



SOLAR



WIND



WASSER



GEOTHERMIE



BIOMASSE



NUKLEAR



GAS



KOHLE

Sektorkopplung

Ein Energiesystem
für alle(s)



Klappt das mit der Energiewende?

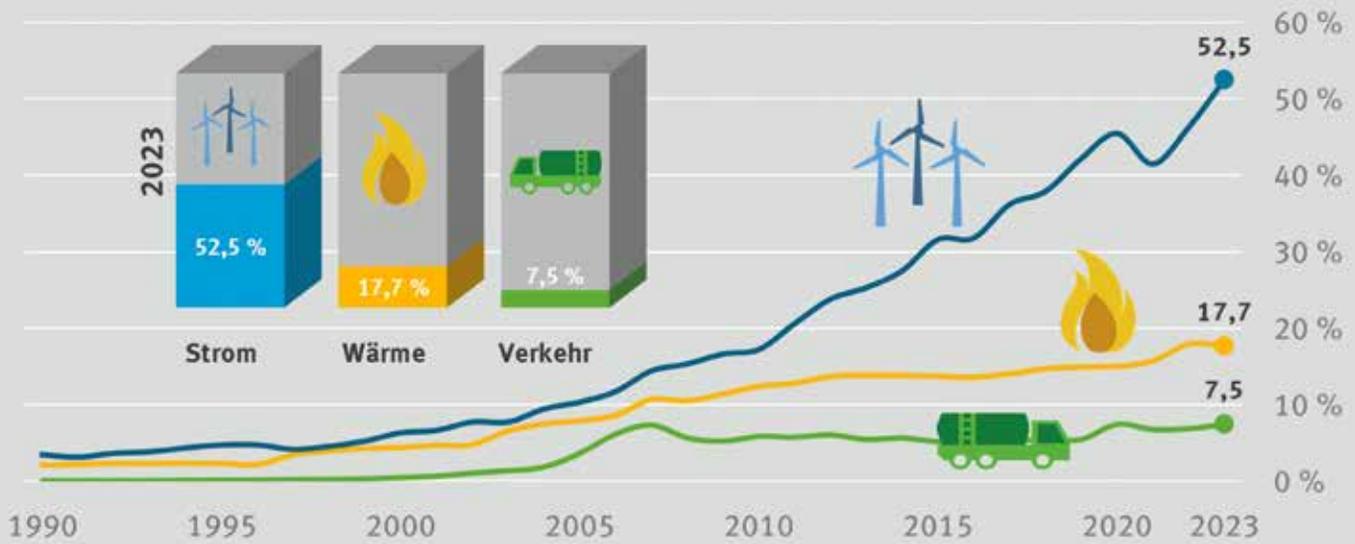
Über das Thema Energiewende und die hierfür notwendigen Maßnahmen wird zurzeit viel diskutiert und auch gestritten. Nicht alle Diskussionsteilnehmer halten sich dabei strikt an die Wahrheit – einige mangels Sachkenntnis, andere aus Eigeninteresse. Im folgenden und weiteren Beiträgen zum Thema Energiewende will *Elektroautomobil* die nötigen Fakten liefern und mit verbreiteten Vorurteilen aufräumen. Im siebten Teil befassen wir uns mit dem Zusammenspiel aus Strom, Wärme und Verkehr – der sogenannten Sektorkopplung.

Wer sich für das Thema Energiewende interessiert, sollte sich diesen Begriff merken: Sektorkopplung. Er steht für eine enge Verzahnung der traditionell getrennten Energiemärkte Strom, Wärme und Verkehr. Basierend auf erneuerbarem Strom soll ein integriertes Energiesystem entstehen, das alle Arten der Energienutzung flexibel verbindet.

Immer mehr Strom von Wind und Sonne: In den ersten drei Quartalen 2024 stammten bereits 56 Prozent des deutschen Bruttostromverbrauchs aus erneuerbaren Quellen, und an besonders wind- und sonnenreichen Tagen überstieg das Stromangebot sogar die Nachfrage. Also alles gut mit der Energiewende?

