenzstabilisierung im Stromnetz beitragen.
- **Spannungsregelung:** Die V2G-Technologie kann auch zur Spannungsregelung im Netz eingesetzt werden.

So können Elektroautos nicht nur die eigene THG-Wirkung minimieren, sondern leisten einen entscheidenden Beitrag für das Funktionieren des Energiesystems der Zukunft (siehe auch Kapitel 4).

3.2 Strom-Mix für Elektroautos und die Merit-Order-Kurve der Erzeugung

Im schlechtesten Fall lädt man sein Elektroauto mit elektrischer Energie ohne Ökostromnachweis aus dem Netz. Hier wird der positive Effekt der E-Mobilität in Bezug auf die Dekarbonisierung manchmal hinterfragt. Welche Emissionen fallen in dieser Situation an?

Die Marginaltheorie – auch Marginalismus, Grenzprinzip oder engl. Marginalism – in der Volkswirtschaftslehre untersucht, wie kleine Änderungen in Variablen Auswirkungen auf den Nutzen eines Gutes und daraus folgend auf wirtschaftliche Entscheidungen haben. Oft wird argumentiert, dass bei einer sinngemäßen Anwendung dieses Prinzips auf die Elektromobilität jedes Elektroauto einen zusätzlichen Bedarf an elektrischer Energie darstellt, der im vorhandenen Stromsystem durch jenes Kraftwerk gedeckt wird, das laut Merit-Order bei Erhöhung der Stromnachfrage zum Einsatz kommt (das sogenannte Grenzkraftwerk). Wenn dies über das Jahr betrachtet in den meisten Preiszonen des europäischen Strommarkts fossil betriebene Kraftwerke (wie z. B. in Deutschland Kohle- bzw. Gaskraftwerke) wären, würde ein Elektroauto sehr „schmutzigen“ (Kohle-) Strom tanken.

Laut dieser Argumentation sollte sich durch den Umstieg auf Elektroautos nicht nur die Dekarbonisierung der Mobilität verzögern, sondern sogar die Energiewende als Ganzes verlangsamt bzw. konterkariert werden, da zusätzliche fossile Kraftwerke benötigt werden, um die mit den Jahren steigende Nachfrage zu stillen. Doch dieses Bild ist zu einfach und diskriminiert jede neue Technologie, die elektrische Energie aus dem Stromnetz bezieht, im Vorhinein.

3.2.1 Zeitliche Abhängigkeit der Merit Order

Zunächst ist die Merit-Order aufgrund der volatilen Erzeugung der Erneuerbaren stark zeitabhängig. In Zeiten geringer erneuerbarer Erzeugung ist das Grenzkraftwerk tendenziell ein thermisches Kraftwerk, z. B. ein Kohle- oder Gaskraftwerk.

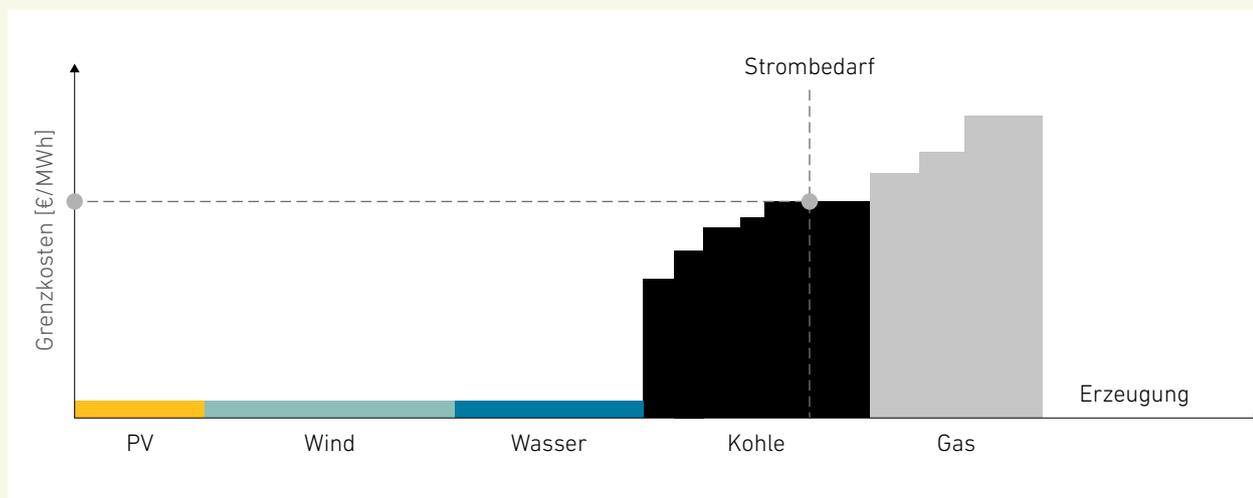


Abbildung 2
Fossiles Kraftwerk als preisbestimmendes Grenzkraftwerk
zu Zeiten niedriger erneuerbarer Erzeugung
(Quelle: eigene Darstellung)

In Zeiten mit hoher erneuerbarer Erzeugung, sieht die Merit-Order anders aus. In diesen wird ein günstiges erneuerbares Kraftwerk das Grenzkraftwerk.

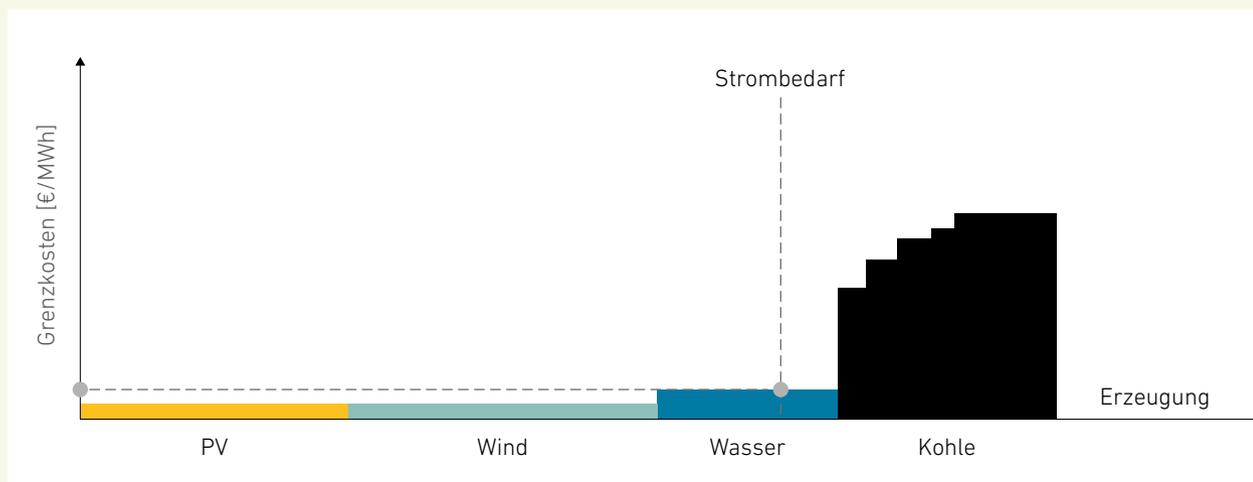


Abbildung 3
Erneuerbares Kraftwerk als preisbestimmendes
Grenzkraftwerk zu Zeiten hoher erneuerbarer Erzeugung
(Quelle: eigene Darstellung)

In dieser Situation tritt daher der gegenteilige Effekt auf: Da Strom sofort verbraucht oder gespeichert werden muss, benötigt der Strommarkt Abnehmer:innen für erneuerbaren Strom und das Laden eines Elektroautos bringt große Vorteile für das Energiesystem und verursacht keine THG-Emissionen sowie nur geringfügige Kosten.

Die E-Control zeigt in eigenen stundenbasierten Simulationen, dass der österreichische Strombedarf im Jahr 2030 fast durchgehend durch die nationale Stromerzeugung gedeckt werden kann [ECO 24]. Die Leistung an thermischen, meist fossilen Kraftwerkskapazitäten 2030 ist dabei gegenüber 2023 fast unverändert, es wird jedoch mit einem deutlichen Zubau an erneuerbarer Erzeugung und einem deutlichen Zuwachs des Strombedarfs gerechnet. Es ergeben sich insgesamt nur wenige Stunden, in welchen der Strombedarf nicht durch heimische Erzeugung gedeckt werden kann. Trotz deutlicher Zunahme des Strombedarfs (u. a. für Elektromobilität) wird kein Ausbau der fossilen Kraftwerkskapazitäten unterstellt.

3.2.2 Zuordnung des Stromverbrauchs zur Merit-Order-Kurve der Erzeugung

Grundsätzlich kann ein Stromverbrauch, der über das Netz gedeckt wird, nur dann bilanziell einer Erzeugungseinheit zugeordnet werden, wenn man dazugehörige Herkunftsnachweise bezieht. Für den restlichen Stromverbrauch gelten die durchschnittlichen Emissionen des aktuellen Strom-Mixes.

Die Merit-Order-Kurve der zur Verfügung stehenden Erzeugungseinheiten dient wesentlich zur Preisbestimmung am Strommarkt. Eine Verbrauchserhöhung führt dazu, dass ein zusätzliches Kraftwerk – das Grenzkraftwerk – aktiviert werden muss, und dies erhöht den Strompreis für alle Verbraucher:innen. Auch hier wird nicht ein spezieller Strompreis dem:der zusätzlichen Verbraucher:in zugeordnet, sondern der Preis gilt für alle Verbraucher:innen.

