Universität Stuttgart
CZS-SRI Discursive Transformation of Energy Systems

Carl Zeiss Stiftung

DiTEnS



Wie funktionieren Strommarkt und Strompreisbildung? – Wann machen dynamische Stromtarife Sinn?

Prof. Dr.-Ing.
Kai Hufendiek
07.07.2026

IER Institut für Energiewirtschaft
und Rationelle Energieanwendung

IGTE

IEH

zirius
Zentrum für Interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung

HLRS
Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart

IER Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung

Forschungsprofil

Das IER unterstützt die Gestaltung eines zukunftsfähigen nachhaltigen Energiesystems mit seinen Teilsystemen Strom, Wärme/Kälte, Mobilität.

Dies erfolgt insbesondere durch die Bereitstellung von **modellgestützten, innovativen Ansätzen** in folgenden Feldern:

Werkzeuge für Systembetriebsoptimierung
einschließlich Energiemanagement, effiziente Energienutzung, Demand Side Integration insbesondere auch im Zusammenhang mit intelligenten Energiesystemen

Analysen von Energiemärkten
bzgl. Preisbildung, Marktmechanismen Marktdesign und Integration von Netzaspekten

Ganzheitliche, Systemanalysen
zu technologischen, ökonomischen, ökologischen, stofflichen und gesellschaftlichen Auswirkungen

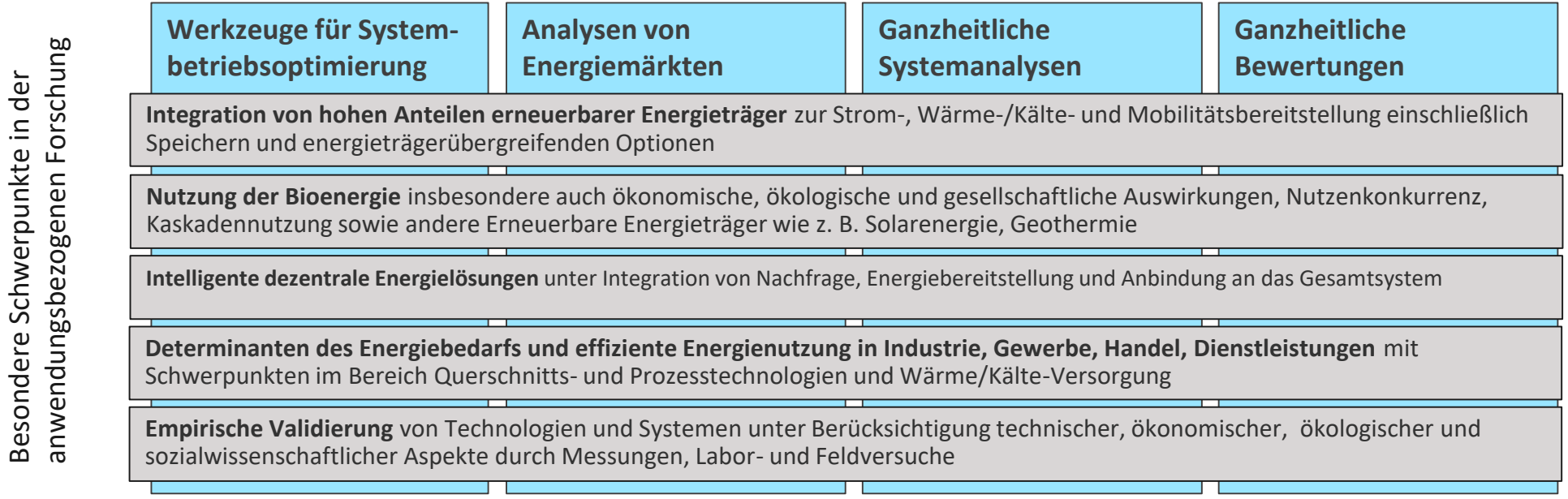
Ganzheitliche Bewertungen
von Technologien, Systemen und Maßnahmen insbesondere auch hinsichtlich Luftschadstoffen, Wirkungspfaden und externen Kosten

