

Deutschlands Energielandschaft bei vollständiger Elektrifizierung des Verkehrs

Einleitung und Fragestellung

Die **vollständige Umstellung aller Fahrzeuge in Deutschland auf batterieelektrischen Antrieb (BEV)** hätte weitreichende Folgen für Strombedarf, Netz und Energieerzeugung. In dieser Analyse wird untersucht, **wie Deutschlands Energielandschaft aussehen würde, wenn alle Fahrzeuge elektrisch betrieben würden**, und zwar unter Berücksichtigung von drei Zeitpunkten:

- **Stand 2024:** Aktuelle Situation des Stromnetzes und Fahrzeugbestands (Ist-Zustand).
- **Prognose 2025:** Erste Ausbaustufen und Maßnahmen in naher Zukunft.
- **Perspektive 2030:** Geplante Ziele und Machbarkeit im Rahmen der Energiewende.

Untersucht werden der *zusätzliche Strombedarf* durch eine vollständige Elektrifizierung des Verkehrs, die *Belastbarkeit des heutigen Stromnetzes*, erforderliche *Netzmodernisierungen und Lastmanagement*, die *Flächenverfügbarkeit für erneuerbare Energien* (Wind, Solar, Wasserkraft, Biomasse – **ohne Kernenergie**) zur Deckung des Mehrbedarfs sowie Unterschiede zwischen den **Stromerzeugungstechnologien** hinsichtlich Flächennutzung, Ausbaupotenzial und realistischer Zielerreichung. Die Analyse stützt sich auf wissenschaftliche und offizielle Quellen (u.a. Fraunhofer ISE, Agora Energiewende, Umweltbundesamt (UBA), Bundesnetzagentur (BNetzA), Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) und **International Energy Agency (IEA)**) und wird durch Tabellen und Abbildungen veranschaulicht. Die Sprache ist fachlich fundiert, aber allgemein verständlich.

Strommehrbedarf durch vollständige E-Mobilität

Ein zentrales Ergebnis vorab: Wenn **alle derzeit rund 45 Millionen Pkw in Deutschland elektrisch fahren würden**, ergäbe sich ein zusätzlicher jährlicher Strombedarf von *gut 100 Terawattstunden (TWh)*. Dieser Wert basiert auf der aktuellen Pkw-Flotte und durchschnittlicher Fahrleistung und entspricht etwa **einem Sechstel des derzeitigen Jahresstromverbrauchs** in Deutschland. Anders ausgedrückt: Eine komplett elektrische Pkw-Flotte würde rund 100 TWh pro Jahr benötigen – das entspricht ca. *15–20% des heutigen deutschen Bruttostromverbrauchs*.

Diese Abschätzung lässt sich nachvollziehen: In Deutschland sind 2024 etwa **49 Millionen Kraftfahrzeuge** zugelassen, davon ca. 47 Millionen Pkw **【2†】** . Die durchschnittliche Jahresfahrleistung eines Pkw liegt bei rund **13.000–14.000 km** . Nimmt man einen spezifischen Verbrauch von etwa **15–20 kWh pro 100 km** an (ein realistischer Durchschnittswert für E-Pkw), so ergibt sich pro Fahrzeug ein Strombedarf um 2.0–2.5 MWh pro Jahr. Multipliziert mit ~45 Mio. Pkw ergibt das etwa **100–110 TWh**. Dieser Wert deckt sich mit der genannten Schätzung des Bundesumweltministeriums .

Zusätzlich zu den Pkw müsste man jedoch **leichte Nutzfahrzeuge und Lkw** berücksichtigen, wenn tatsächlich *alle* Straßenfahrzeuge elektrifiziert wären. Schwerere Nutzfahrzeuge haben einen deutlich höheren Verbrauch pro km und oft höhere Fahrleistungen. Entsprechende Szenarien zeigen, dass **elektrische Lkw und Busse weitere zig TWh Bedarf verursachen**. Eine BMWK-Studie beziffert z.B. den Stromverbrauch für **schwere Lkw** bei einem ambitionierten E-Mobilitäts-Szenario 2030 auf rund *17 TWh*, für **leichte Nutzfahrzeuge** auf *7 TWh*, zusätzlich ~5 TWh für E-Busse und Zweiräder . Für eine vollständig elektrifizierte Lkw-Flotte (inklusive Fernverkehr) bis 2030 wäre der Bedarf noch höher – grobe Abschätzungen gehen von **~50–80 TWh** für Lkw und Busse aus, falls auch diese komplett elektrisch würden. Zusammen mit den Pkw ergibt sich somit ein *gesamtverkehrlicher Strombedarf* von **etwa 150–180 TWh pro Jahr**, sollte der gesamte Straßenverkehr auf Batterie-Elektroantriebe umgestellt sein. Das entspricht ungefähr **25–30% des aktuellen Stromverbrauchs** in Deutschland. Zum Vergleich: 2023 wurden in Deutschland etwa *273 TWh Strom aus erneuerbaren Energien* erzeugt – die Größenordnung des zusätzlichen Bedarfs einer elektrischen Komplett-Flotte liegt also im Bereich von einigen Dutzend Prozent der heutigen Stromproduktion.