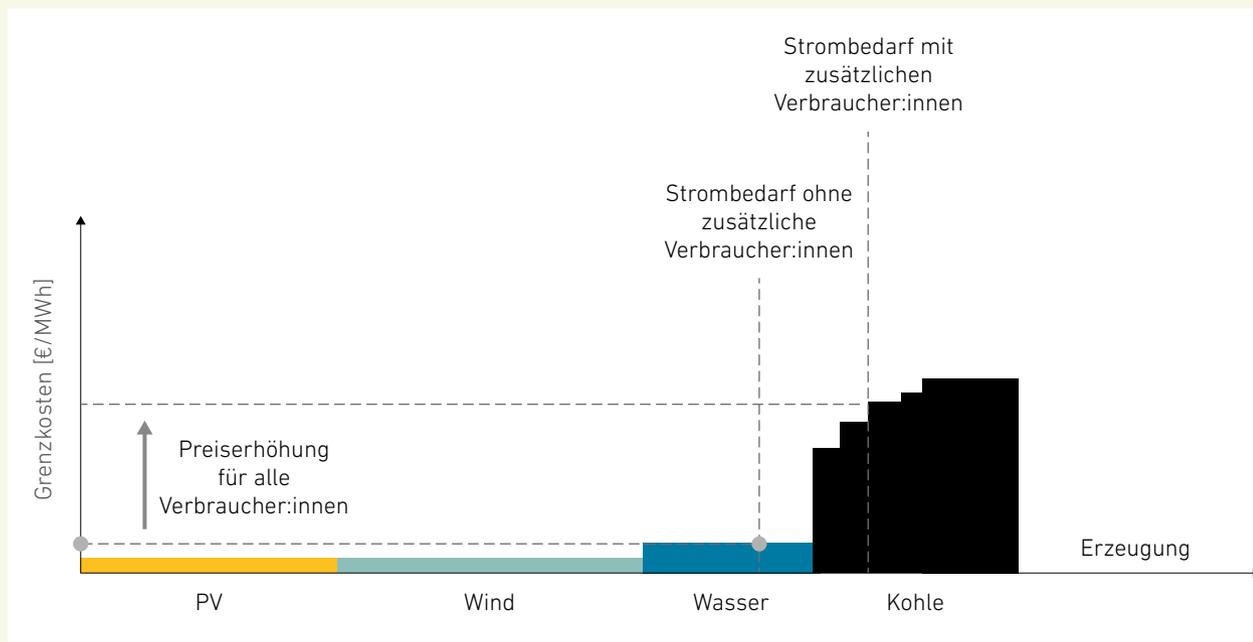


Abbildung 4

Preiserhöhung durch zusätzliche Verbraucher:innen gilt für alle Marktteilnehmer:innen, nicht nur zusätzliche Verbraucher:innen (Quelle: eigene Darstellung)

Bei den THG-Emissionen ist es daher auch nicht sinnvoll, die zusätzlichen THG-Emissionen des Grenzkraftwerks dem:der einen zusätzlichen Verbraucher:in zuzuordnen, sondern es wird der leicht geänderte Durchschnittswert der Emissionen des Erzeugungsparks allen Verbraucher:innen auf der Abnehmer:innenseite zugeordnet.

Der Grund ist, dass das Stromnetz wie ein Pool funktioniert, in den die Erzeuger:innen einspeisen und aus dem die Verbraucher:innen ihren Strom entnehmen.

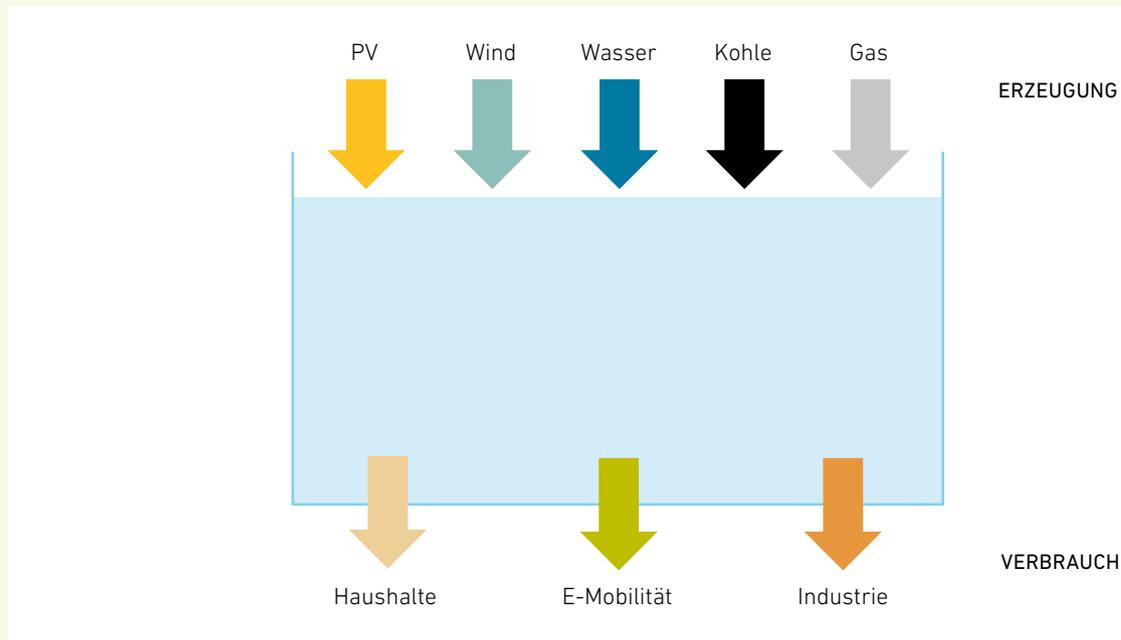


Abbildung 5
Darstellung Pool-Prinzip
(Quelle: eigene Darstellung)

Ansonsten würde jede neue, innovative Technologie, die statt mit fossiler Energie mit Strom betrieben wird, aufgrund angeblich hoher THG-Emissionen bestraft und damit potentiell verhindert werden. So wird technologischer Fortschritt aufgrund einer ungerechtfertigten Zuordnung gebremst. Auf der Einzelverbraucher:innen-ebene ist eine einseitige Zuordnung der Emissionen des Grenzkraftwerks auf eine Technologie daher nicht sinnvoll. Allerdings könnte eine zusätzliche Stromnachfrage den Neubau neuer fossiler Kraftwerke beanreizen, was sich Emissionssteigernd auf den Strommix auswirken würde. Daher wird im folgenden Abschnitt dieser Aspekt genauer beleuchtet.

3.3 Einfluss der E-Mobilität auf den Kraftwerkspark

Durch die Elektrifizierung des Energiesystems rechnet man für Österreich mit einem starken Anstieg – eventuell sogar einer Verdoppelung – des Stromverbrauchs bis 2040, wobei ca. 15 % des heutigen Stromverbrauchs für eine Umstellung der PKW-Flotte auf E-Mobilität benötigt wird. Wie beeinflusst dies den Kraftwerkspark?

Seit 2005 gibt es EU-weit klare Vorgaben für die Dekarbonisierung des europäischen Kraftwerksparks: Damals wurde der Europäische Emissionshandel (EU-ETS) zur Umsetzung des internationalen Klimaschutzabkommens von Kyoto eingeführt. In diesem zentralen europäischen Klimaschutzinstrument werden die Emissionen von europaweit rund 9.000 Anlagen der Energiewirtschaft und der energieintensiven Industrie erfasst. Zusammen verursachen diese Anlagen rund 40% der Treibhausgas-Emissionen in Europa.

Der EU-ETS funktioniert nach dem Prinzip des „Cap & Trade“: Eine Obergrenze (Cap) legt fest, wie viele Treibhausgas-Emissionen insgesamt ausgestoßen werden dürfen. Die Mitgliedstaaten können nur die entsprechende Menge an Emissionsberechtigungen an die Anlagen ausgeben, wobei diese auf dem Markt frei gehandelt werden können (Trade). Die Gesamtemissionen des europäischen Kraftwerkparks der Energiewirtschaft sowie der energieintensiven Anlagen (Industrie) müssen daher jährlich schrittweise in einem vorgegebenen Ausmaß sinken.

Daher kann der zusätzliche Strombedarf durch die E-Mobilität oder andere strombasierte Technologien nicht durch zusätzliche fossile Kraftwerke gedeckt werden, sondern nur durch den gesteigerten Zubau von erneuerbarer Stromproduktion (PV, Wind, etc.). Europaweit gingen die Emissionen im EU-ETS seit 2005 um 48 % zurück [UBD24]. Sie haben sich damit seit dem Beginn des EU-ETS beinahe halbiert:

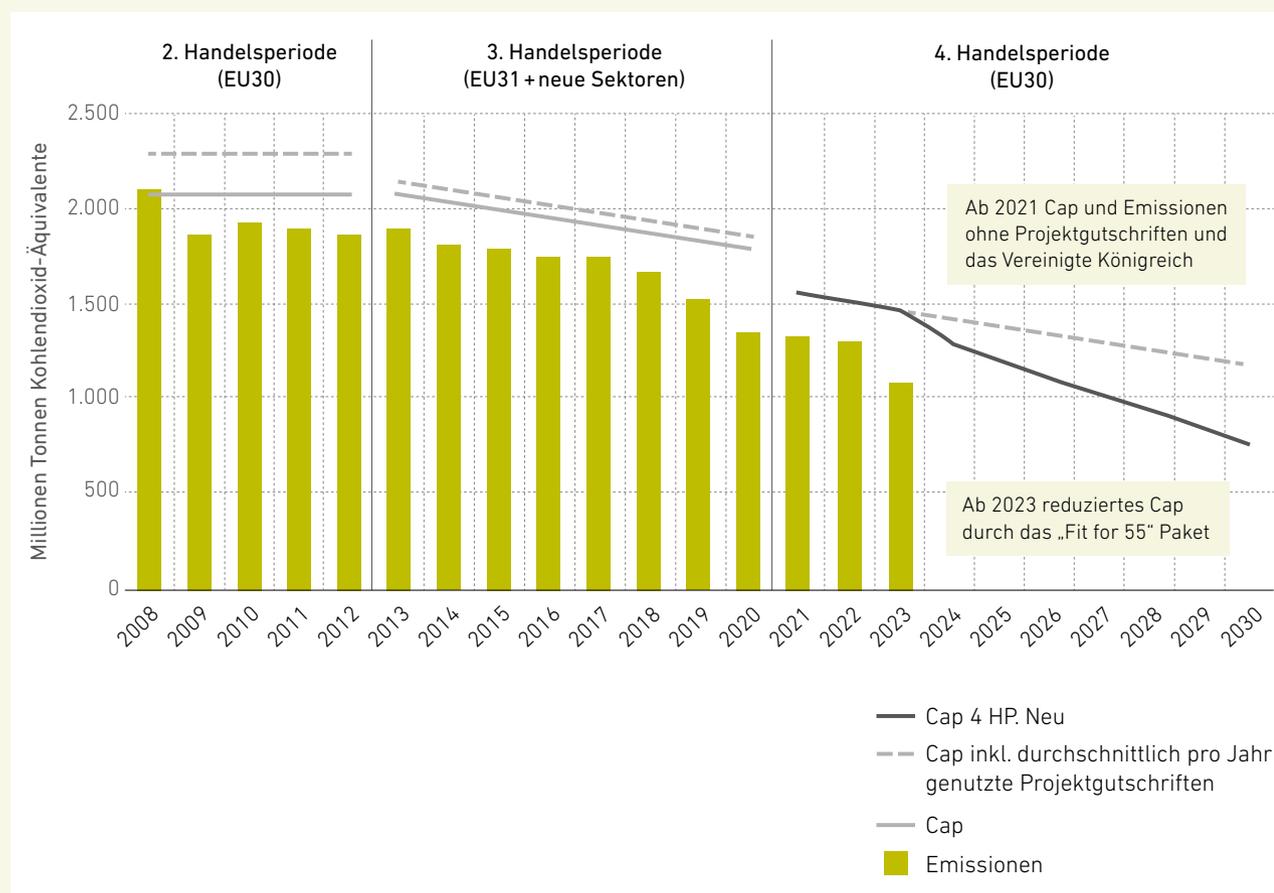


Abbildung 6

Entwicklung der Emissionen im Europäischen Emissionshandel (EU-ETS) aufgrund der politisch vorgegebenen Caps [UBD24]