IER Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung

Forschungsprofil

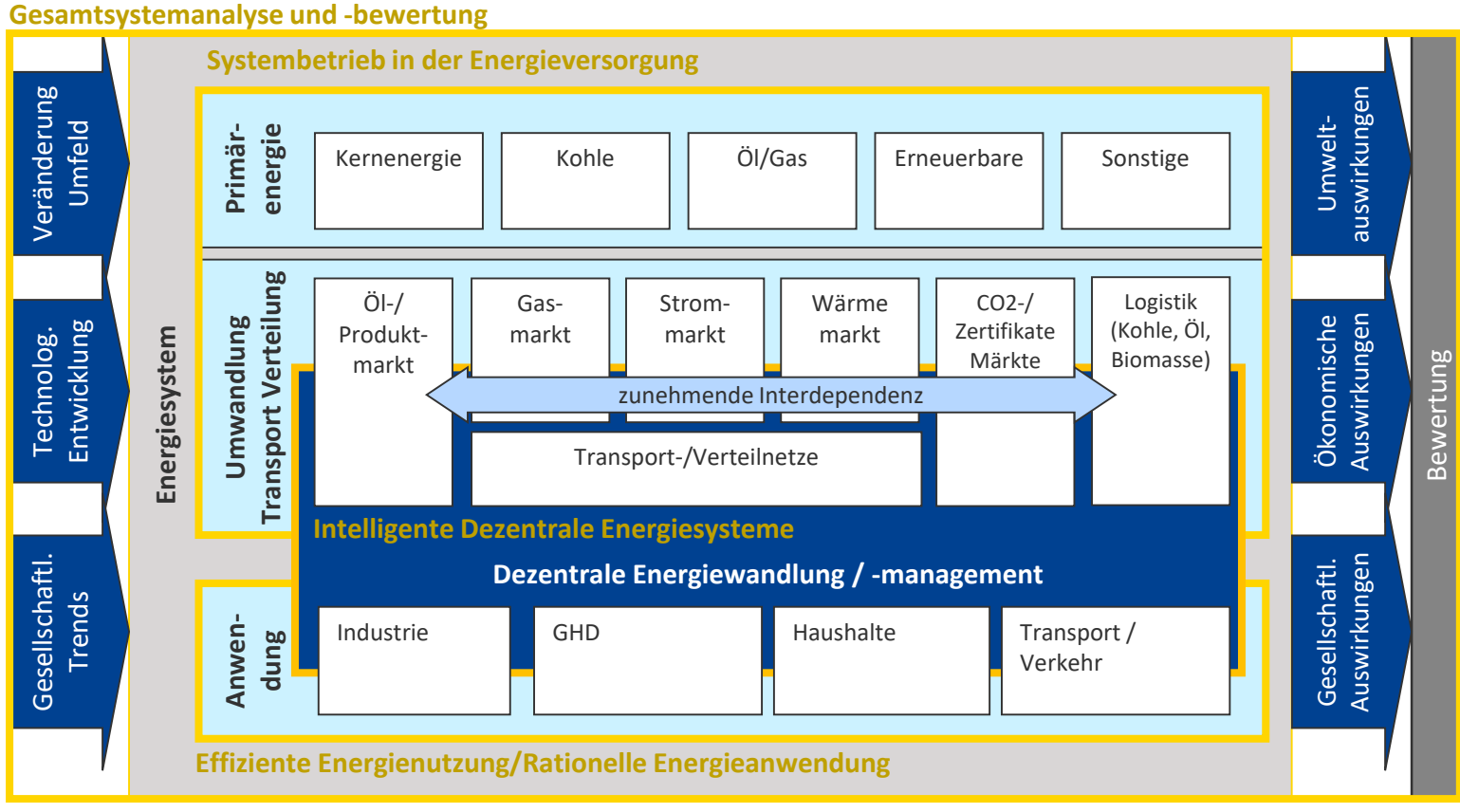
Das IER unterstützt die Gestaltung eines zukunftsfähigen nachhaltigen Energiesystems mit seinen Teilsystemen Strom, Wärme/Kälte, Mobilität.