Derzeit (2024) ist der tatsächliche Stromverbrauch durch Elektromobilität jedoch noch gering. In Deutschland waren Anfang 2024 erst ca. **1,4 Millionen vollelektrische Pkw** zugelassen (knapp 3% des Pkw-Bestands) **【2†】** . Selbst unter Einbeziehung von Plug-in-Hybriden (PHEV) macht die Elektromobilität aktuell weniger als 5% der Fahrzeugflotte aus. Der bisherige zusätzliche Stromverbrauch ist folglich marginal: Bei angenommenen ~2.0 MWh pro E-Pkw ergibt sich aktuell ein Verbrauch von rund **2–3 TWh** für alle E-Pkw – weniger als 0,5% des Gesamtstromverbrauchs. Dieser Wert ist so gering, dass er statistisch kaum ins Gewicht fällt. **Bis 2025** dürfte die E-Fahrzeugzahl jedoch deutlich steigen (erwartet vielleicht 2–3 Mio. BEV), was dann etwa 5–7 TWh Bedarf entspräche. Für **2030** hat die Bundesregierung das Ziel von *~15 Millionen E-Pkw* ausgegeben . Unter dieser Annahme läge der Strombedarf der dann aktiven Elektroautos bei grob **50–70 TWh** jährlich (exklusive Lkw) . Diese Zunahme ist bereits in Prognosen zum Bruttostromverbrauch 2030 berücksichtigt: Eine Szenariostudie prognostiziert +68 TWh durch Elektromobilität bis 2030 (davon 44 TWh Pkw, 7 TWh Lieferwagen, 17 TWh Lkw) . **Abbildung 1** veranschaulicht diesen zusätzlichen Bedarf im Vergleich zur historisch gewachsenen Ökostromerzeugung.

Abbildung 1: Wachstum der erneuerbaren Stromerzeugung in Deutschland seit 2000 (gelbe Linie, Summe aus Wind, Solar, Biomasse, Wasserkraft) im Vergleich zu den potenziellen Verbrauchswerten für eine vollelektrische Fahrzeugflotte. Die grau gestrichelte Linie (~100 TWh) markiert den jährlichen Mehrbedarf, wenn alle Pkw elektrisch fahren würden .

Die rote gestrichelte Linie (~170 TWh) zeigt den geschätzten Bedarf, wenn alle Straßenfahrzeuge (Pkw **und** Nutzfahrzeuge) elektrisch wären. Zum Vergleich: Die Ökostrom-Erzeugung stieg von 2000 bis 2023 um über 200 TWh.

Datengrundlage: Bundesumweltministerium (BMUV) für E-Mobilitäts-Szenario ; UBA/BNNetzA für Ökostrom 2019–2023 ; eigene Berechnungen.

Deckung des Mehrbedarfs durch das heutige Stromsystem (Stand 2024)

Die Frage, **ob das heutige Stromnetz den zusätzlichen Bedarf von ~100+ TWh bewältigen könnte**, lässt sich in zwei Teilen betrachten: (1) *Erzeugungsseite*: Kann genügend Strom produziert bzw. bereitgestellt werden? (2) *Netzseite*: Können die Stromnetze diese Mehrbelastung transportieren und verteilen?

Erzeugungskapazität: 100 TWh entsprechen rund 16–18% des aktuellen Bruttostromverbrauchs (ca. 550–600 TWh/Jahr). Rein rechnerisch wurde 2019 bereits 244 TWh Ökostrom erzeugt – also mehr als doppelt so viel wie der Bedarf einer kompletten E-Pkw-Flotte. Anders formuliert: Würde man einen Sechstel des heutigen Stromverbrauchs zusätzlich benötigen, könnte dies grundsätzlich durch eine Kombination aus vorhandenen Kraftwerken, *erneuerbaren Energien* und ggf. Importen gedeckt werden. Im Jahr 2022 etwa lag die gesamte Stromerzeugung in Deutschland bei ~507–514 TWh. Weitere 100 TWh hätten rein bilanziell durch Hochfahren derzeit stillliegender oder gedrosselter Kraftwerkskapazitäten oder vermehrte Stromimporte erbracht werden können. Die Versorgungssicherheit wäre also **nicht unmittelbar gefährdet**, auch wenn kurzfristig v.a. konventionelle Kraftwerke (Kohle, Gas) einspringen müssten, da die Erneuerbaren diesen Mehrbedarf 2024 noch nicht vollständig decken könnten.

Das **Übertragungsnetz (Hoch- und Höchstspannung)** ist laut Experten bereits heute in der Lage, deutlich höhere Strommengen zu transportieren, als durch eine „massive“ Verbreitung von E-Autos anfallen würden. Die vier deutschen Übertragungsnetzbetreiber berücksichtigen den Hochlauf der Elektromobilität in ihren Netzentwicklungsplänen; bisher sehen sie keine unlösbaren Engpässe auf Transportebene. **Engpässe können jedoch in den regionalen und lokalen Verteilnetzen** auftreten: Diese *örtlichen Stromnetze* (Mittel- und Niederspannung) sind für die Verteilung an Haushalte und Ladepunkte zuständig und könnten durch gleichzeitiges Laden vieler Fahrzeuge überlastet werden. Aktuell sind in einer typischen Wohnsiedlung Ladeanschlüsse für E-Autos noch die Ausnahme – das heutige Netz verkraftet die wenigen Ladestellen problemlos. Wenn aber *plötzlich alle Haushalte* abends ein E-Auto mit z.B. 11 kW laden wollten, stießen viele Ortsnetze an ihre Grenzen. Dieses **Phänomen der Gleichzeitigkeit** kennt man auch in anderen Bereichen: Würden etwa alle Bewohner einer

Stadt exakt um 18 Uhr gleichzeitig alle Elektrogeräte einschalten, kämen selbst robuste Netze an ihre Limitierung .

