

Kurz-Metastudie zur Stellungnahme Szenariorahmen NEP 2040/2045 (2027)

Stand: 8. September 2026, Fassung 2 nach Volltextprüfung

Evidenzbasis für die Stellungnahme der Bürgerinitiative die LADEFREUNDE zum Szenariorahmenentwurf NEP 2040/2045 (2027), Anlage 1 zu jenem Dokument.

Was dieses Dokument ist und was nicht

Dies ist eine **gezielte Evidenzsynthese zu drei Thesen**, keine systematische Übersichtsarbeit. Wir haben nicht die gesamte Literatur gesichtet, sondern für jede der drei Thesen die Arbeiten gesucht, die den höchsten Belegwert haben, und ihre Kernzahlen im Volltext geprüft.

Auswahlregel, in dieser Reihenfolge:

1. Begutachtete Fachaufsätze (peer reviewed) in Fachzeitschriften mit Herausgeberverfahren.
2. Übersichtsarbeiten, die selbst mehrere unabhängige Studien auswerten.
3. Institutsstudien mit offengelegter Methodik und veröffentlichtem Modellansatz.
4. Feldversuche mit realen Fahrzeugen und veröffentlichtem Abschlussbericht.

Ausgeschlossen: Auftragsarbeiten ohne offengelegte Methodik, Pressemitteilungen ohne zugrunde liegende Veröffentlichung, eigene Rechnungen ohne benannte Eingangsgrößen.

Was die Volltextprüfung geändert hat. Zwei Zahlen aus der ersten Fassung waren über die Fachpresse gegriffen und in dieser Form nicht haltbar:

- Die Zahl „99 auf 39 Euro je Kopf und Jahr“ ist **kein bundesweiter Durchschnitt**, sondern der Wert für den **ländlichen Raum**. Städtisch lauten die Werte 40 auf 28 Euro, halbstädtisch 52 auf 24 Euro. Außerdem weist die Studie den Investitionsbedarf aus Elektromobilität, Wärmepumpen und erneuerbaren Energien **gemeinsam** aus; eine Zurechnung allein auf die Elektromobilität hält sie ausdrücklich für methodisch nicht sinnvoll.
 - Die Prozentangabe zur Systemkostensenkung wird im Fließtext der Fraunhofer-Studie mit 12,6 % und in deren Tabelle 4 mit 8,6 % angegeben. Wir zitieren **die Tabelle**.
-

These 1: Wo direkte Elektrifizierung möglich ist, ist der Umweg über Moleküle die schlechtere Wahl

Quelle	Typ	Kernaussage	Zahlen	Prüfstand
Odenweller, Ueckerdt, Nemet, Jensterle, Luderer (2022): <i>Probabilistic feasibility space of scaling up green hydrogen supply</i> . Nature Energy 7 (9), 854–865. DOI 10.1038/s41560-022-01097-4	peer reviewed	Grüner Wasserstoff bleibt kurzfristig knapp und langfristig unsicher, selbst bei einem Kapazitätswachstum wie bei Wind und Photovoltaik	mit ≥ 75 % Wahrscheinlichkeit unter 1 % der Endenergie bis 2030 (EU) und bis 2035 (weltweit); 2040 Spannweite 3,2–11,2 % (EU) und 0,7–3,3 % (weltweit)	Autoren, Fundstelle, DOI und Abstractzahlen über das PIK-Repository geprüft
Rosenow (2022): <i>Is heating homes with hydrogen all but a pipe dream? An evidence review</i> . Joule	Übersichtsarbeit über 32 unabhängige Studien	Keine der ausgewerteten Studien sieht eine wesentliche Rolle für Wasserstoff in der Gebäudewärme	32 Studien aus Brasilien, Kalifornien, EU und Großbritannien; ausdrücklich nur Arbeiten ohne Branchenauftrag	Journalseite geprüft, Volltext offen zugänglich
Ueckerdt, Bauer, Dirnaichner, Everall, Sacchi, Luderer (2021): <i>Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation</i> . Nature Climate Change	peer reviewed	Wasserstoff und Folgeprodukte gehören in die Sektoren, die der direkten Elektrifizierung nicht zugänglich sind	Vermeidungskosten 800–1.200 €/t CO ₂ ; Wettbewerbsfähigkeit frühestens um 2040, für Anwendungen mit elektrischer Alternative zu spät	Abstract und Autorenfassung (PIK-Postprint) geprüft

Was daraus für den Szenariorahmen folgt. Die Annahme, Wasserstoff stehe „in Kraftwerken und Fernwärmenetzen jederzeit bedarfsgerecht zur Verfügung“ (S. 59), hat in der begutachteten Literatur keine Stütze und widerspricht den Feststellungen desselben Kapitels zur ausbleibenden Kostendegression und zur halbierten Projektpipeline.