(Quelle: Umweltbundesamt 2024, Deutsche Emissionshandelsstelle, eigene Berechnungen auf Basis von Daten der Europäischen Umweltagentur und der Europäischen Kommission (2013/448/EU); Stand 05/2024)

Sieht man sich die Entwicklung der Stromerzeugung in der EU seit 2000 an, so erkennt man eine Vergrößerung des Anteils der erneuerbaren Stromerzeugung von 15 % auf 45 % bei einer Reduktion des fossilen Anteils von mehr als 50 % auf knapp über 30 % im Jahr 2023 (siehe Abbildung 7). Diese Entwicklung entspricht seit 2005

den Vorgaben aus der Entwicklung des EU-ETS-Caps. Gegenläufig zur Entwicklung der erneuerbaren Stromerzeugung dazu sieht man in der roten Linie in Abbildung 7 den Hochlauf des Stromverbrauchs der E-Mobilität in Europa auf 16 TWh im Jahr 2023:

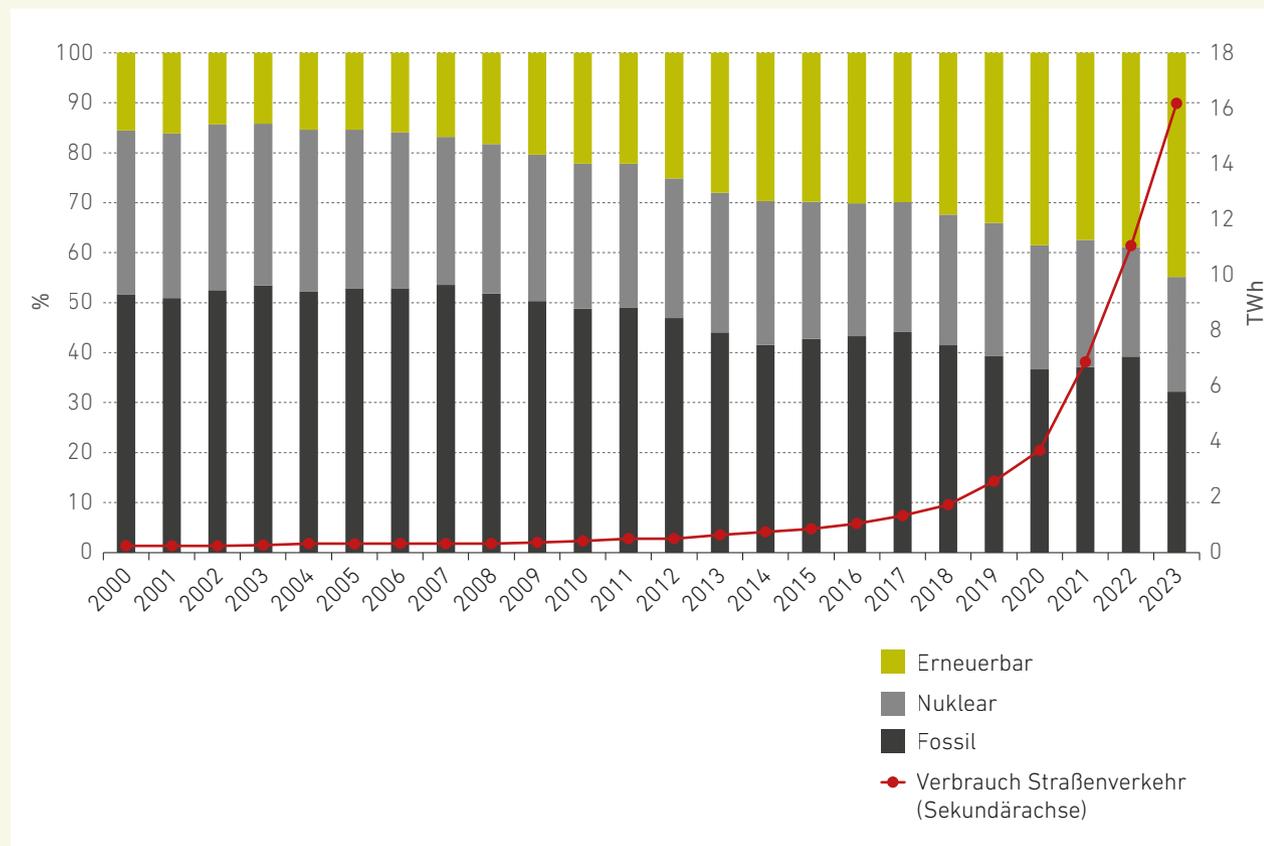


Abbildung 7
Entwicklung Stromerzeugung vs. -verbrauch
im Straßenverkehr in der EU 2000-2023
(Quelle: Electricity Data Explorer [EMB25])

Die Graphik macht auch bildlich klar, dass der zusätzliche Stromverbrauch der E-Mobilität den Kraftwerkspark der EU-Mitgliedstaaten aufgrund der politisch durch das EU-Emissionshandelssystem vorgegebenen Dekarbonisierungs-Entwicklung nicht negativ beeinflusst hat. Dies wäre nur in einem Energiemarkt ohne Cap möglich.

Doch zusätzlich zur Entwicklung der europaweiten Energiewende stellt sich die Frage wie ein zu 100 % erneuerbares Energiesystem funktionieren kann und welche Antriebstechnologie über ihren gesamten Lebenszyklus die geringsten Treibhausgasemissionen heute und in weiterer Zukunft aufzuweisen hat.

4.0 E-Mobilität und die Transformation des Energiesystems

Wie kann in einem zu 100% erneuerbaren Energiesystem die Stromversorgung inklusive des zusätzlichen Bedarfs der E-Mobilität, der Wärmepumpen sowie zusätzlicher industrieller Strombedarfe gewährleistet werden? Und wie kann der Strombedarf zu Zeiten geringer Stromerzeugung von PV und Wind (oft unter dem Begriff „Dunkelflaute“ subsummiert) gedeckt werden? Welche THG-Emissionen ergeben sich unter diesen Gesichtspunkten für ein Elektroauto in den Jahren 2030 und 2040?

4.1 Das Energiesystem der Zukunft

Die Stromstrategie von Österreichs Energie zeigt beispielhaft, wie ein klimaneutrales und robustes Stromsystem in der Zukunft realisiert werden kann [OE 22]. Die Stromerzeugung wird dabei durch 12 GW Wasserkraft (ohne Pumpspeicher), 15 GW Windkraft sowie 30 GW Photovoltaik getragen, insgesamt eine knappe Verdreifachung der Kapazitäten gegenüber 2020:

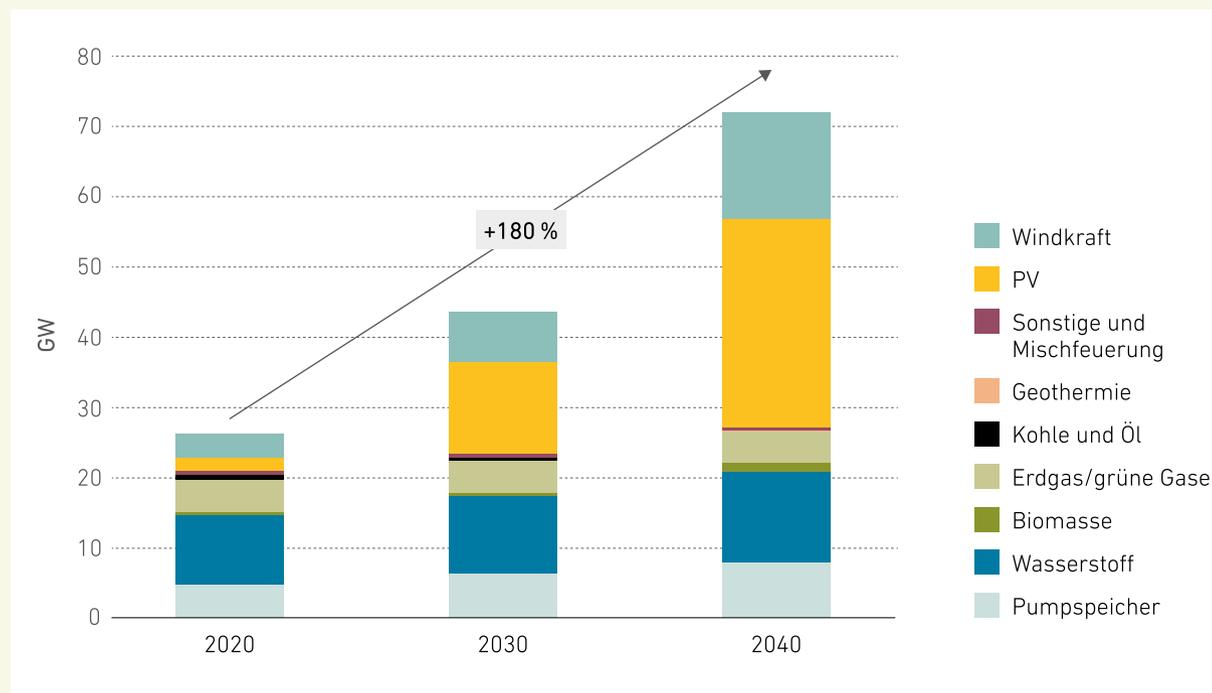


Abbildung 8

Steigerung der installierten Leistung bis 2040 vor allem durch Windkraft, PV und Wasserkraft (in GW) [OE 22]

Quelle: Daten für 2020: E-Control | 2030: Prognose OE & PwC

Bei Betrachtung der Erzeugungsmengen von PV und Windkraft im Jahresverlauf zeigt sich, dass sich die beiden Erzeugungsarten gut ergänzen. Während die PV ihre größte Erzeugung im Frühjahr und Sommer aufweist, tritt die Windkraft verstärkt im Winterhalbjahr auf. Während die PV am Tag Leistung erbringt, weht der Wind in der Nacht tendenziell stärker.