Fazit für 2024: Das heutige Stromsystem könnte eine vollständige Elektrifizierung des Verkehrs *nur mit Anpassungen* verkraften. Bilanziell ist genügend Erzeugungsleistung vorhanden, um 100+ TWh zusätzlich bereitzustellen – kurzfristig überwiegend über fossile Kraftwerke, perspektivisch über den Ausbau erneuerbarer Energien. Das **Stromnetz** als Ganzes würde nicht „zusammenbrechen“, jedoch müssten regionale Engpässe vermieden werden. Bereits jetzt zeigen Feldversuche und Demonstrationsprojekte, dass *gesteuertes Laden* von Elektroautos funktioniert und Lastspitzen glätten kann . Insgesamt lautet die „**gute Botschaft**“, dass auch ein schnellerer Durchbruch der Elektromobilität handhabbar ist: „*Auch wenn sich die Elektromobilität schneller als geplant durchsetzt, sind genug erneuerbare Energien vorhanden, um die Fahrzeuge damit anzutreiben.*“ – Voraussetzung ist allerdings, dass das Netz *intelligenter* und schließlich auch **ausgebaut** wird, insbesondere auf Verteilnetzebene.

Notwendige Netzmodernisierungen und Lastmanagement (2025–2030)

Um das Szenario *vollständige E-Mobilität* realisieren zu können – sei es 2030, 2040 oder später – bedarf es in den kommenden Jahren gezielter **Netzmodernisierungen und eines smarten Lastmanagements**. Bereits bis **2025** stehen erste Schritte an: Die Zahl der E-Fahrzeuge wächst (voraussichtlich auf einige Millionen), und damit steigt die *lokale* Last in manchen Stadtteilen oder Gewerbegebieten. Netzbetreiber beginnen daher jetzt, **örtliche Trafos und Leitungen zu verstärken**, wo absehbar viele Ladestationen installiert werden. Gleichzeitig setzen Regulierer und Politik verstärkt auf *intelligente Ladelösungen*: Neue private Wallboxen werden **nur noch gefördert, wenn sie steuerbar (fernregelbar)** sind . Dies schafft die technische Grundlage für *Lastmanagement*, bei dem Ladevorgänge zeitlich koordiniert werden können. Schon heute erlaubt z.B. die Norm **ISO 15118** die Kommunikation, um netzdienliches Laden zu ermöglichen . Praktisch könnte das heißen: Der E-Autofahrer gibt per App an, dass sein Fahrzeug bis morgens 7 Uhr geladen sein soll – das intelligente Ladesystem verteilt den tatsächlichen Ladebeginn dann innerhalb der Nachtstunden so, dass das Netz optimal ausgelastet wird . **Bis 2025** dürften solche Lösungen in Pilotprojekten erprobt und in ersten Regionen im Einsatz sein. Insgesamt wird erwartet, dass die Netze den Ausbau auf einige Millionen E-Autos *bis Mitte der 2020er* mit überschaubaren Maßnahmen verkraften: „*Sie werden nicht zusammenbrechen*“, so Dr. Patrick Jochem vom DLR, **selbst wenn 7–10 Millionen E-Autos bis 2030 kommen** .

Richtung **2030** – bei zweistelligem Millionen-Bestand an E-Pkw – müssen **Lastmanagement und Netzverstärkung flächendeckender umgesetzt** sein. Laut BDEW sind zwar *Übertragungsnetze und Kraftwerkskapazitäten* ausreichend dimensioniert für die Elektromobilität, doch *in den Verteilnetzen* besteht Handlungsbedarf . Der Schlüssel liegt

darin, die erwähnte Gleichzeitigkeit des Ladens zu entschärfen. Regulatorisch wird hierzu ab 2024 eine sogenannte **Spitzenglättung** vorbereitet: Netzbetreiber sollen bei drohender Überlast temporär die Ladeleistung vieler Wallboxen geringfügig absenken dürfen, um die Lastspitze zu kappen – im Gegenzug erhalten die Nutzer günstigere Netzentgelte. Ergänzend werden **zeitvariable Stromtarife** diskutiert, die Anreize schaffen, *nachts oder bei hoher EE-Einspeisung* zu laden.

Darüber hinaus könnten **E-Fahrzeuge selbst künftig als Netzstabilisatoren dienen**: Unter dem Stichwort *Vehicle-to-Grid (V2G)* oder bidirektionales Laden können angeschlossene E-Autos überschüssigen Strom aufnehmen und bei Bedarf wieder abgeben. Bis 2030 dürfte V2G zwar noch keine große Rolle spielen, aber pilotweise könnte es eingesetzt werden, um z.B. bei vielen gleichzeitig ladenden Fahrzeugen einzelne Batterien kurzzeitig als Puffer zu nutzen.

Netzausbau: Neben dem smarten Management lässt sich ein physischer **Netzausbau nicht komplett vermeiden**. Insbesondere in Niederspannungsnetzen werden *dickere Kabel und größere Ortsnetztransformatoren* nötig sein, um dauerhaft höhere Grundlasten (z.B. viele Ladegeräte in Wohnvierteln) tragen zu können. Ebenso müssen **öffentliche Schnellladestationen** angebunden werden – an Autobahnen etwa entstehen High-Power-Charger (150–300 kW pro Ladepunkt), die oft an Mittelspannungsnetze angeschlossen werden müssen. Hierfür planen Netzbetreiber bereits jetzt Kapazitäten ein. Die **Bundesnetzagentur** und die **Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur** arbeiten mit Szenarien, welche Leistungsbedarfe die Netze 2030 und 2035 durch den Hochlauf der Elektromobilität bewältigen müssen. Bis 2030 ist z.B. in Szenarien von einer *gleichzeitigen Last von ~5–8 GW* durch Pkw-Laden auszugehen – verteilt über ganz Deutschland und Zeit, so dass es handhabbar ist. Kritischer sind *lokale Ballungen*, etwa neue Wohnquartiere mit hoher E-Auto-Dichte, oder Betriebshöfe für E-Busse/Lkw mit vielen Ladepunkten. Für solche Fälle werden jetzt **Netzanschlusskonzepte** erarbeitet (z.B. Bündelung von Ladeparks an eigene Mittelspannungsleitungen, Pufferspeicher vor Ort etc.). Eine Studie von Agora Verkehrswende (2024) nennt exemplarisch das **Depotladen von E-Lkw** als besondere Herausforderung: Hier können *150-kW-Lader* im Dutzend auftreten, was eine Lastmanagement-Lösung innerhalb des Depots und verstärkte Anschlüsse erfordert. Die *Einbindung der Verkehrswende in die Stromnetze* wird also zu einem zentralen Thema der kommenden Jahre. Entsprechend fordern Verbände wie der BDEW ein höheres Tempo beim Netzausbau und beschleunigte Genehmigungsverfahren, um bis 2030 Schritt zu halten.