These 2: Die Fahrzeugflotte ist der größte verfügbare Kurzzeitspeicher — und sie verdrängt Molekulinfrastruktur

Quelle	Typ	Kernaussage	Zahlen	Prüfstand
Xu, Behrens, Gasper, Smith, Hu, Tukker, Steubing (2023): <i>Electric vehicle batteries alone could satisfy short-term grid storage demand by as early as 2030</i> . Nature Communications 14, 119. DOI 10.1038/s41467-022-35393-0	peer reviewed	Fahrzeugbatterien allein können den Kurzzeitspeicherbedarf decken, bei niedrigen Beteiligungsquoten	technische Kapazität 32–62 TWh bis 2050 gegenüber 3,4–19,2 TWh Bedarf; nötige Beteiligung 12–43 %	Zitation über Repositorium geprüft; Zahlen aus Abstract und Fachpresse
Fraunhofer ISE und ISI (Oktober 2024): <i>Potential of a full EV-power-system-integration in Europe</i> , für Transport & Environment	Institutsstudie, Modell Enertile, Annahmen offengelegt	Bidirektionales Laden senkt die Systemkosten und verdrängt Wasserstoffkraftwerke, Elektrolyse und stationäre Speicher	siehe Kasten unten	Volltext geprüft (Tabelle 3, Tabelle 4, Kapitel 3.2.1 und 3.2.2)
Forschungsstelle für Energiewirtschaft (2023): <i>Bidirektionales Lademanagement — Abschlussbericht</i>	Feldversuch mit realen Fahrzeugen	Rückspeisung funktioniert im Alltagsbetrieb; Grundlage der Szenarien der Fraunhofer-Studie	Projektlaufzeit ab 2019, Bericht März 2023; Szenarien BDL und Sen2	Bericht öffentlich; von Fraunhofer als Quelle der Szenariodefinition benannt
e-mobil BW: <i>Potenzialanalyse bidirektionales Laden</i>	Institutsstudie	Beziffert Kapazität, Leistung und Verfügbarkeit der deutschen Fahrzeugflotte	mittlere Batterie 50 kWh (realistisch) / 70 kWh (optimistisch); 2030 rund 101 bzw. 142 GWh, 2035 rund 381 bzw. 534 GWh; Entladeleistung 11 kW je Fahrzeug; 2030 rund 22 GW, 2035 rund 86 GW	Volltext geprüft (Kapitel 1.3, Abbildungen 17–21)
Nobis, Kuhnimhof (2018): <i>Mobilität in Deutschland</i> (MiD),	amtliche Erhebung	Verfügbarkeit der Fahrzeuge für Rückspeisung	Pkw stehen 97 % der Zeit, davon 84 % am Wohnort und 7	über e-mobil BW geprüft; Primärerhebung

Quelle	Typ	Kernaussage	Zahlen	Prüfstand
zitiert nach e-mobil BW			% am Arbeitsplatz; rund 75 % parken auf privatem Grund; der Anteil gleichzeitig parkender Fahrzeuge sinkt nie unter 50 %	nicht selbst eingesehen
Agora Verkehrswende (2025): <i>Analyse Bidirektionales Laden</i>	Institutsstudie	Aktuelle Einordnung von Technik, Regulierung, Erlösen	Erlöse bis 720 €/a je nach Standzeit	Volltext geprüft

Der zentrale Befund der Fraunhofer-Studie für Deutschland

Die Studie rechnet fünf Varianten. Maßgeblich ist **Car II**: Dort sind **50 Prozent der Ladeenergie der Pkw bidirektional nutzbar** und 72 bis 84 Prozent für gesteuertes Laden; diese Anteile entsprechen dem Szenario Sen2 der FfE-Studie. Ergebnisse für **Deutschland im Jahr 2040** gegenüber dem Referenzfall mit ungesteuertem Laden:

- Die Fahrzeuge speisen **82 TWh** zurück, das sind 7 Prozent der gesamten Stromerzeugung.
- Die installierte Leistung von **Wasserstoffkraftwerken sinkt um 56 GW**.
- Die **Elektrolyseleistung sinkt um 15 GW**.
- Der Bedarf an **stationären Batteriespeichern sinkt auf 12 GWh**.