Leider nur teilweise. Denn die Energiewende ist bisher vor allem eine Stromwende. Der Stromverbrauch macht allerdings nur ein knappes Viertel des gesamten deutschen Endenergieverbrauchs aus, während mehr als die

Hälfte auf die Erzeugung von Wärme und Kälte für die Klimatisierung von Gebäuden und für Industrieprozesse und ein weiteres Viertel auf mechanische Antriebsenergie im Verkehr entfallen. Und im Wärme- und Verkehrssektor steigt der Anteil der Erneuerbaren deutlich langsamer: Bei der Wärme waren es 2023 knapp 18 Prozent, beim Verkehr nur etwas über siebeneinhalb Prozent. Summiert über alle Sektoren waren gerade einmal 23 Prozent der verbrauchten Energie „grün“. Bis 2030 sollen es im Stromsektor 80 und insgesamt 40 Prozent werden, so die Ziele der Bundesregierung.



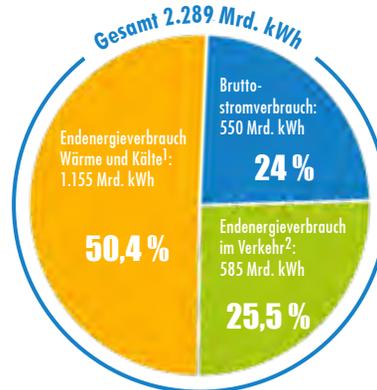
Elektrifizierung aller Sektoren

Die noch fossil dominierten Sektoren Wärme und Verkehr lassen sich nur dekarbonisieren, indem Strom aus erneuerbaren Quellen auch dort zunehmend fossile Energieträger ersetzt. Denn die Potenziale nicht strombasierter erneuerbarer Energieträger wie Biomasse und Geothermie sind hierzulande begrenzt. Letztlich läuft es also darauf hinaus, dass diese Sektoren weitgehend elektrifiziert beziehungsweise mit auf Basis erneuerbaren Stroms erzeugten chemischen Energieträgern beliefert werden – beispielsweise grünem Wasserstoff oder synthetischen Kraftstoffen.

Umgekehrt profitiert auch das Stromnetz von der Verknüpfung mit den anderen Energiesektoren, denn so eröffnen sich – neben dem Ausbau der Stromnetze und stationären Speicherkapazitäten – zusätzliche Möglichkeiten, überschüssigen Wind- und Solarstrom zu verwerten. Anstatt Windräder abzuregeln, wie es inzwischen fast täglich geschieht, lässt sich der Grünstrom beispielsweise zur Gebäudeklimatisierung, für Industrieprozesse oder zum Laden von Elektroautos nutzen. Nicht zuletzt entsteht auf diese Weise ein größerer und flexiblerer Energiemarkt, in dem die Energieströme je nach Bedarf hin- und herfließen.

Schlüsseltechnologien „Power-to-X“

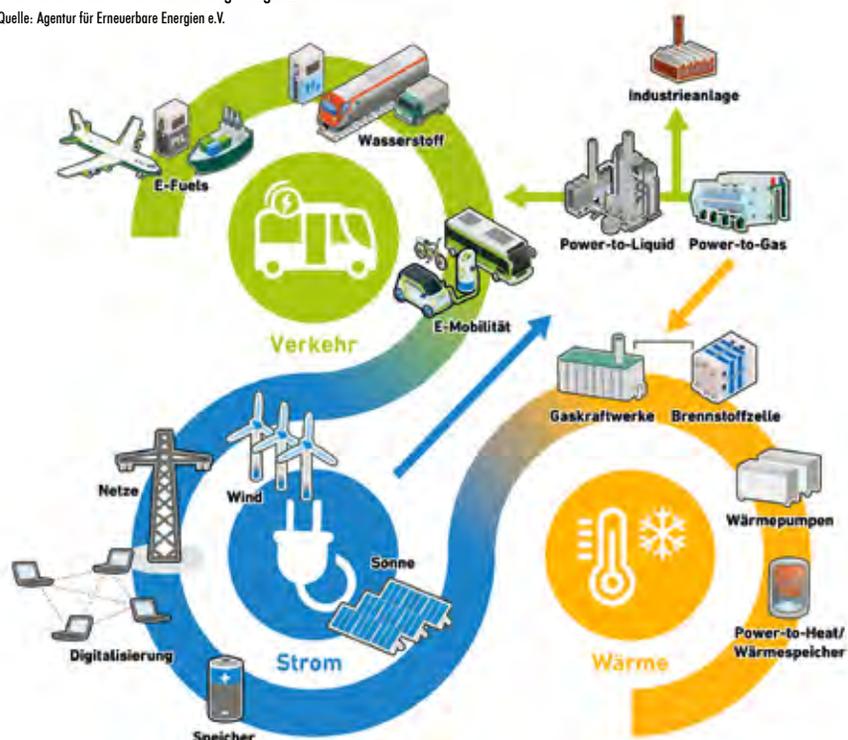
Bei der Umsetzung der Sektorkopplung kommt den sogenannten Power-to-X-Technologien, kurz PtX, eine besondere Bedeutung zu. Power-to-Gas (PtG) steht für die Wasserstoffgewinnung mittels Elektrolyse und eventuell Umwandlung in weitere Gase wie Methan oder Ammoniak, Power-to-Heat (PtH) für die Wärme- und Kälteerzeugung mit Wärmepumpen und anderen elektrisch betriebenen Heiz- und Kühlanlagen und Power-to-Liquids (PtL) für die wasserstoffbasierte Herstellung synthetischer Flüssigkraftstoffe, auch E-Fuels genannt.