Zusammengefasst: Das Stromnetz der Zukunft – Zieljahr 2030 – muss „**smart und strong**“ sein: Durch **intelligentes Lademanagement** sollen Lastspitzen vermieden und die vorhandene Netzkapazität optimal genutzt werden. Wo dies nicht ausreicht, wird **gezielt ausgebaut und verstärkt**. Diese Entwicklung ist integraler Bestandteil der Energiewende: Schon heute wird das Netz durch den *dezentralen und wetterabhängigen* Einspeisecharakter der erneuerbaren Energien umgebaut (Stichwort *Smart Grid*), was letztlich auch der Elektromobilität zugutekommt. Insgesamt sind Fachleute zuversichtlich, dass bis 2030 die Netzintegration von Millionen E-Fahrzeugen gelingt – **unter der Voraussetzung**, dass regulatorische Weichen (Steuerbarkeit, Tarife) und Investitionen in Netze rechtzeitig

erfolgen. Langfristig könnten Elektroautos vom „Problem“ zur *Lösung* werden, indem sie als **flexible Stromabnehmer und -speicher** agieren und somit das Netz stabilisieren helfen .

Flächenverfügbarkeit für erneuerbare Energien (ohne Kernenergie)

Der zusätzliche Strombedarf von deutlich über 100 TWh (für vollständige E-Mobilität) soll in dieser Betrachtung *ohne Kernenergie* gedeckt werden – d.h. primär durch **Windkraft, Solarenergie, Wasserkraft und Biomasse**. Eine Kernfrage ist daher: **Reichen die verfügbaren Flächen in Deutschland, um genügend erneuerbare Energieanlagen für diesen Mehrbedarf zu errichten?** Die kurze Antwort lautet: *Ja, grundsätzlich ist genügend Potenzial vorhanden*, jedoch erfordert dies einen ambitionierten Ausbau und teilweise Nutzung neuer Flächenpotenziale (z.B. Offshore-Wind, Dachflächen, Agri-Photovoltaik). Im Folgenden werden die wichtigsten Technologien hinsichtlich Flächenbedarf, Potenzial und Ausbauzielen differenziert.

Windenergie (Onshore und Offshore)

Onshore-Windkraft hat von allen erneuerbaren Stromquellen die **höchste Flächeneffizienz**. Moderne Windenergieanlagen liefern pro Fläche sehr viel Energie, da zwischen den Turbinen landwirtschaftliche Nutzung fortgesetzt werden kann. Eine Studie beziffert den *flächenbezogenen Ertrag* der Windenergie an Land mit ca. **1,43 m² pro MWh** (jährlich) . Das bedeutet: Nur ~1,4 Quadratkilometer (km²) Land sind nötig, um 1 TWh pro Jahr mit Windrädern zu erzeugen . Selbst wenn man großräumige Abstände einrechnet, bleibt der relative Flächenverbrauch gering. Der **direkte Fußabdruck** eines Windrads umfasst etwa 0,5–1 ha (Fundament, Kranstellfläche, Wege) . Beispielsweise würden **50.000 moderne Windräder** (entspricht ~200 GW installierter Leistung) etwa **400–500 km²** Boden dauerhaft belegen . Das ist weniger Fläche, als aktuelle Braunkohletagebaue in Anspruch nehmen (ca. 230 km²) und geringer als die Parkfläche aller in Deutschland zugelassenen Pkw (geschätzt 648 km²) .

Der **Flächenvorbehalt** für Windenergie wird politisch durch das 2%-Ziel adressiert: Bis 2032 sollen **2% der Landesfläche** für Windkraft ausgewiesen werden. 2% von Deutschland (~7.140 km²) genügen nach Berechnungen, um rein rechnerisch über **130–230 GW** an Windleistung zu installieren – je nach Turbinengröße und Abstandsregeln. Das entspricht einem jährlichen Ertrag von grob **300–600 TWh**. Eine Studie von Fraunhofer IEE im Auftrag des BWE fand sogar ein Potenzial von ~19.000 km² (nach Abzug strenger Schutzkriterien), was bis zu **640 GW Windleistung und ~1.700 TWh Ertrag** ermöglichen würde . Diese Zahlen zeigen: **Das Windpotenzial übersteigt den Bedarf bei weitem**. Praktisch entscheidend sind Akzeptanz und Genehmigung – deshalb kommt es darauf an, die ausgewiesenen 2% Flächen

effizient zu nutzen. Die aktuellen **Ausbauziele** der Bundesregierung sind: *115 GW Onshore-Wind bis 2030* (doppelt so viel wie 2022) und *160 GW bis 2040*. Zum Vergleich: 2022 waren rund 59 GW installiert. Erreicht Deutschland 115 GW bis 2030, würde Onshore-Wind jährlich etwa 200–250 TWh liefern (je nach Windjahr) – genug, um den Strombedarf von E-Fahrzeugen mehrfach zu decken. **Offshore-Wind** (auf See) kommt als Bonus hinzu: Hier liegt das Ziel bei *30 GW bis 2030* und *70 GW bis 2045*. Offshore-Anlagen haben noch höhere Volllaststunden; 30 GW Offshore könnten ~120 TWh/Jahr erzeugen. Die Nord- und Ostsee bieten dafür ausreichend Raum, obwohl die Nutzungskonkurrenzen (Schifffahrt, Naturschutz, Fischerei) berücksichtigt werden müssen. Offshore-Wind benötigt keine Inlandsfläche, entlastet also die Landnutzung.