Für ein dekarbonisiertes Stromsystem der Zukunft zeigt sich daher beispielhaft die Möglichkeit über alle 12 Monate des Jahres den Großteil des Strombedarfs in Österreich durch die drei größten erneuerbaren Stromerzeugungsarten PV, Wind und Wasserkraft zu erfüllen (siehe Abbildung 9):

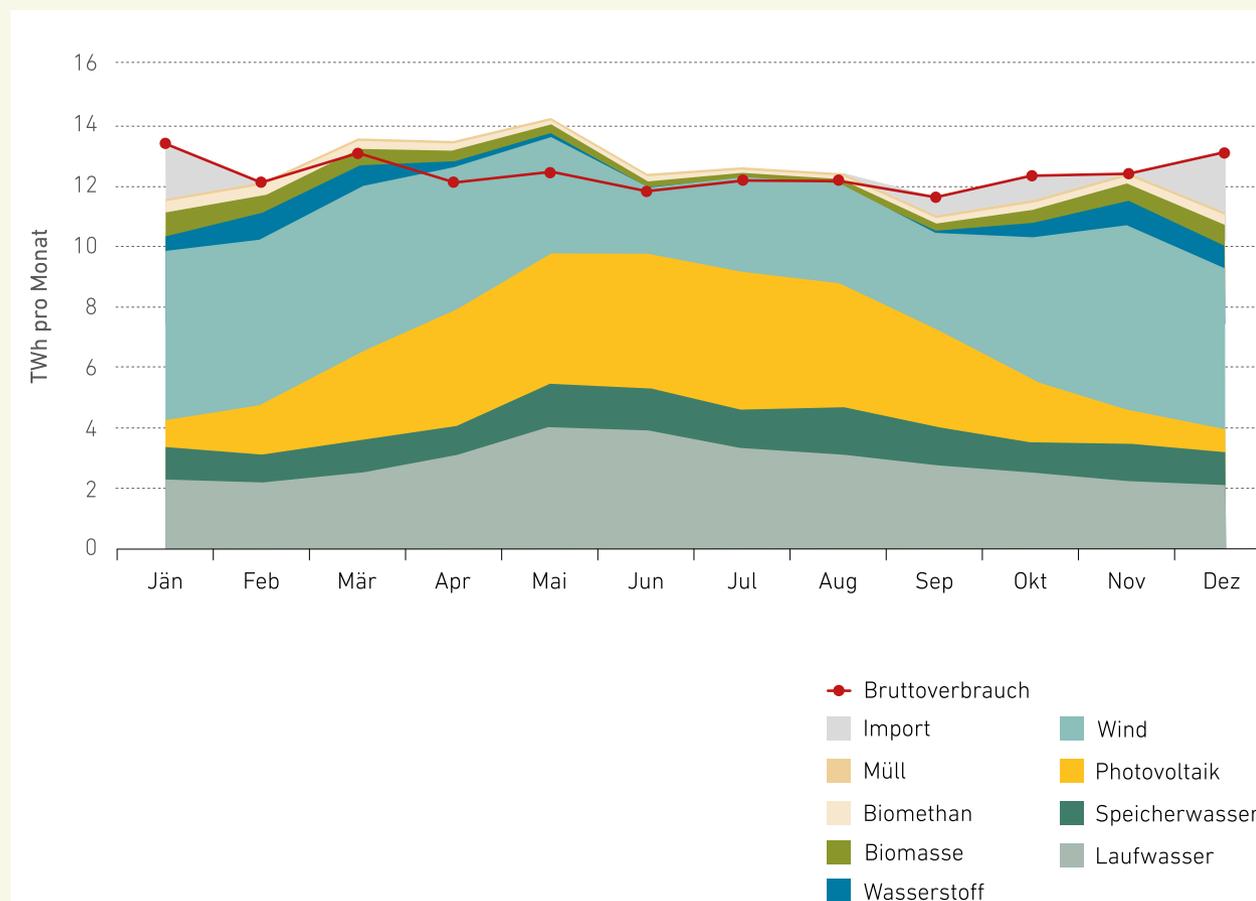


Abbildung 9

Die Stromaufbringungsarten PV, Wind und Wasserkraft addiert erfüllen die Lastkurve inklusive Flexibilitäten (in rot) über die 12 Monate des Jahres weitgehend [AEA25]

4.2 Flexibilitäten sichern die Versorgung in Zeiten von wenig Sonne und Wind

Obwohl sich die drei größten erneuerbaren Stromerzeugungsarten PV, Wind und Wasserkraft im Mittel gut zur Deckung des heutigen und zukünftigen Strombedarfs in Österreich nutzen lassen, gibt es auf der täglichen, der wöchentlichen sowie der saisonalen Ebene die Notwendigkeit, Stromerzeugung und -verbrauch in Einklang zu bringen. Dazu dient der zweite wichtige Bestandteil des Energiesystems der Zukunft: der Einsatz von Flexibilitäten, um die volatile (schwankende) Erzeugung von PV und Wind auszugleichen.

Der Stromverbrauch änderte sich auch schon im fossilen Stromsystem der Vergangenheit, sodass die Stromerzeugung entsprechend angepasst werden musste. In einem erneuerbaren Energiesystem kommt nun auch eine weit höhere Volatilität (Schwankung) der Stromerzeugung hinzu. Benötigt werden daher Flexibilitäten sowohl auf Seiten der Last (zusätzlicher Stromverbrauch) als auch auf Seiten der Erzeugung, wie in *Abbildung 10* für ein 100% erneuerbares Energiesystem im Jahr 2040 in Österreich angeführt [OE24].

4.2.1 Tägliche Flexibilitäten

Für den Ausgleich während eines Tages sind dies vor allem Pumpspeicherkraftwerke und Batterien, die entweder in Form von Hausspeichern oder als mobile Speicher durch Elektroautos angeboten werden [OE24].

Hier gilt es vor allem die Erzeugungsspitze zur Mittagszeit, die hier in Zukunft durch ca. 30 GW PV-Anlagen verursacht wird, effizient in die Abend- und Nachtstunden zu verschieben, wofür sich auf der lokalen Netzebene Batteriespeicher sehr gut eignen.

Hierzu dienen die in Kapitel 3.1.2 beschriebenen bidirektionalen Ladetechnologien V2G (Vehicle-to-Grid) und V2H (Vehicle-to-Home). Sie ermöglichen es flexibel auf Situationen im Stromsystem zu reagieren und in Zeiten hoher erneuerbarer Stromerzeugung und günstiger Preise Strom im Elektroauto zwischenspeichern, diesen in Zeiten von Strommangel zurück in das Stromnetz einzuspeisen und damit Gewinn zu machen. Somit erhält man mit der Batterie eines Elektroautos sowohl einen flexiblen Verbrauch als auch eine flexible Erzeugung. Damit kann jede:r Elektroautobesitzer:in in einem zukünftigen Flexibilitätenmarkt doppelt profitieren und gleichzeitig dem Stromsystem nützlich sein, da er mit hilft, Stromerzeugung und -verbrauch auszugleichen.

In der Spalte rechts in *Abbildung 10* ist zu erkennen, dass allein durch die E-Mobilität 3,5 TWh an Strom auf der Tagesebene flexibel genutzt werden könnten.