Energieverbrauch in Deutschland: nach Strom, Wärme und Verkehr. Quelle: Agentur für Erneuerbare Energien e.V.
¹⁾ ohne Strom; ²⁾ ohne Strom und Int. Flugverkehr

Sektorkopplung: Die Verknüpfung der Energiesektoren Strom, Wärme und Verkehr ermöglicht es, fluktuierende Stromspeisungen aus Wind- und Photovoltaikanlagen sinnvoll zu nutzen und fossile Energieträger zu ersetzen.

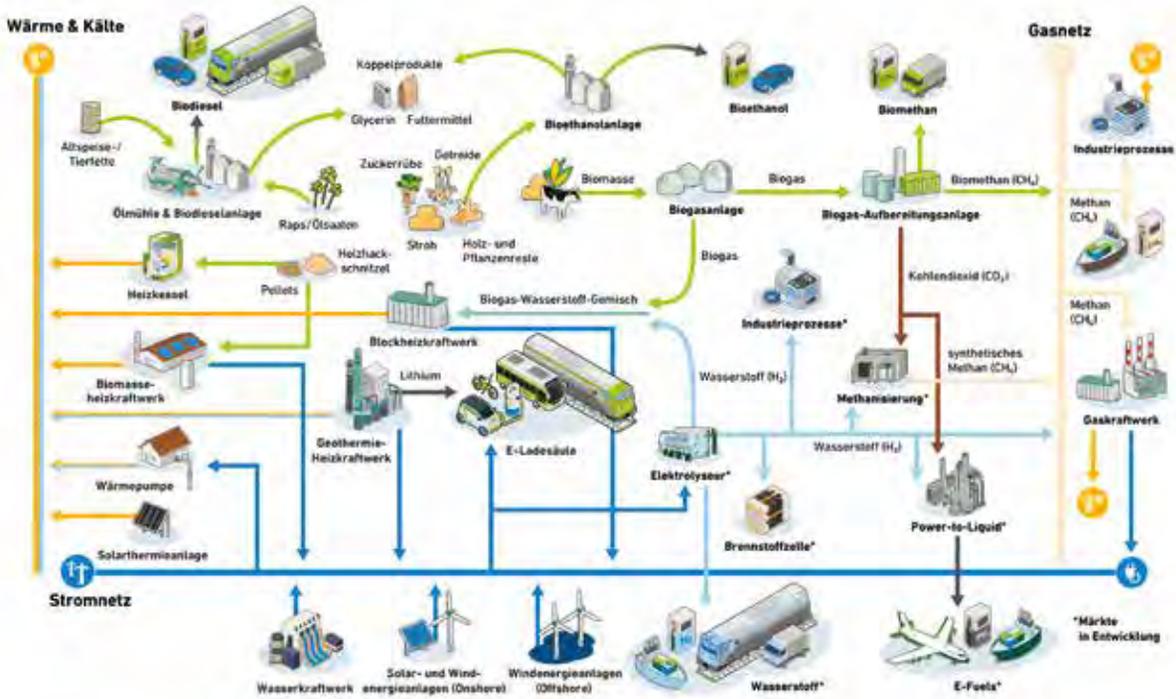
Quelle: Agentur für Erneuerbare Energien e.V.



Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch: Während die Stromerzeugung schon rund zur Hälfte „grün“ ist, ist der Anteil bei Wärme und am Verkehr weiterhin verschwindend gering.