Zwischenfazit Fläche Wind: Um zusätzliche 100 TWh für E-Mobilität bereitzustellen, müsste man theoretisch nur ~**150 km² Land** mit modernen Windparks nutzen. Das entspricht z.B. einem Areal von 12 km × 12 km – verschwindend wenig im Bundesmaßstab. Selbst wenn man Abstände mitrechnet (2% Flächenziel), ist das problemlos machbar. Die Herausforderung bei der Windenergie liegt weniger in der physischen Flächenverfügbarkeit als in **Genehmigungsverfahren, Artenschutz und Akzeptanz**. Hier wurden zuletzt Maßnahmen ergriffen (Beschleunigungspakete, einheitliche Abstandsregeln, finanzielle Beteiligung von Kommunen), um den Ausbau zu fördern.

Solarenergie (Photovoltaik)

Photovoltaik (PV) weist einen deutlich höheren Flächenbedarf pro erzeugter Einheit Strom auf als Wind, ist dafür aber flexibler einsetzbar (z.B. auf Dächern, Lärmschutzwänden, Deponien). Der *Flächenertrag* einer PV-Freiflächenanlage liegt bei rund **20–22 m² pro MWh** jährlich – das heißt etwa **22 km² pro TWh**. 100 TWh per PV würden also ca. *2.200 km²* an PV-Modulen erfordern (entspricht ~0,6% der Landesfläche). Allerdings bietet PV den Vorteil, dass **Dachflächen** und bereits versiegelte Flächen genutzt werden können, wodurch kein neues Land beansprucht wird. Eine Analyse beziffert das technische PV-Potenzial in Deutschland bis 2050 auf ca. **415 GW_p** (Gigawatt Peak) installierte Leistung. Davon entfallen etwa *⅔ auf Dächer* (Ost/West- und Süddächer) und *⅓ auf Freiflächen*. 415 GW_p könnten pro Jahr in der Größenordnung 400 TWh erzeugen (bei ~950 kWh/kW_pa). Der **Flächenbedarf** dafür wird wie folgt aufgeschlüsselt: Etwa *17% der geeigneten Dächer* müssten mit PV belegt werden, plus ca. **2.800 km² Freiflächenanlagen**. 2.800 km² sind rund 0,8% der Bundesfläche – zum Vergleich: die Verkehrs- und Siedlungsflächen in Deutschland umfassen ~50.000 km²; allein *18.000 km²* werden heute schon für Energiepflanzenanbau (Biomasse) verwendet. Ein Teil dieser Äcker könnte durch PV-Anlagen ersetzt werden, was mehr Energie pro Fläche liefern und gleichzeitig der Natur sogar nützen würde (Agri-PV-Konzepte ermöglichen Doppelnutzung und erhöhen die Biodiversität).

Die **Ausbauziele für PV** sind ebenfalls ehrgeizig: *215 GW bis 2030* (mehr als Verdreifachung gegenüber ~70 GW 2022). Das impliziert ab 2026 jährliche Zubauraten von >15 GW. Erreicht Deutschland 215 GW PV in 2030, wäre eine jährliche Erzeugung von etwa

215–250 TWh möglich – wiederum deutlich über dem „E-Auto-Mehrbedarf“. Davon soll möglichst viel auf *Dächer und integrierte Flächen* entfallen, um Landschaftskonflikte zu minimieren. Dennoch wird ein Zubau von *Freiflächen-PV* in der Größenordnung von einigen Tausend Hektar bis 2030 nötig sein. Zum Glück sind solche Flächen verfügbar: 2.800 km² PV-Feldanlagen entsprechen z.B. **17% der bestehenden Verkehrsflächen** (Straßenränder, Konversionsflächen usw.) . Innovative Ansätze wie **Agri-Photovoltaik** (PV auf landwirtschaftlichen Flächen mit gleichzeitiger Bewirtschaftung) und **schwimmende PV** auf Seen können zusätzliches Potenzial erschließen, ohne „grüne Wiese“ zu verbrauchen.

Zwischenfazit Fläche PV: Für 100 TWh zusätzlichen PV-Strom wären ca. 0,5–0,6% der Landesfläche nötig, was im Rahmen der vorhandenen Potentialflächen liegt. Politisch wird ohnehin ein Vielfaches davon bis 2050 angestrebt (siehe 415 GW_p Szenario). Die größeren Herausforderungen bei PV sind das Erreichen der notwendigen *Installationsraten*, die Fachkräfte- und Materialverfügbarkeit sowie die Netzintegration (denn PV erzeugt vor allem tagsüber Strom, der mit dem Verbrauch – auch dem von E-Autos – synchronisiert werden muss). Hier können E-Autos aber helfen, indem sie **überschüssigen Solarstrom mittags aufnehmen** (z.B. Laden am Arbeitsplatz oder zu Hause mit PV-Anlage) .