Dies erfolgt insbesondere durch die Bereitstellung von innovativen Ansätzen in folgenden Feldern:



Einordnung der neuen Herausforderungen in das Energiesystem

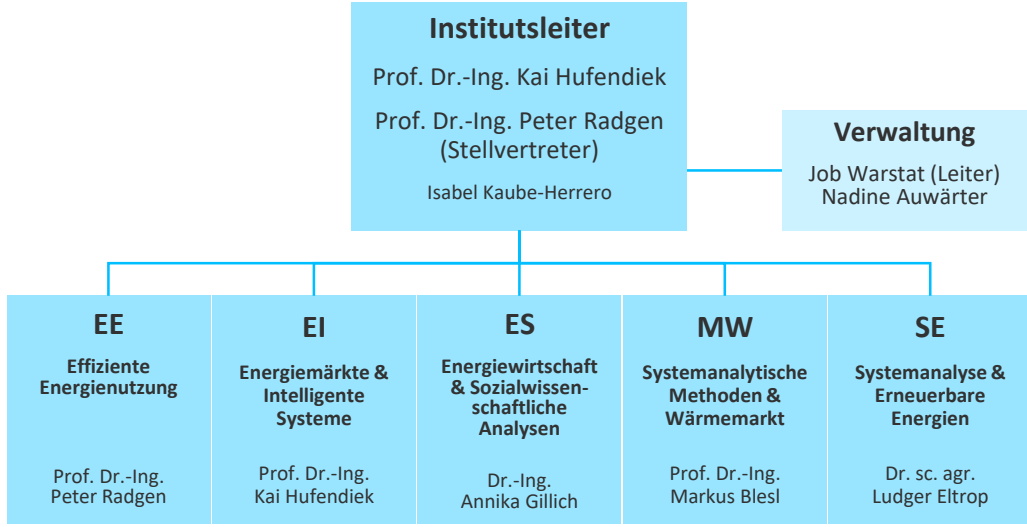
Schematische Darstellung

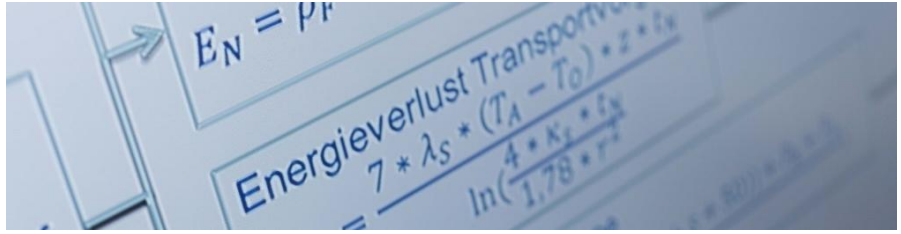


IER Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung

Lehrkörper und Organisationsstruktur

- **Institutsdirektor und Professor für Energiewirtschaft und Energiesysteme**
  Prof. Dr.-Ing. Kai Hufendiek
  gleichzeitig Leitung Abteilung Energiemärkte & Intelligente Systeme
- **Professor für Energieeffizienz in der Industrie**
  Leitung Abteilung Effiziente Energienutzung
  Prof. Dr.-Ing. Peter Radgen
- **Professor für Innovationsmanagement in Energiesystemen**
  Prof. Dr. rer. pol. Frithjof Staiß ist Direktor am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung Baden-Württemberg
- **Professor für Energiesysteme und Technologieanalyse**
  Leitung Abteilung Systemanalytische Methoden & Wärmemarkt
  apl. Prof. Dr.-Ing. Markus Blesl
- **Weitere Forschungsbereiche**
  Energiewirtschaft & Sozialwiss. Analysen – Dr.-Ing. Annika Gillich
  Systemanalyse & Erneuerbare Energien – Dr. sc. agr. Ludger Eltrop