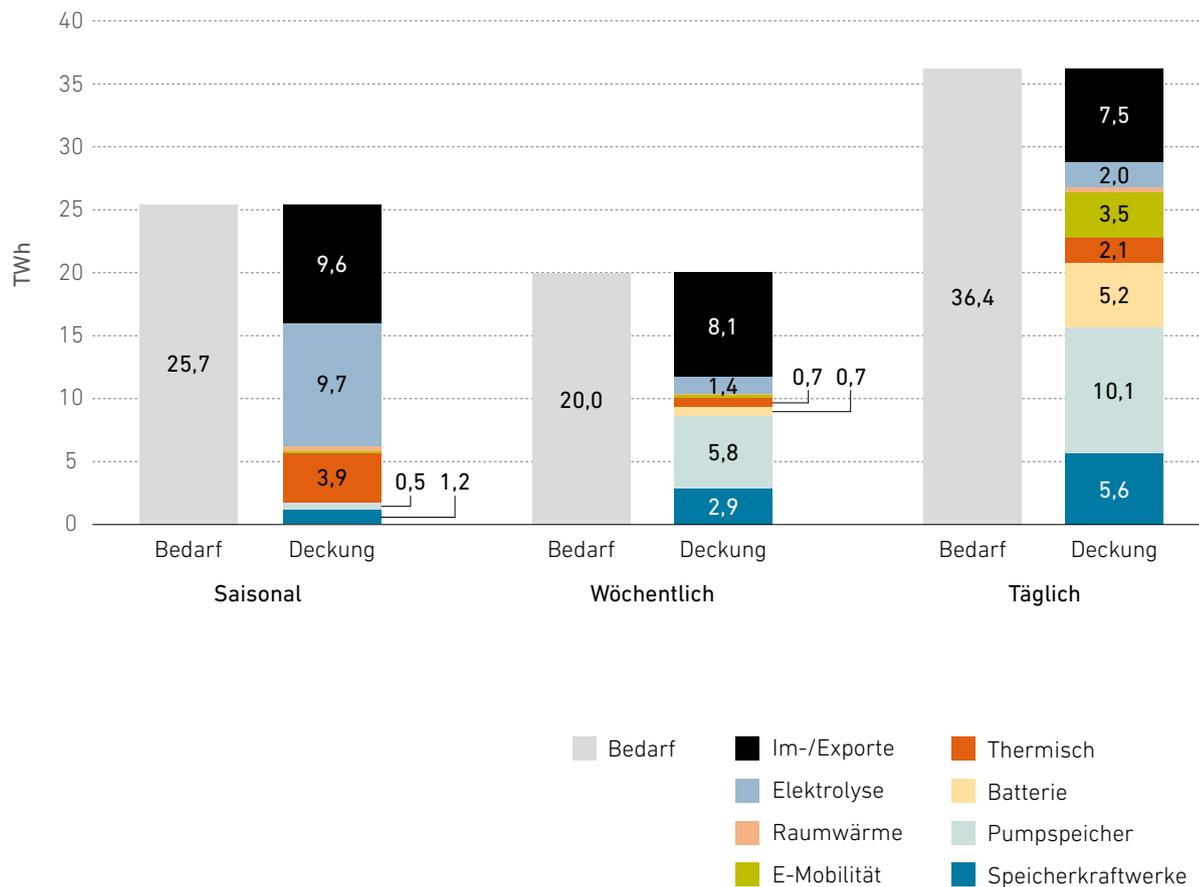


Abbildung 10
Einsatz von Flexibilitäten in dem Energiesystem
der Zukunft (2040) – links saisonal, Mitte wöchentlich
und rechts tägliche Flexibilitäten [OE24]

4.2.2 Wöchentliche Flexibilitäten

Für den wöchentlichen Ausgleich sorgen vor allem Pumpspeicherkraftwerke und in geringerem Ausmaß Batterien sowie Elektrolyseure, in denen Stromüberschüsse zur Erzeugung von Wasserstoff genutzt werden.

Und wie schon in Kapitel 3.1.2 beschrieben, bieten Elektroautos in Zukunft einen doppelten Vorteil für den:die Nutzer:in. Nicht nur kann man am Flexibilitätenmarkt partizipieren und damit Geld verdienen, sondern im Falle eines Blackouts besteht die Möglichkeit, die Stromversorgung des Hauses mithilfe der im Elektroauto gespeicherten Energie aufrechtzuerhalten. Und das durchaus über einen längeren Zeitraum, da mit der Kapazität eines modernen, typischen Elektroautos von 50 bis 85 kWh der durchschnittliche Verbrauch eines Haushalts von ca. 10 kWh pro Tag auch bei nur teilweise gefüllter Batterie über mehrere Tage gedeckt werden kann.

4.2.3 Saisonale Flexibilitäten

Für den saisonalen Ausgleich sorgen in dem Zukunftsszenario von Österreichs Energie [OE24] vor allem Stromüberschüsse, die in den Sommermonaten mittels Elektrolyse als Wasserstoff gespeichert und im Winter in thermischen Kraftwerken zu Strom und Wärme umgewandelt werden.

Durch den Einsatz dieser Flexibilitäten lässt sich das Risiko zu Zeiten geringer Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern – auch bei einem mehrtägigen weitgehenden Ausfall von PV und Wind (oft als „Dunkelflaute“ bezeichnet) – aktiv managen. Durch Wasserstoffproduktion mittels Elektrolyse in Zeiten hoher Stromerzeugung und die Nutzung von erneuerbaren steuerbaren Gaskraftwerken (betrieben mit erneuerbarem Wasserstoff oder Biomethan) bleibt ausreichend steuerbare Kapazität erhalten ([OE24]). Dies ersetzt in einem 100% erneuerbaren Energiesystem die heutigen mit fossilem Gas betriebenen steuerbaren Kraftwerke in Österreich. Durch diese neuen grünen Spitzenlastkraftwerke sind auch etwaige „Dunkelflauten“ zu bewältigen [OE24]. Und durch erneuerbar betriebene flexible Gaskraftwerke lassen sich potentielle THG-Emissionen aller Verbraucher:innen inklusive der E-Mobilität entscheidend reduzieren, wie in den nun folgenden Kapiteln 4.3 und 4.5 gezeigt wird.

4.3 Treibhausgasemissionen über den Lebenszyklus

Zu diesem Thema gibt es eine Vielzahl von Studien mit teils unterschiedlichen Ergebnissen. In der Metastudie „Einsatz von grünen Treibstoffen in der Mobilität“ wurden die Ergebnisse von über hundert Studien mit Lebenszyklus-Analysen aller möglichen PKW-Antriebssysteme in Bandbreiten je Technologie zusammengefasst und die Emissionen pro Fahrzeugkilometer über den gesamten Lebenszyklus verglichen [AEA 22].

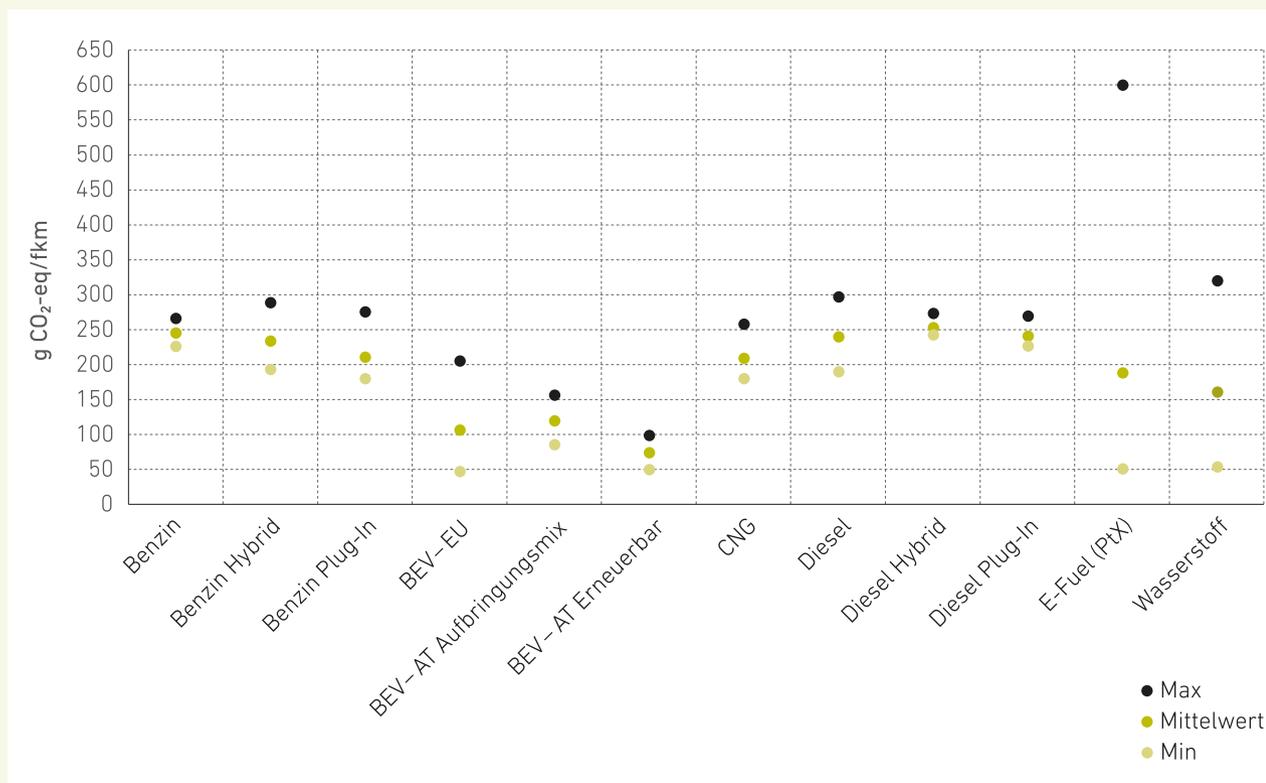


Abbildung 11
Ergebnisse Literaturanalyse zur Klimarelevanz von
PKW-Antrieben (N=105 untersuchte Szenarien/Varianten) [AEA 22].

Es wurden nur Studien einbezogen, die sämtliche THG-Emissionen über den Lebenszyklus inklusive Vorketten und Akku-Produktion enthalten, um Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Bei Vergleich der Mittelwerte der Studien ergibt sich folgende Reihung:

- Am besten schneiden Elektroautos (BEV) mit etwas über 100 g bei heutigem Erzeugungsmix und ca. 70 g CO₂/Fahrzeugkilometer bei Nutzung von erneuerbarem Strom ab.

- Die Alternativen e-fuel und Wasserstoff liegen im Mittel der Studien zwischen 150 und 200 g CO₂/Fahrzeugkilometer, wobei die Studienergebnisse eine sehr hohe Bandbreite aufweisen, da beide Technologien noch nicht am Markt etabliert sind.
- Benzin-Hybrid, -Plug-In sowie CNG(Erdgas)-Fahrzeuge schneiden mit etwas über 200 g CO₂/Fahrzeugkilometer deutlich schlechter ab.
- Fossil betriebene PKW (Benzin, Diesel) sowie Diesel-Plug-In und -Hybrid schneiden mit ca. 250 g CO₂/Fahrzeugkilometer im Mittel am schlechtesten ab.

4.4 Effizienzen unterschiedlicher potenziell klimaneutraler Antriebe

Bei allen drei Optionen Elektroautos (BEV), Verbrennerfahrzeuge (ICE) mit e-fuel und Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV) mit Wasserstoff reduzieren sich die THG-Emissionen bei direkter oder indirekter Nutzung von erneuerbarem Strom für den Antrieb entscheidend. In der Theorie können alle drei Antriebstechnologien für eine klimaneutrale Mobilität in weiterer Zukunft genutzt werden.