Biomasse und Wasserkraft

Bioenergie (Biogasanlagen, Holzkraftwerke, Biokraftstoffe) spielt derzeit eine nennenswerte Rolle (2022: ~45 TWh Strom aus Biomasse) , ist aber ausbaubegrenzt. Biomasse hat einen enorm hohen **Flächenbedarf pro MWh**: Je nach Kultur und Umwandlung sind *400–500 m² pro MWh* notwendig . Das heißt pro 1 TWh etwa **442 km²** (!) an Energiepflanzenfelder . Um 100 TWh via Biomasse bereitzustellen, müsste man fast *12–13% der Fläche Deutschlands* mit Mais, Raps etc. bebauen – völlig unrealistisch und ökologisch nicht vertretbar. Im Gegenteil ist geplant, den **Biomasseinsatz eher zu fokussieren** (weg von Strom, hin zu Bioenergie für chemische Rohstoffe oder als Reserve). Die 18.000 km², die heute für Energiepflanzen genutzt werden, könnten teilweise frei werden für naturverträglichere Nutzungen oder eben effizientere Photovoltaik . Biomasse wird perspektivisch hauptsächlich eine **ergänzende Rolle** spielen – z.B. Biogas als regelbare Reserveleistung bei Dunkelflaute – aber nicht zur Deckung großer Mehrverbräuche wie E-Mobilität dienen.

Wasserkraft ist in Deutschland ein begrenzter Posten (~20 TWh/a, hauptsächlich Laufwasserkraftwerke in Bayern und Baden-Württemberg) . Die Ausbaumöglichkeiten sind weitgehend ausgeschöpft, größere neue Stauseen sind weder geographisch noch ökologisch sinnvoll. Kleinere Repowering-Maßnahmen können die Erträge leicht erhöhen, aber insgesamt bleibt Wasserkraft konstant und trägt nur ~3–4% zur Stromerzeugung bei. Für unseren Kontext kann Wasserkraft daher kaum zusätzliche Lasten schultern. Allerdings bietet *Pumpspeicher* Potenzial für die Netzstabilität, was indirekt das Laden von E-Fahrzeugen unterstützen kann.

Geothermie und sonstige Erneuerbare (Wellen, Gezeiten etc.) sind in Deutschland ebenfalls Nischen mit geringem Beitrag bis 2030.

Ausbaupotenzial und Zielerreichung bis 2024/2025/2030

Schauen wir abschließend noch auf die zeitliche Komponente der erneuerbaren Expansion in Bezug auf die drei betrachteten Jahre:

- **2024 (Ist-Zustand):** Nach dem Atomausstieg 2023 decken erneuerbare Energien derzeit etwa *50% des Stromverbrauchs*. 2023 wurden ~273 TWh aus EE erzeugt, 2024 voraussichtlich ~275 TWh. Die installierte Kapazität lag Ende 2022 bei rund 66 GW Wind (davon 8 GW Offshore) und 68 GW PV. Biomasse und Wasserkraft liefern zusammen ~65 TWh stabil. Die aktuelle Ausbaugeschwindigkeit ist noch unter den erforderlichen Pfaden (2022 wurden z.B. ~7 GW PV und <2 GW Wind zugebaut). Dennoch: **Rein energetisch produzierten die Erneuerbaren 2023 schon mehr Strom (273 TWh) als für alle E-Pkw nötig wäre (~100 TWh)**. Das Problem ist eher, dass dieser Ökostrom heute bereits anderweitig verbraucht wird – d.h. um E-Autos zusätzlich zu versorgen, muss entweder mehr EE-Strom erzeugt oder fossiler Strom verdrängt werden. Aktuell wird bei Strommehrbedarf meist auf fossile Kraftwerke zurückgegriffen. Für 2024 steht die sichere Versorgung aber außer Frage; es besteht eher die Herausforderung, im Zuge der Verkehrswende den **EE-Ausbau drastisch zu beschleunigen**, um die zusätzliche Nachfrage klimaneutral zu bedienen.
- **2025 (erste Prognose):** Bis 2025 sollen laut Regierungsplänen ca. 115 GW PV und 80 GW Wind installiert sein (Zwischenetappen der Ausbaupfade). Ob diese Ziele ganz erreicht werden, ist ungewiss – Stand 2023 klafft noch eine Lücke. Dennoch erwartet man bis 2025 spürbare Zuwächse: Wind onshore könnte ~80–100 TWh (2022: 58 TWh) liefern, Solar ~80 TWh (2022: 48 TWh) – zusammen kämen die Erneuerbaren dann auf ~300 TWh/a. Das würde bereits **den Großteil des bis 2025 entstehenden EV-Ladestrombedarfs** decken können, zumindest bilanziell. Faktisch wird es eine Übergangsphase geben, in der auch noch fossiler Strom genutzt wird, um neue Verbraucher zu versorgen. Wichtig für 2025 ist vor allem, dass **Strukturen geschaffen sind**: ausgewiesene Windflächen, beschleunigte Genehmigungen, genügend Handwerker für PV, Netzanbindungen für Offshore-Windparks, Produktionskapazitäten für Solarmodule und Windräder etc. Erste **Flaschenhälse** (etwa Trafo-Lieferzeiten, Fachkräftemangel) werden sichtbar, doch Gegenmaßnahmen (Förderprogramme, Vereinfachungen) laufen an.
- **2030 (Ziele und Machbarkeit):** Die Bundesregierung hat sich das **Ziel 80% erneuerbarer Strom bis 2030** gesetzt. Bei einem angenommenen Bruttostromverbrauch von ~680 TWh (laut Prognos-Szenario) müssten davon ~544 TWh erneuerbar sein. Die genannten Kapazitätsziele von 115 GW Wind-Onshore, 30 GW Offshore, 215 GW PV würden in Summe tatsächlich in dieser Größenordnung Strom erzeugen (geschätzt 500–600 TWh/a). **Die zusätzlichen 70 TWh für E-Mobilität bis 2030** (bei ~15 Mio. E-Pkw + Anteil E-Lkw) wären darin bereits enthalten. Mit anderen Worten: Erreicht Deutschland seine Ausbauziele, *kann der Strombedarf durch Elektromobilität bis 2030 erneuerbar gedeckt werden*. Die Herausforderung ist hier klar die Umsetzung – aktuell (Stand 2024) ist ungewiss, ob die installierten Kapazitäten tatsächlich rechtzeitig erreicht werden (z.B. müsste die