Quelle: Umweltbundesamt

Am vielseitigsten ist PtG: Neben direkten Nutzungen des grünen Wasserstoffs, z. B. für industrielle Wärme- prozesse oder als Treibstoff für Brennstoffzellenfahrzeuge, ist die Speicherung eine besonders wichtige Funktion in einem regenerativen Energiesystem. Denn im Vergleich zu den bereits heute überlasteten Stromnetzen und den nach wie vor beschränkten Batteriespeicherkapazitäten ist das Erdgasnetz samt unterirdischer Kavernen nahezu unbegrenzt aufnahmefähig, sodass durch Rückverstromung der eingespeicherten Energie (theoretisch) mehrere Monate ohne Wind und Sonne überbrückt werden könnten. Die Transformation von Strom in Gas und zurück



Die Energiewende in den Bereichen Strom, Wärme und Verkehr: Nutzt man das volle Potential der Sektorkopplung, ergibt sich ein komplexes System flexibler Energieströme und -nutzungen.
Quelle: Agentur für Erneuerbare Energien e.V.

ist zwar verlustbehaftet, aber immer noch sinnvoller als ein Totalverlust durch Abregeln von Windrädern und Photovoltaikanlagen.

Wärmewende mit PtG und PtH

Im Wärmesektor ermöglicht PtG sukzessive fossiles Erdgas durch „Windgas“ oder „Solargas“ zu ersetzen und damit industrielle Hochtemperaturprozesse wie z. B. die Stahlproduktion zu dekarbonisieren. Ein zweiter Umwandlungspfad von Strom zu Wärme für niedrigere Temperaturbereiche (bis ca. 500 °C) ist PtH: Dabei wird Wasser mittels Heizstäben oder Elektroden in einem Behälter aufgeheizt – beispielsweise das Warmwasser im Haushalt mit dem Solarstrom vom Dach. Große Elektrodenkessel werden vor allem in Fernwärmezentralen eingesetzt, um „grüne Fernwärme“ zu erzeugen. Sehr effizient ist die direkte Aufheizung von Wasser allerdings nicht, da der Strom hierbei maximal eins zu eins in Wärme umgesetzt wird.

Die teurere, aber wesentlich effizientere PtH-Alternative zur Beheizung von Gebäuden sowie zur Warmwasserbereitung ist die elektrische Wärmepumpe. Indem sie Energie aus der Umgebung (Luft, Wasser, Erdreich) nutzt, kann sie aus einer Kilowattstunde Strom nicht nur eine, sondern drei bis vier Kilowattstunden Wärme erzeugen. Anders als mit Heizkesseln ist auch eine Kühlung möglich. Würde man die Wärmeversorgung von Gebäuden und Quartieren komplett auf Wärmepumpentechnik umstellen, käme man mit einem Bruchteil der heute für die Wärmeerzeugung benötigten Primärenergie aus – Effizienzmaßnahmen wie Gebäudedämmung noch gar nicht eingerechnet. Allerdings sind die Installationszahlen in Deutschland noch ausbaufähig: So wurden 2023 zwar 356.000 Wärmepumpen eingebaut, aber mit 790.000 immer noch mehr als doppelt so viele Gasheizungen. Im Neubau hat die Wärmepumpe allerdings

die Nase vorn: In rund drei Viertel der 2023 genehmigten neuen Wohngebäude ist sie das Heizsystem der Wahl.

Der Verkehr hinkt hinterher

Noch ziemlich am Anfang steht die Energiewende im Verkehrssektor. Zwar ist der Schienenverkehr in Deutschland schon lange weitgehend elektrifiziert (und somit ein frühes Beispiel für die Sektorkopplung). Sein Anteil am sektoralen Energieverbrauch liegt allerdings bei nur 0,5 Prozent, während 77 Prozent der Energie auf der Straße „verfeuert“ werden (Zahlen für 2022). Mit zunehmender Verbreitung des Elektroantriebs ändert sich das Bild, da nun auch der Straßenverkehr mit dem Stromnetz gekoppelt werden kann – auch hier wieder mit positiver Rückwirkung auf den Stromsektor: Wenn Fahrzeugbatterien überwiegend in Spitzenzeiten der erneuerbaren Stromproduktion geladen werden, trägt dies zur Netzstabilität bei. In absehbarer



PtH statt Erdgas: Mit Elektrodenkesseln wie hier in Rostock wird erneuerbarer Strom, der sonst durch Abregelung verloren ginge, in klimafreundliche Wärme umgewandelt und in das örtliche Fernwärmenetz eingespeist. Der 45 Millionen Liter heißes Wasser fassende Großspeicher ging 2023 in Betrieb.
Quelle: Stadtwerke Rostock AG