Der wesentliche Unterschied besteht in der Effizienz der Nutzung der begrenzten erneuerbaren Stromressourcen. Um die Effizienz der Technologie-Optionen zu vergleichen, wurde in der Studie „Einsatz von grünen Treibstoffen in der Mobilität“ [AEA22] untersucht, wie hoch die Gesamteffizienz der Nutzung jedes der drei Fahrzeuge bei einem Einsatz von grünem Strom ist:

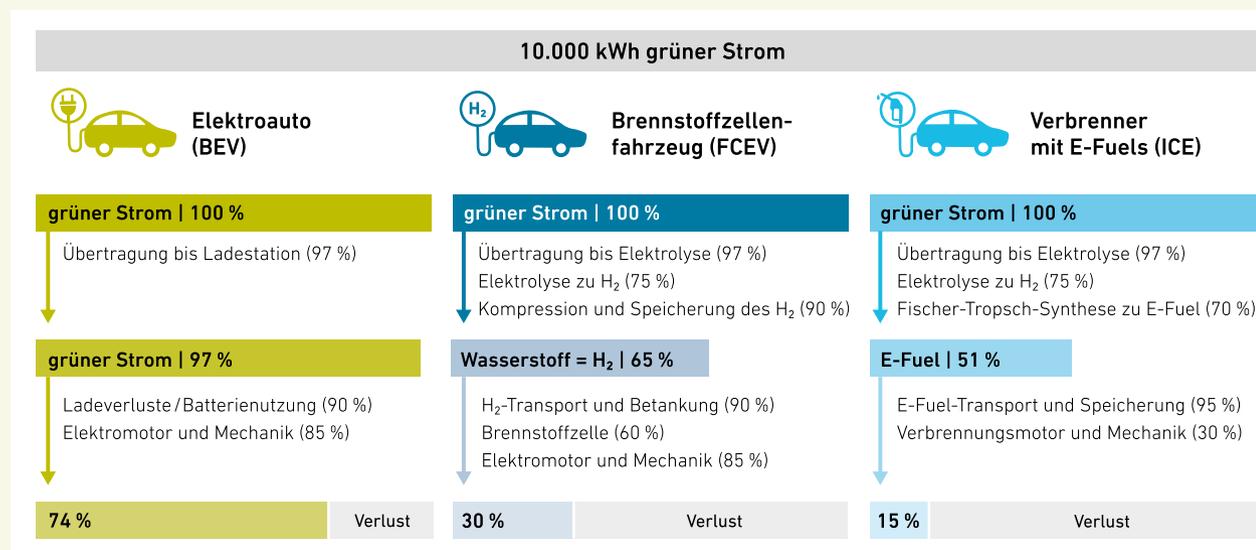


Abbildung 12

Gesamteffizienz der potenziell klimaneutralen Technologien BEV, FCEV und ICE mit e-fuels [AEA 22].

(Quelle: AEA, eigene Darstellung)

Hier zeigt sich die hohe Gesamteffizienz von 74% bei der direkten Nutzung von grünem Strom im Elektroauto. Demgegenüber steht die Gesamteffizienz von 30% im Brennstoffzellenfahrzeug bei einer Umwandlung von erneuerbarem Strom in Wasserstoff und der Nutzung in der Brennstoffzelle. Noch einmal um den Faktor 2 geringer ist die Gesamteffizienz der Nutzung von e-fuels in einem Verbrennungsmotor, hier werden nur 15% des ursprünglichen Energieeinsatzes genutzt.

Selbst unter Einbeziehung der Verluste, wenn 20% des in der Batterie gespeicherten erneuerbaren Stroms nicht direkt aus erneuerbarer Erzeugung kommen, sondern z. B. im Sommer als erneuerbares Gas zwischengespeichert und im Winter wieder verstromt wurden, ist die Gesamteffizienz des Elektroautos mit 64% um den Faktor 2 bis 4 besser als die beiden Alternativen (siehe Strommix 80%/20% in der folgenden Abbildung).

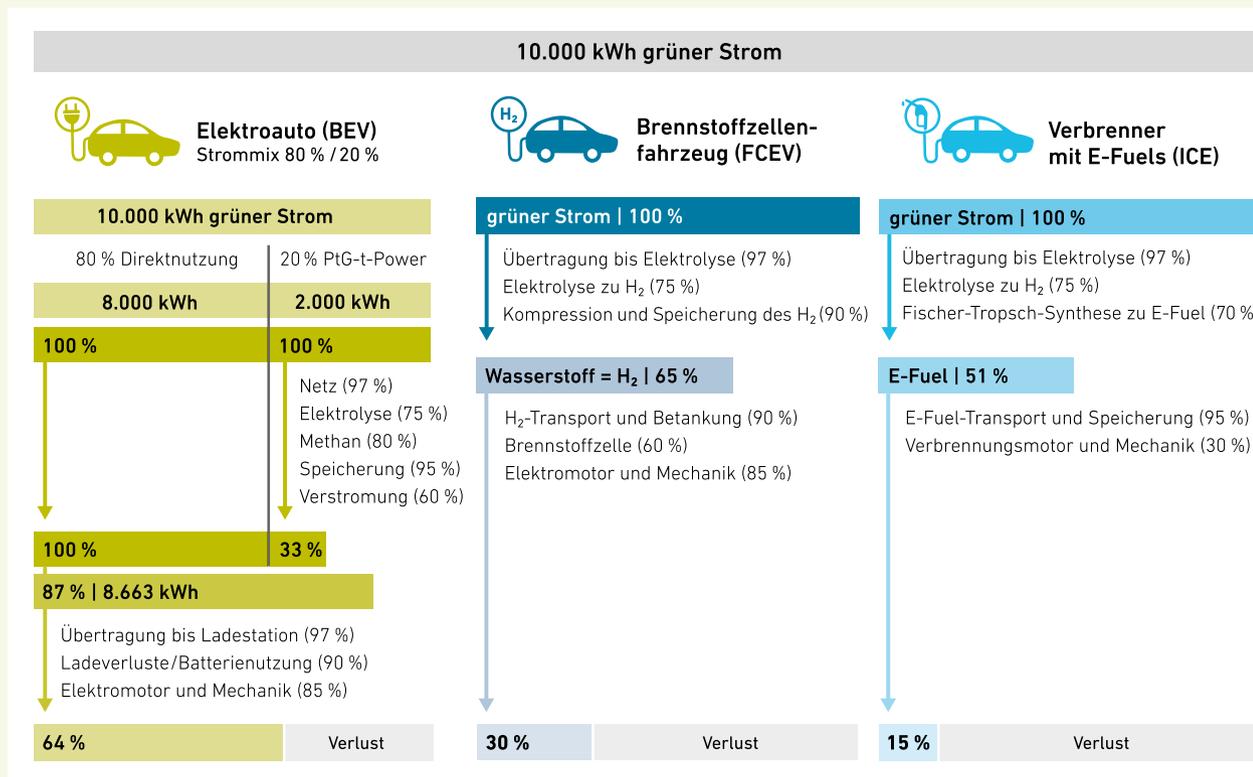


Abbildung 13

Gesamteffizienz der potenziell klimaneutralen Technologien im Vergleich unter der Annahme von 20 % als erneuerbares Gas zwischengespeicherten Strom im Fall des Elektroautos [AEA 22].

4.5 Bedeutung der E-Mobilität für die Transformation zu einem 100% erneuerbaren Energiesystem

Die deutlich höhere Effizienz der E-Mobilität hat weitreichende Folgen für die Realisierbarkeit eines zu 100% erneuerbaren Energiesystems. Im Falle einer Umstellung der heutigen Fahrzeugflotte auf Elektroautos reichen

11,6 TWh erneuerbarer Strom aus, das wäre eine Erhöhung des Stromverbrauchs des Jahres 2020 um 17%. 2023 betrug der nationale Strombedarf ebenfalls knapp 70 TWh.

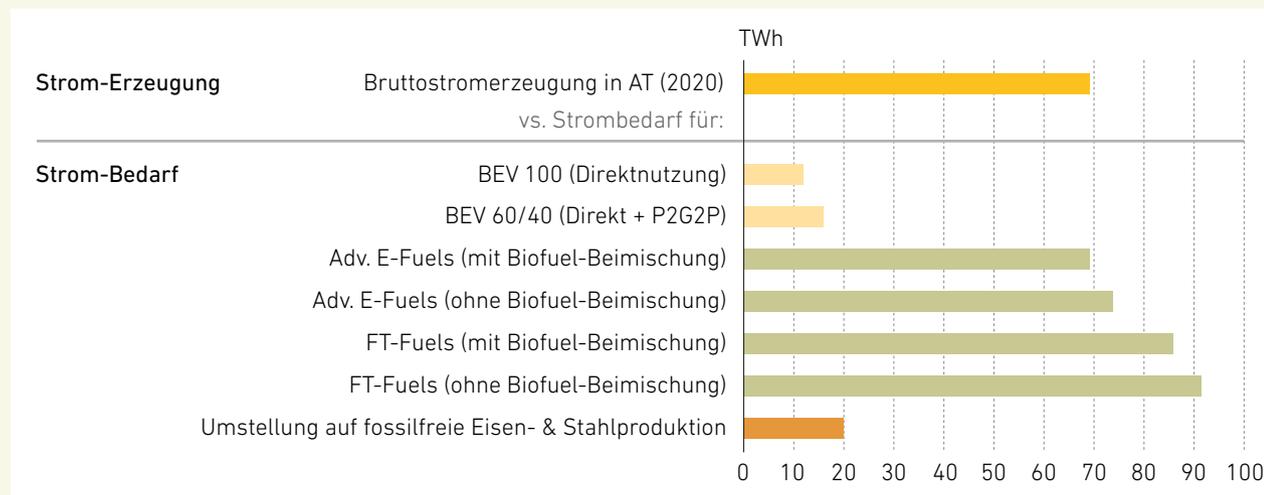


Abbildung 14

Vergleich der für die Umstellung der Fahrzeugflotte auf potenziell klimaneutrale Technologien notwendige Strombedarf mit der Bruttostromerzeugung des Jahres 2020 bzw. 2023 [AEA 22].

Beim flächendeckenden Einsatz von in Österreich hergestellten e-fuels ginge der dafür nötige Stromeinsatz über die Bruttostromerzeugung des Jahres 2020 (siehe ebenfalls Abbildung 14) hinaus, es wäre daher allein für die Fahrzeugflotte eine Verdopplung der heutigen Stromerzeugung nötig. Selbst bei einer Produktion von e-fuels im Ausland würde durch die Ineffizienz des Produktionsprozesses ein erheblicher Mehraufwand bei der Stromerzeugung in den Produktionsländern bestehen bleiben – damit wäre das Problem der Ineffizienz nicht gelöst, sondern nur ins Ausland verlagert.