Auf EU-Ebene im selben Jahr und derselben Variante: Wasserstoffkraftwerke –108 GW, Elektrolyseure –69 GW, solarthermische Kraftwerke –61 GW, **Abregelung erneuerbarer Erzeugung –39 TWh**; die Optimierung tauscht dabei Onshore-Wind gegen Photovoltaik, weil die Fahrzeugbatterien PV-Spitzen aufnehmen.

Systemkosten EU-27 gegenüber dem Referenzfall (Tabelle 4): 2030 –9,7 Mrd. € (–5,5 %), 2040 –22,2 Mrd. € (–8,6 %) in der Variante Car II & Truck; nur Pkw (Car II): 2040 –21,3 Mrd. € (–8,3 %).

Einordnung, die wir mitliefern müssen: Der Referenzfall dieser Studie ist nicht der Szenariorahmen, das Zieljahr ist 2040 und nicht 2045, und das Modell rechnet europäisch. Die Zahlen sind deshalb kein Ersatz für eine Rechnung im NEP-Modell, sondern der Beleg dafür, dass die Größenordnung erheblich ist und dass eine solche Rechnung fehlt.

Nachrechnung für den Zeithorizont des Szenariorahmens

Der Entwurf setzt für 2045 im Pfad B **39,6 Millionen Elektro-Pkw** an (Tabelle 10) sowie Kleinbatteriespeicher mit **79,5 GW / 159 GWh** und Großbatteriespeicher mit **102,9 GW / 205,8 GWh**, zusammen **182,4 GW / 364,8 GWh** (Tabellen 24 und 25). Eine mittlere Batteriegröße der Fahrzeuge nennt er nicht.

Rechenkette, jede Stufe mit Quelle:

Stufe	Gewählter Pfad	Zurückhaltende Variante	Quelle der Annahme
Flotte 2045, Pfad B	39,6 Mio.	39,6 Mio.	Szenariorahmen, Tabelle 10
Anteil bidirektional nutzbar	50 %	35 %	Fraunhofer 2024, Variante Car II bzw. Car I 2040 (Tabelle 3)
gleichzeitig geparkt	50 %	50 %	MiD 2018: Anteil gleichzeitig parkender Fahrzeuge sinkt nie unter 50 %
gleichzeitig verfügbar	9,9 Mio.	6,9 Mio.	Produkt der Zeilen darüber
mittlere Batterie	60 kWh	60 kWh	Mittel aus 50 kWh (realistisch) und 70 kWh (optimistisch), e-mobil BW
Bruttokapazität	594 GWh	416 GWh	
Abschlag für vermiedene Tiefentladung	rund die Hälfte	rund die Hälfte	e-mobil BW: Entladung unter 20 bis 30 % Ladezustand wird vermieden
nutzbare Kapazität	rund 297 GWh	rund 208 GWh	
Entladeleistung je Fahrzeug	11 kW	11 kW	e-mobil BW: Auslegung der meisten Fahrzeuge
verfügbare Leistung	rund 109 GW	rund 76 GW	

Vergleich mit den Speicherannahmen des Entwurfs:

- Die nutzbare Kapazität des gewählten Pfades ist **knapp das Doppelte der gesamten Kleinbatteriespeicher** (159 GWh) und entspricht **gut vier Fünfteln aller im Entwurf angesetzten Batteriespeicher** (364,8 GWh).
- Die verfügbare Leistung übersteigt die **gesamte Kleinbatteriespeicherleistung** (79,5 GW) und erreicht **60 Prozent der gesamten Batteriespeicherleistung** (182,4 GW).
- Auch die zurückhaltende Variante liegt bei Kapazität und Leistung noch in der Größenordnung aller Heimspeicher zusammen.
- Verhältnis von Kapazität zu Leistung: rund 2,7 Stunden bei 11 kW Entladeleistung, rund 6 Stunden, wenn nur 5 kW je Fahrzeug abgerufen werden. Der Entwurf rechnet bei Kleinbatteriespeichern mit 2 Stunden.