GLOSSAR: Technologien für die Sektorkopplung

- PtX** Power-to-X: Technologien zur Speicherung bzw. anderweitigen Nutzung von Strom (Überschüssen)
- PtG** Power-to-Gas: Wasserstoffgewinnung mittels Elektrolyse (ggf. in Verbindung mit weiteren Umwandlungsprozessen für andere Gase)
- PtH** Power-to-Heat: Wärme- und Kälteerzeugung mit Strom (z. B. mit Wärmepumpen, Heizstäben oder -elektroden)
- PtL** Power-to-Liquid: wasserstoffbasierte Herstellung synthetischer flüssigkraftstoffe (E-Fuels)
- V2X** Vehicle-to-X: Gesamtheit der bidirektionalen Ladetechnologien, bei denen Elektrofahrzeuge die im Fahrrakku gespeicherte Energie ans Stromnetz oder andere Verbraucher zurückgeben können
- V2G** Vehicle-to-Grid: Rückspeisung elektrischer Energie aus Elektrofahrzeugen ins öffentliche Stromnetz
- V2H** Vehicle-to-Home: Rückspeisung elektrischer Energie aus Elektrofahrzeugen ins Stromnetz eines Hauses/Gebäudes

Zukunft soll außerdem eine netzdienliche Rückspeisung von Batteriestrom in wind- und sonnenarmen Zeiten ermöglicht werden (Stichworte bidirektionales Laden/Vehicle to Grid/V2G).

Auch der PtG-Pfad ist für Verkehrsanwendungen relevant, indem Brennstoffzellenfahrzeuge mit grünem Wasserstoff versorgt werden. In verschiedenen deutschen Regionen sind bereits Brennstoffzellenzüge im Regionalverkehr unterwegs, und auch für schwere Lkw ist der Wasserstoffantrieb eine Option. Im Schiffs- und Luftverkehr gelten hingegen synthetische Flüssigkraftstoffe (PtL) als aussichtsreichste Dekarbonisierungsstrategie.

Mehr regulatorische als technische Probleme

Sektorkopplung bedingt nicht nur die Etablierung (gar nicht mehr so) neuer Technologien wie Power-to-Gas oder Elektromobilität, sondern auch eine Verknüpfung von verschiedenen wirtschaftlichen Akteuren, Branchen, Strukturen und Regelwerken, die in der traditionellen Energiewelt wenig miteinander zu tun hatten. Die Folge

davon ist, dass auf Sektorkopplung basierende Geschäftsmodelle noch häufig durch sektorspezifische Regularien ausgebremst werden. Beispielsweise werden PtX-Anlagen wie Großwärmepumpen und Elektrolyseure, die Regelleistung für das Stromnetz anbieten, energiewirtschaftlich als Strom-Letzterverbraucher eingestuft und entsprechend mit Steuern und Entgelten belastet. Ein wirtschaftlicher Betrieb ist daher oft nicht – oder nur im Rahmen von geförderten Pilotprojekten – möglich. Mit einem im November 2023 eingeführten neuen Paragraphen im Energiewirtschaftsgesetz (§13k EnWG) und einem darauf basierenden Erlass der Bundesnetzagentur („Nutzen statt Abregeln 2.0“) sollen für solche „zuschaltbaren Lasten“ künftig günstigere Konditionen gelten.