PV-Installation jährlich verdreifacht werden). **Realistische Zielerreichung:** Verschiedene Studien bescheinigen Deutschland jedoch, dass seine 2030-Ziele zumindest *nahe an einem 1,5°-Klimapfad* liegen – d.h., die geplanten ~400 GW Wind+Solar bis 2030 sind ambitioniert, aber notwendig und im internationalen Vergleich vorbildlich. Die Flächenfrage dürfte bis 2030 noch keine absolute Limitierung darstellen, da 2% Windfläche und <3% PV-Fläche ausreichend sind und diese Prozentsätze bis dahin nicht voll ausgeschöpft sein werden (es dauert, bis Flächenziele zu realen Anlagen werden). Wichtiger ist die öffentliche Akzeptanz: Hier gibt es positive Entwicklungen, z.B. mehr Bürgerbeteiligung an Windparks, gleichzeitig aber auch nach wie vor lokale Widerstände.

Ohne Kernenergie ist die Aufgabe also machbar, wenn auch anspruchsvoll. Deutschland hat durch den Kernenergieausstieg gezeigt, dass es ~75 TWh pro Jahr Kernkraft innerhalb weniger Jahre durch andere Quellen ersetzen kann (überwiegend EE und etwas mehr Kohle/Gas als Brücke). Für ~100–150 TWh E-Mobilitätsstrom braucht es vor allem **mehr Wind- und Solaranlagen**. Die benötigten Flächen sind im Verhältnis zu anderen Nutzungen klein: Selbst *bei vollständiger Elektrifizierung des Verkehrs würde der zusätzlich benötigte Ökostrom nur wenige Prozent der Landesfläche erfordern*, was durch Effizienzsteigerungen, Repowering und intelligente Flächennutzung (Dach-PV, Agri-PV, Offshore) erreicht werden kann. Eine Gegenüberstellung typischer spezifischer Flächenbedarfe zeigt **Tabelle 1**:

Technologie	Stromertrag pro Fläche	Fläche für 1 TWh/Jahr
Onshore-Wind	~700 GWh pro km ² (jährlich)	~1,4 km ²
Photovoltaik (FFA)	~45 GWh pro km ² (jährlich)	~22 km ²
Biomasse (Energiepfl.)	~2–3 GWh pro km ² (jährlich)	~442 km ²

Tabelle 1: Ungefähre Flächeneffizienz verschiedener erneuerbarer Stromquellen. Windkraft an Land benötigt *sehr wenig* Fläche pro erzeugter Energie (die meiste Fläche unter den Rotoren bleibt nutzbar). PV-Freiflächenanlagen haben einen mittleren Flächenbedarf – große Teile der Fläche können aber z.B. weiterhin als Grünland dienen. Biomasse ist extrem flächenintensiv und daher für die Bereitstellung großer Strommengen ungeeignet.

Schlussfolgerung

Die hypothetische Umstellung **aller Fahrzeuge auf elektrische Antriebe** würde den jährlichen Strombedarf Deutschlands um etwa **20–30%** erhöhen. Dies stellt die Energiewirtschaft vor erhebliche Herausforderungen, ist jedoch **mit den Mitteln der Energiewende grundsätzlich zu bewältigen**. Wichtigste Voraussetzungen sind:

- Ein **massiver Ausbau der erneuerbaren Energien**, insbesondere von Wind- und Solarenergie, um den zusätzlichen Verbrauch klimaneutral zu decken. Die Ausbauziele für 2030 (ca. 400 GW Wind+PV) würden genügend Ökostrom liefern, um auch die Elektromobilität zu versorgen. Flächen sind ausreichend vorhanden, wenn 2% der Landesfläche für Wind und <3% für PV genutzt werden – ein Wert, der

politisch bereits vorgesehen ist und deutlich unter der derzeitigen Landnutzung für fossile Energieträger (z.B. Kohleabbau) liegt .

- Ein **intelligentes, robustes Stromnetz**, das Lastspitzen managt und lokal verstärkt wird. Die heutige Netzstruktur kann den Einstieg in die Elektromobilität bereits tragen, muss aber bis 2030 zum *Smart Grid* weiterentwickelt werden . Lastmanagement durch gesteuertes Laden ist der Schlüssel, um die *Gleichzeitigkeit* des Ladens zu entzerren und die Netzbelastung zu glätten . Feldversuche haben die Machbarkeit netzdienlichen Ladens gezeigt ; die nächsten Jahre gilt es, dies zum Standard zu machen (Stichwort: steuerbare Wallboxen, dynamische Tarife). Erst wo Steuerung nicht ausreicht, muss gezielt Netzausbau erfolgen – dieser ist aber ohnehin Teil der fortschreitenden Energiewende.
- Eine **systemische Planung** der Sektorkopplung: Verkehr, Wärme und Industrie werden in Zukunft vermehrt Strom nutzen. Im Szenario 2030 steigen diese gekoppelten Verbräuche auf ca. 105 TWh (Verkehr) bzw. insgesamt 658 TWh Bruttostrom . Dies erfordert koordinierte Maßnahmen, um gleichzeitig die *Klimaziele* zu erreichen. So muss der Hochlauf der E-Mobilität Hand in Hand gehen mit dem Kohleausstieg (bis spätestens 2038) und dem Aufbau von Speicher- und Wasserstoffkapazitäten, sodass zu jeder Zeit genug *grüner Strom* verfügbar ist.