Aus diesem Grund wird in österreichischen Transformationsszenarien eine weitgehende Elektrifizierung der Fahrzeugflotte angenommen. Nur auf diese Weise

bleibt die Anforderung an die Erhöhung der erneuerbaren Stromerzeugung in einem ambitionierten, aber realisierbaren Rahmen.

Für folgende drei Szenarien wurde der Zusammenhang zwischen dem in den Jahren 2030 und 2040 jeweils erwarteten Strombedarf und dem Anteil der nationalen erneuerbaren Stromerzeugung betrachtet:

1. With Additional Measures (WAM) Szenario des Nationalen Energie und Klimaplan (NEKP) [UBA23]
2. NIP-Szenario basierend auf dem Transition Szenario aus dem Integrierten österreichischen Netzinfrastukturplan (ÖNIP) [NIP24]
3. Oesterreichs Energie (OE) Szenario aus der Stromstrategie 2040 [OE22]

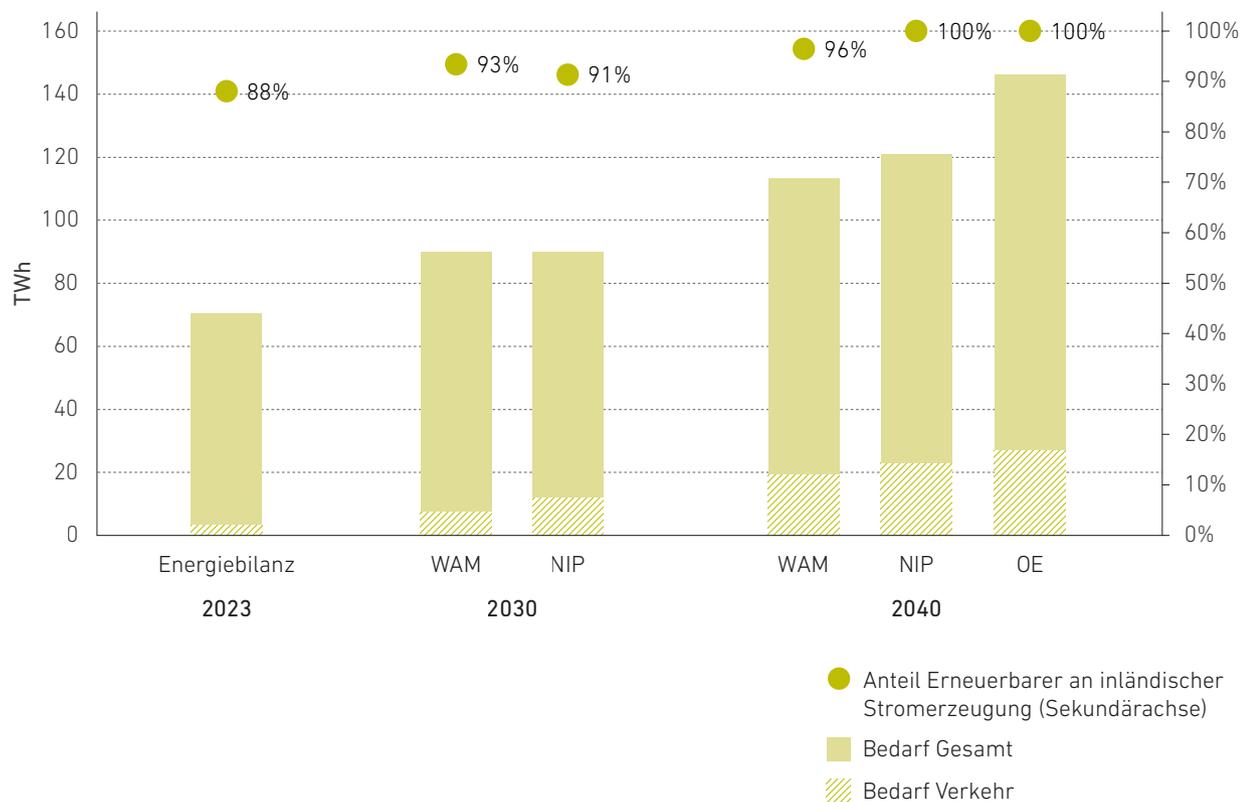


Abbildung 15

Erhöhung des Strombedarfs im Rahmen der Transformation des Energiesystems bei gleichzeitiger Erhöhung des erneuerbaren Anteils bis 2040; auf Basis verschiedener Transformationsszenarien (Quellen: eigene Berechnungen, [NIP24], [UBA23])

Man erkennt, dass in allen wesentlichen Transformationsszenarien das Ziel der national bilanziellen Bedarfsdeckung in 2030 zu mehr als 90% und in 2040 zu knapp 100% erreicht wird, das heißt Österreich erzeugt genug erneuerbaren Strom, um sich

selbst bilanziell zu versorgen. Zu Abbildung 15 ist anzuführen, dass sich die dargestellten Anteile rein auf die erneuerbaren Anteile an der nationalen Stromerzeugung beziehen. Importe und Exporte wurden hier nicht betrachtet.

Für die erfolgreiche Transformation notwendig sind regulatorische Maßnahmen unter anderem auch für den Bereich der E-Mobilität. Im Entwurf des EIWG (Elektrizitätswirtschaftsgesetz), der zum Zeitpunkt der Berichterstellung vorlag, waren folgende wichtige Weichenstellungen enthalten:

Aktive Kund:innen (Prosumer) werden berechtigt, Strom zu erzeugen und den eigenerzeugten Strom zu verbrauchen, zu speichern und zu verkaufen, sowie an Flexibilitätsprogrammen teilzunehmen (siehe § 60).

Gespeicherter und wieder in das Netz eingespeister Strom verliert seinen Herkunftsnachweis als Ökostrom nicht, wenn über ein Messkonzept, das mit dem Netzbetreiber vereinbart wird, die erneuerbare Erzeugung entsprechend nachgewiesen werden kann (§ 103 und § 103a).

Energiespeicher werden unter der Voraussetzung eines systemdienlichen Betriebs für einen Zeitraum von 20 Jahren ab Inbetriebnahme für den Bezug der zu speichernden elektrischen Energie vom Netznutzungsentgelt sowie vom Netzverlustentgelt befreit (siehe § 119)

Ermöglichung Leistung bepreisender Netztarife auch auf der Haushaltsebene durch die Regulierungsbehörde: stärker leistungsbezogene sowie zeitvariable Ausgestaltung des Netznutzungsentgelts unter Berücksichtigung des systemdienlichen Betriebs bedeutet einen verbesserten Business Case für Heim- und Elektroautospeicher (siehe § 120).

Einrichtung einer gemeinsamen österreichweiten Marktplattform um Flexibilitäten wie Heimspeicher, Wärmepumpen und E-Autos sowohl in den Strom- als auch den Regelenergiemarkt einzubinden (§ 134). Dadurch können Elektroautobesitzer:innen Profit generieren und dabei potenziell das Netz entlasten.

Damit sollten sich aufgrund verbesserter technischer und regulatorischer Möglichkeiten bis 2030 neue Handlungsoptionen ergeben. Eine bis 2030 auf 15 % bis 20 % des Bestands gewachsene E-Autoflotte bedeutet eine schrittweise größer werdende Menge von nutzbaren dezentralen Speichern, die über Vehicle-to-Grid-Technologie netz- und systemdienlich Strom einspeisen und beziehen kann.

Was ergibt sich aus diesen Stromszenarien für die Entwicklung der zukünftigen THG-Emissionen der E-Mobilität?

Abbildung 16 zeigt die voraussichtliche Entwicklung der Treibhausgasemissionen (THG) je Fahrzeugkilometer für Elektroautos auf Basis der Stromerzeugung in Österreich (ohne Importe/Exporte) in der Bandbreite der drei untersuchten Transformationsszenarien. Zusätzlich wurde die THG-Entwicklung für die Herstellung von Elektrofahrzeugen inklusive Akkus aus einer Studie des deutschen Umweltbundesamtes entnommen [UBD 23]: Aufgrund einer Zunahme der angenommenen Akkuleistungen für einen durchschnittlichen PKW der Kompaktklasse von 55 auf 80 kWh ist von 2022 bis 2030 nur eine geringe Reduktion der THG-Emissionen aus der Fahrzeugherstellung zu erkennen. Nach 2030 wird eine stark sinkende Entwicklung der Herstellungsbedingten THG angenommen, die bis 2050 beinahe null erreichen.