Warum der 50-Prozent-Pfad belastbar ist. Die 50 Prozent stammen nicht von uns. Sie sind erstens der Anteil bidirektional nutzbarer Ladeenergie in der Variante Car II der Fraunhofer-Studie, die diesen Wert aus dem Szenario Sen2 der FfE-Studie übernimmt. Sie sind zweitens die Untergrenze des Anteils gleichzeitig parkender Fahrzeuge nach der amtlichen Mobilitätserhebung. Beide Größen sind in der Rechenkette getrennt geführt und multiplikativ verknüpft, sodass die Rechnung nicht mit „50 Prozent der Flotte speisen zurück“ arbeitet, sondern mit knapp einem Viertel.

Was diese Rechnung nicht besagt. Sie betrifft den Ausgleich innerhalb von Stunden bis zu einem Tag. Eine mehrtägige Phase mit geringer Wind- und Sonneneinspeisung ist damit nicht zu überbrücken; dafür bleibt gesicherte Leistung erforderlich. Der Punkt ist nicht, dass Fahrzeuge Kraftwerke ersetzen, sondern dass sie den verbleibenden Bedarf an gesicherter Leistung und deren Einsatzstunden verringern — in der Fraunhofer-Rechnung für Deutschland 2040 um 56 GW Wasserstoffkraftwerksleistung — und dass diese Wirkung im Entwurf mit null angesetzt ist.

These 3: Flexibilität und Digitalisierung senken den Bedarf an zusätzlicher Netzkapazität

Quelle	Typ	Kernaussage	Zahlen	Prüfstand
Navigant, Kompetenzzentrum Elektromobilität, RExpertise (2019) für Agora Verkehrswende, Agora Energiewende und RAP: <i>Verteilnetzausbau für die Energiewende — Elektromobilität im Fokus</i>	Institutsstudie	Gesteuertes Laden senkt die Verteilnetzinvestitionen und gleicht sie zwischen Stadt und Land an	jährliche Pro-Kopf-Investitionen 2015–2030 bei 15 Mio. Elektro-Pkw: Land 99 → 39 €, Halbstadt 52 → 24 €, Stadt 40 → 28 €; bei 6 Mio.: Land 61 → 33 €	Volltext der Schlussfolgerungen geprüft (Tabelle 1)
Fraunhofer ISE und ISI (2024)	Institutsstudie	Verdrängung von Speichern, Elektrolyse und Wasserstoffkraftwerken, weniger Abregelung	siehe These 2	Volltext geprüft
Xu et al. (2023)	peer reviewed	Kurzzeitspeicherbedarf ohne zusätzliche stationäre Anlagen deckbar	siehe These 2	siehe These 2

Wichtige Einschränkung zur Agora-Studie, die wir mitzitieren: Sie weist den Investitionsbedarf aus Elektromobilität, Wärmepumpen und erneuerbaren Energien gemeinsam aus und hält eine getrennte Zurechnung ausdrücklich für methodisch nicht sinnvoll. Aus den Pro-Kopf-Zahlen lässt sich außerdem keine unmittelbare Aussage über künftige Netzentgelte ableiten; das schreibt die Studie selbst.

Was daraus für den Szenariorahmen folgt. Der Entwurf lässt netzentlastendes Verhalten nur in einem von drei Pfaden zu und dort mit 25 Prozent der Haushalte, ohne diese Höhe herzuleiten. Da die Quote unmittelbar auf die berechnete Transportaufgabe wirkt, entscheidet eine nicht hergeleitete Annahme über den ausgewiesenen Bedarf an zusätzlicher Netzkapazität.

Was weiterhin offen ist

- **Deutsche, begutachtete Arbeit zur Wirkung räumlich differenzierter Preissignale auf den Netzausbaubedarf.** Für Abschnitt 8 der Stellungnahme fehlt ein Beleg mit deutschen Zahlen; wir argumentieren dort mit der allgemeinen Engpasslogik und mit der Fraunhofer-Rechnung.
- **Primärerhebung MiD.** Die Verfügbarkeitszahlen sind über e-mobil BW belegt, nicht an der Erhebung selbst geprüft.
- **Xu et al.** Zitation und Fundstelle sind geprüft, die Zahlen stammen aus Abstract und Fachpresse; der Volltext liegt hinter einer Anmeldeschranke.

Wie wir zitieren

Bei jeder übernommenen Zahl stehen Quelle, Jahr und Fundstelle. Wo eine Zahl aus einer Setzung stammt, steht das dabei. Wo eine Quelle sich selbst widerspricht, zitieren wir die Tabelle und nicht den Fließtext. Wir übernehmen keine Zahl, deren Herkunft wir nicht benennen können — auch dann nicht, wenn sie in unsere Richtung geht.