Insgesamt zeichnen Studien ein lösbares Bild: „*Mit einem zusätzlichen Strombedarf von 105,5 TWh für den Verkehrssektor steigt der Stromverbrauch bis 2030 deutlich an und entspricht ca. 20% des aktuellen Verbrauchs... Dieses Mehr an Strom **muss** durch einen zügigen Ausbau der erneuerbaren Energien gedeckt werden.*“ . Die Flächen- und Ressourcenbasis hierfür ist vorhanden – Deutschland muss jedoch beim **Tempo** zulegen, um die gesteckten Ziele zu erreichen. Gelingt dies, so kann eine vollelektrische Fahrzeugflotte nicht nur klimafreundlich betrieben, sondern sogar zum integralen Bestandteil des zukünftigen Energiesystems werden (Stichwort: Fahrzeuge als Speicher).

Fazit: Deutschlands Energielandschaft mit ausschließlich elektrisch betriebenen Fahrzeugen ist prinzipiell *machbar*, erfordert aber einen konsequenten Ausbau der Erneuerbaren und eine Modernisierung der Netzinfrastruktur. Das heutige System könnte einen solchen Wandel nicht *ad hoc* stemmen, aber die Weichen sind gestellt, dass bis 2030 ein großer Teil des Weges zurückgelegt wird. Ohne Kernenergie zu berücksichtigen, müssen Wind, Sonne & Co. die Mehrlast schultern – doch sowohl technische Potenziale (Fläche, Leistung) als auch politische Zielmarken zeigen, dass dies erreichbar ist. Entscheidend sind Umsetzung und Gesellschaftsakzeptanz. Gelingt der Schulterschluss zwischen Energie- und Verkehrswende, wird Deutschland in der Lage sein, Millionen von Elektrofahrzeugen mit sauberem Strom zu versorgen, **ohne die Lichter ausgehen zu lassen** – im Gegenteil: Die Lichter werden dank Smart Grids und Speicher intelligenter denn je leuchten.

Quellenverzeichnis

1. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV): „*Strombedarf und Netze: Ist das Stromnetz fit für die*

- Elektromobilität?* – FAQ-Beitrag, 2020. [Online] (Strombedarf von ~100 TWh für 45 Mio. E-Pkw; Einschätzung zu EE-Verfügbarkeit und Smart Grids).
2. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) / Prognos, Öko-Institut, Fraunhofer ISI: *“Entwicklung des Bruttostromverbrauchs bis 2030”* – Szenariobericht, 2022. [Online] (Aufschlüsselung der 2030er-Strombedarfe: +68 TWh durch Verkehr; davon 44 TWh Pkw, 7 TWh leichte NFZ, 17 TWh schwere NFZ).
 3. BDEW (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft): *“Verteilnetze unter Spannung – Elektromobilität”*, Online-Magazin „zweitausend50“, 7.5.2021 . (Faktencheck zu Mythen – Experteneinschätzungen: Übertragungsnetz verkraftet E-Auto-Last; Verteilnetz-Probleme lösbar durch Lastmanagement).
 4. Agora Verkehrswende / Agora Energiewende / RAP: *“Netzanschluss für den Straßenverkehr – Herausforderungen und Empfehlungen für eine schnelle Integration von Ladeinfrastruktur”*, Bericht Juni 2024 . (Anwendungsfälle 2030, Ladeleistungen, Notwendigkeit beschleunigter Netzanschlüsse insbesondere für E-Lkw-Depots).
 5. Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende (KNE): *“Flächeneffizienz erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung”* – FAQ-Beitrag, 2023 . (Angaben zum Flächenbedarf pro MWh: Wind ~1,43 m²/MWh; PV ~22 m²/MWh; Biomasse ~442 m²/MWh – entspricht Tabelle 1).
 6. Clean Energy Wire: *“Germany’s wind and solar 2030 targets almost compatible with 1.5°C limit – report”*, 23.09.2024 . (Nennung der aktuellen Ausbauziele 2030: 215 GW Solar, 115 GW Onshore-Wind, 30 GW Offshore-Wind; Einordnung international).
 7. Thomas Rinneberg in *energiewende.eu*: *“Flächenbedarf der Energiewende in Deutschland – Ein Vergleich”*, 2021 . (Vergleichende Berechnungen: Landbedarf Windräder vs. Braunkohleabbau vs. parkende Autos; PV: 415 GW_p -> ~8392 km², davon 2800 km² Freifläche + 17% der Dachflächen; 18.000 km² für Energiepflanzen aktuell).
 8. acatech (Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, AG 5): *“Energiewirtschaftliche Auswirkungen der Sektorkopplung – Energiebedarfe Verkehr 2030”*, Bericht 2021 . (Ergebnisse: +105,5 TWh Strombedarf Verkehr bis 2030 = ~20% des aktuellen Verbrauchs; Forderung nach erneuerbarem Ausbau für diesen Mehrbedarf).
 9. UBA – Umweltbundesamt: *Datenbank Erneuerbare Energien in Zahlen*, 2023 . (Erneuerbare Stromerzeugung 2023: 273,2 TWh, Anstieg ggü. Vorjahr; ca. 50% Anteil).
 10. Eigene Berechnungen basierend auf Daten der vom Nutzer bereitgestellten Dateien (u.a. KBA-Fahrzeugstatistik und BMWK-Energiestatistik) **【2†】** . (Verifikation der Fahrzeugzahlen und Fahrleistungen; Herleitung Durchschnittsverbrauch und Gesamtfahrleistung).