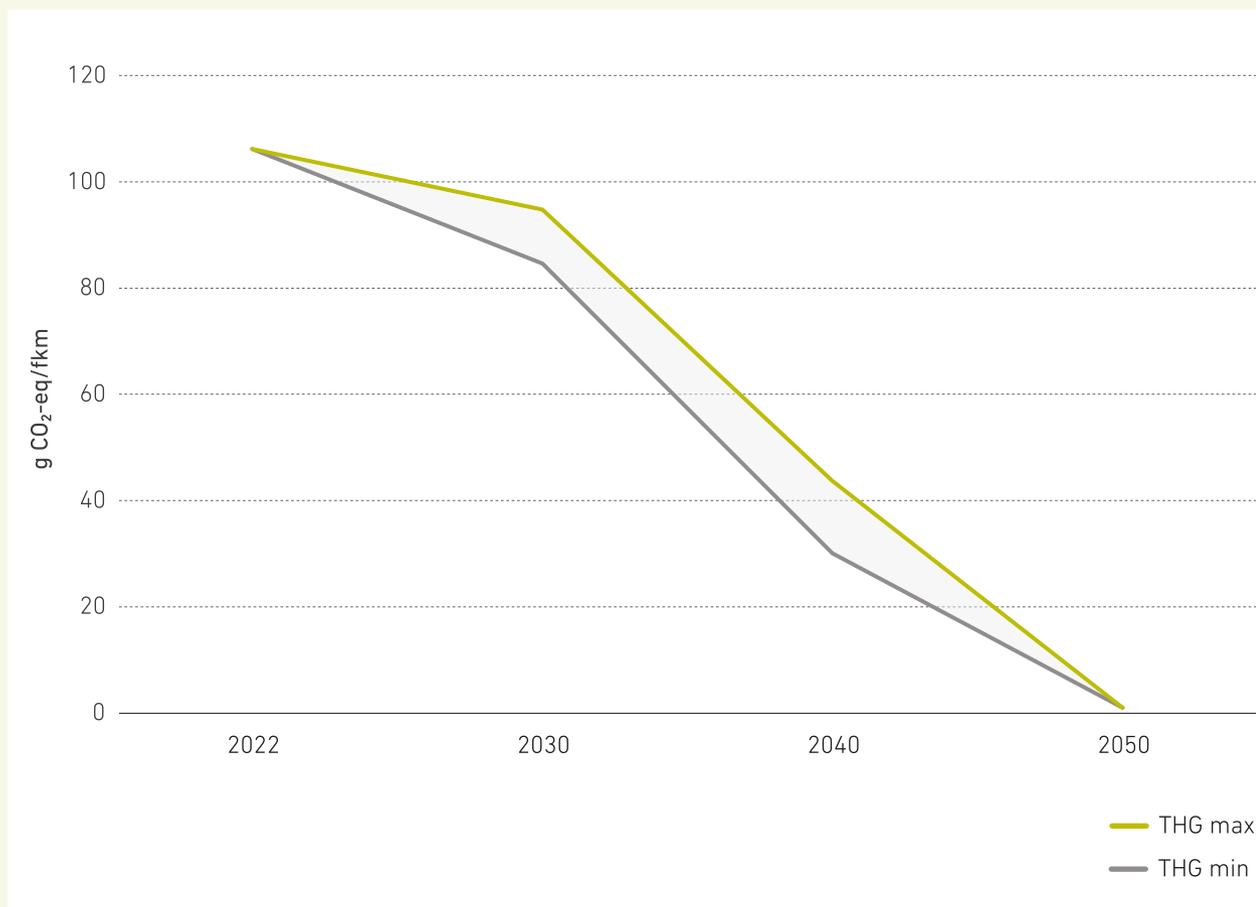


Abbildung 16
Entwicklung der THG-Emissionen von BEV auf Basis der drei oben betrachteten Transformationsszenarien zur inländischen Stromerzeugung
(Quelle: eigene Berechnungen aus Daten in Abbildung 15, [UBD 23])

Insgesamt ergibt sich für 2040 eine Bandbreite von nur noch 30 bis 44 g CO₂-Äquivalente pro Fahrzeugkilometer und damit eine deutliche Reduktion gegenüber dem heutigen Wert von 106. Bis 2050 ist anzunehmen, dass Elektroautos auch inklusive der Herstellung annähernd Klimaneutralität erreichen können, wie auch in der Studie des deutschen Umweltbundesamtes ersichtlich [UBD 23].

Man erkennt, dass durch die Dekarbonisierung der österreichischen Stromerzeugung in allen wesentlichen Transformationspfaden E-Mobilität nicht nur aufgrund ihrer Effizienz die Dekarbonisierung des Gesamtsystems erst ermöglicht, sondern selbst auch davon profitiert, indem sie bis 2040 auf dem Weg in Richtung Klimaneutralität ist, die sie 2050 annähernd erreicht.

Literatur

AEA 22: Strimitzer et al.: Einsatz von grünen Treibstoffen in der Mobilität, AEA für das BMK, Wien, 2022

AEA 24: Bürbaumer et al.: Netzdienliche PV der Zukunft, AEA im Auftrag von Österreichs Energie, Wien, 2024

AEA 25: Unsere Energiewelt 2040, Klimaneutrales Zukunftsszenario der Österreichischen Energieagentur, Wien, 2025

BSW 2013: www.solarwirtschaft.de/datawall/uploads/2015/12/BSW_ISE_Speicher_130125_final_2.pdf

ECO 24: Versorgungssicherheit Strom 24, Monitoring Report der e-control, Wien, 2024

EMB 25: Electricity Data Explorer, <https://ember-energy.org/data/electricity-data-explorer>, EMBER, 2025

NIP 24: Integrierter österreichischer Netzinfrastrukturplan, BMK, Wien, 2024

OE 22: Österreichs Weg in eine klimaneutrale Energiezukunft. Österreichs Energie, Wien, 2022.

OE 24: Modellierung der Stromstrategie. Compass Lexecon im Auftrag von Österreichs Energie, Wien, 2024.

UBA 23: Energie- und Treibhausgas-Szenarien 2023, UBA, Wien, 2023

UBA 24: Emissionskennzahlen 2022, Aktualisierung 2024, UBA, Wien, 2024

UBD 23: Analyse der Umweltbilanz von Kraftfahrzeugen mit alternativen Antrieben oder Kraftstoffen auf dem Weg zu einem treibhausgasneutralen Verkehr, UBA Deutschland, Dessau-Roßlau, 2023

UBD 24: www.umweltbundesamt.de/daten/klima/der-europaeische-emissionshandel#vergleich-von-emissionen-und-emissionsobergrenzen-cap-im-stationaren-eu-ets-1

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Steigerung des österreichischen Strombedarfs um 90 % bis 2040 (in TWh) [OE 22]	06
Abbildung 2	Fossiles Kraftwerk als preisbestimmendes Grenzkraftwerk zu Zeiten niedriger erneuerbarer Erzeugung	09
Abbildung 3	Erneuerbares Kraftwerk als preisbestimmendes Grenzkraftwerk zu Zeiten hoher erneuerbarer Erzeugung	10
Abbildung 4	Preiserhöhung durch zusätzliche Verbraucher:innen gilt für alle Marktteilnehmer:innen, nicht nur zusätzliche Verbraucher:innen	11
Abbildung 5	Darstellung Pool-Prinzip	12
Abbildung 6	Entwicklung der Emissionen im Europäischen Emissionshandel (EU-ETS) aufgrund der politisch vorgegebenen Caps [UBD24]	13
Abbildung 7	Entwicklung Stromerzeugung vs. -verbrauch im Straßenverkehr in der EU 2000-2023	14
Abbildung 8	Steigerung der installierten Leistung bis 2040 vor allem durch Windkraft, PV und Wasserkraft (in GW) [OE 22]	15
Abbildung 9	Die Stromaufbringungsarten PV, Wind und Wasserkraft addiert erfüllen die Lastkurve inklusive Flexibilitäten über die 12 Monate des Jahres weitgehend [AEA25]	16
Abbildung 10	Einsatz von Flexibilitäten in dem Energiesystem der Zukunft (2040) – links saisonal, Mitte wöchentlich und rechts tägliche Flexibilitäten [OE24]	18
Abbildung 11	Ergebnisse Literaturanalyse zur Klimarelevanz von PKW-Antrieben (N=105 untersuchte Szenarien/Varianten) [AEA 22].	20
Abbildung 12	Gesamteffizienz der potenziell klimaneutralen Technologien BEV, FCEV und ICE mit e-fuels [AEA 22].	21

Abbildung 13	Gesamteffizienz der potenziell klimaneutralen Technologien im Vergleich unter der Annahme von 20 % als erneuerbares Gas zwischengespeicherten Strom im Fall des Elektroautos [AEA 22].	22
Abbildung 14	Vergleich der für die Umstellung der Fahrzeugflotte auf potenziell klimaneutrale Technologien notwendige Strombedarf mit der Bruttostromerzeugung des Jahres 2020 bzw. 2023 [AEA 22].	23
Abbildung 15	Erhöhung des Strombedarfs im Rahmen der Transformation des Energiesystems bei gleichzeitiger Erhöhung des erneuerbaren Anteils bis 2040; auf Basis verschiedener Transformationsszenarien	24
Abbildung 16	Entwicklung der THG-Emissionen von BEV auf Basis der drei oben betrachteten Transformationsszenarien zur inländischen Stromerzeugung	26

Abkürzungsverzeichnis

AEA	Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency
BMK	Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
Cap & Trade	System zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen, bei dem eine Obergrenze (Cap) für die Emissionen festgelegt wird und Emissionszertifikate im Markt gehandelt werden (Trade).
EU ETS	EU Emissions Trading System, Europäischer Emissionshandel, ein marktwirtschaftliches Instrument zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen in der EU
ÖNIP	Integrierter österreichischer Netzinfrastukturplan
PV	Photovoltaik, Sonnenstrom
TWh	Terawattstunde entspricht 1 Milliarde kWh
V2G	Vehicle-to-Grid ist die Technologie, die es Elektroautos ermöglicht, Strom aus ihren Batterien zurück in das Stromnetz einzuspeisen
V2H	Vehicle-to-Home nennt sich die Technologie, die es ermöglicht den eigenen Haushalt mit Strom aus dem Elektroauto zu versorgen
WAM	With Additional Measures (WAM) Szenario

Herausgeber

Klima- und Energiefonds der österreichischen Bundesregierung

Leopold-Ungar-Platz 2 / Stiege 1 / Top 142, 1190 Wien

Tel: (+43 1) 585 03 90

office@klimafonds.gv.at

www.klimafonds.gv.at

Autor:innen

DI Dr. Heimo Bürbaumer (Projektleitung)

DI Bernhard Felber

DI Günter Pauritsch

Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency (AEA)

Für den Inhalt verantwortlich

Die AEA und alle ihre als Autor:innen genannten Expert:innen haben die Inhalte der vorliegenden Publikation sorgfältig recherchiert und erstellt. Übertragungs- /inhaltliche Fehler können dennoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Die Autor:innen/die AEA übernehmen daher keine Haftung für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte, insbesondere in Bezug auf eventuelle unmittelbare oder mittelbare Schäden, die durch die direkte oder indirekte Verwendung der angebotenen Informationen entstehen.

Der Inhalt dieser Studie spiegelt zudem nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider. Weder der Klima- und Energiefonds noch das Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) sind für die Weiternutzung der hier enthaltenden Informationen verantwortlich.

Nachdruck nur auszugsweise und mit genauer Quellenangabe gestattet.

Gestaltung

www.angieneering.net

Titelfoto

KODAKovic/Shutterstock.com

Herstellungsort: Wien, Juli 2025

Wir haben diese Broschüre mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt und die Daten überprüft. Rundungs-, Satz- oder Druckfehler können wir dennoch nicht ausschließen.

www.klimafonds.gv.at



AUSTRIAN ENERGY AGENCY