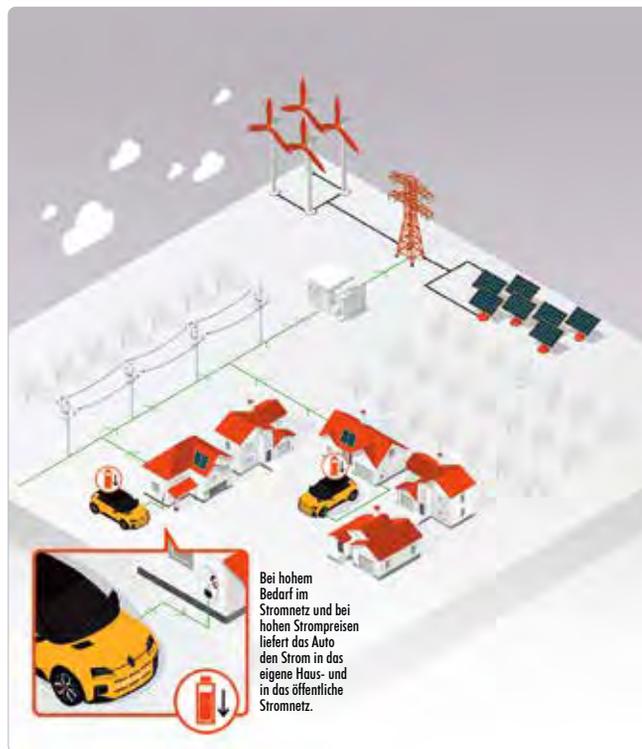
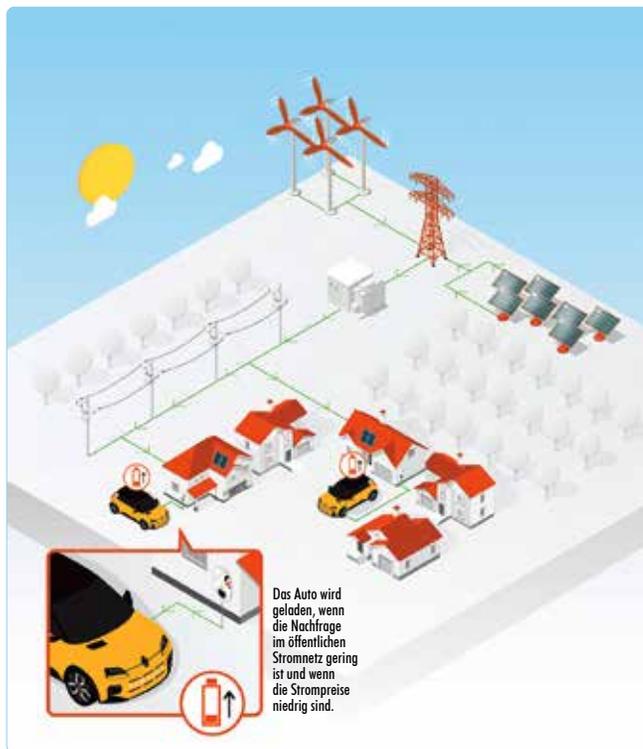
Auch dem bidirektionalen Laden von Elektrofahrzeugen (V2G) stehen in Deutschland noch diverse technische und regulatorische Hindernisse entgegen. Deshalb hat das in diesem Bereich aktive Münchner Technologieunternehmen The Mobility House Anfang

dieses Jahres den ehemaligen VW-Konzernchef Herbert Diess engagiert: Mit seinem guten Draht in die Politik und Wirtschaft soll er erreichen, dass der systemdienliche Einsatz der mobilen Batterien analog zu den stationären Speichern von (doppelten) Netzentgelten befreit und die technische Kommunikation mit den Stromnetzbetreibern vereinfacht wird. Wenn es so weit ist, soll sich netzdienliches Laden auch für die E-Auto-Fahrer auszahlen, verspricht Diess: Der Ladestrom werde für sie dann kostenlos sein.

Fazit

Auch wenn die Wärme- und Verkehrswende erst in Ansätzen sichtbar werden, sind die erforderlichen Konzepte und Technologien für ein gekoppeltes, regeneratives Energiesystem prinzipiell vorhanden. Sobald die Rahmenbedingungen stimmen, könnte es also auch mit den noch fehlenden drei Vierteln der Energiewende schnell vorangehen. ◀

Bidirektionales Laden und das Zusammenspiel mit dem Stromnetz



Bidirektional laden mit dem R5: Die vom Ladeinfrastrukturanbieter The Mobility House gemeinsam mit der Renault-Tochter Mobilize entwickelte V2G-Technologie wird zuerst in Frankreich und (ab 2025) in Großbritannien angeboten. In Deutschland ist ein Einsatz wegen technischer und regulatorischer Hürden derzeit noch nicht absehbar.

Quelle: Renault



Weitere Teile der EAM-Serie zur Energiewende:

► Folge 1: Primärenergie (Elektroautomobil Ausgabe 06/2023)

► Folge 2: Netzausbau (Elektroautomobil Ausgabe 01/2024)

► Folge 3: Wasser und Wind (Elektroautomobil Ausgabe 02/2024)

► Folge 4: Batteriespeicher für grünen Strom (Elektroautomobil Ausgabe 03/2024)

► Folge 5: Wasserstoff (Elektroautomobil Ausgabe 04/2024)

► Folge 6: Atomkraft ja bitte? (Elektroautomobil Ausgabe 05/2024)