Lösungsansatz: Dialogische Konzeptentwicklung

Gebiet im Status-Quo:
- Gebäudebestand
- Energetische Ausgangslage
- THG-Emissionen
- Lokale Potenziale
- Restriktionen
- Sozioökonomische Strukturen

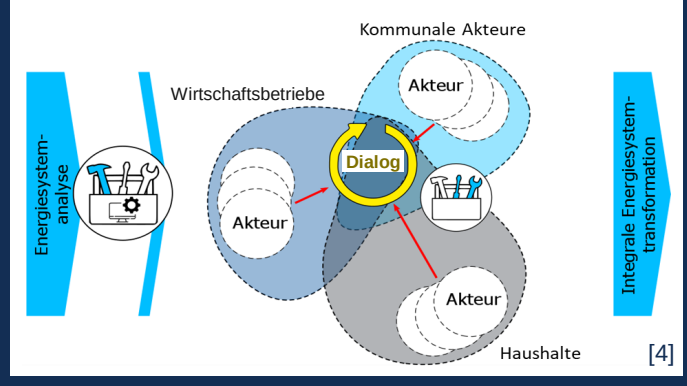
Charakterisierung durch…
…Entscheidungsstrukturen
…Vorliegen von Information

Informationslage	Entscheidungsstruktur: Top-Down	Entscheidungsstruktur: Bottom-Up
Vollständig	Hierarchische Entscheidung	Dezentral **koordinierte** u. informierte Entscheidung
Unvollständig	Hierarchische Entscheidung unter Unsicherheit	Dezentral Entscheidung unter Unsicherheit

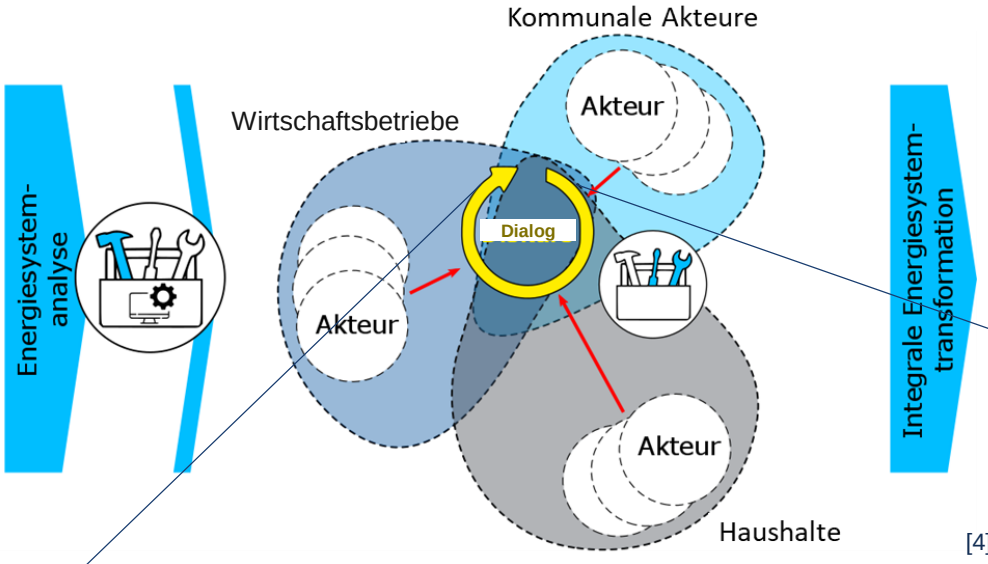


Anforderung für eine erfolgreiche Transformation eines Gebietes:
- Bottom-Up-Ansatz
- Integration entscheidungsrelevanter Einzelakteure
- Integration von implizitem Wissen
- Ermöglichen einer koordinierten Entscheidungsfindung

DiTEnS-Dialogprozess

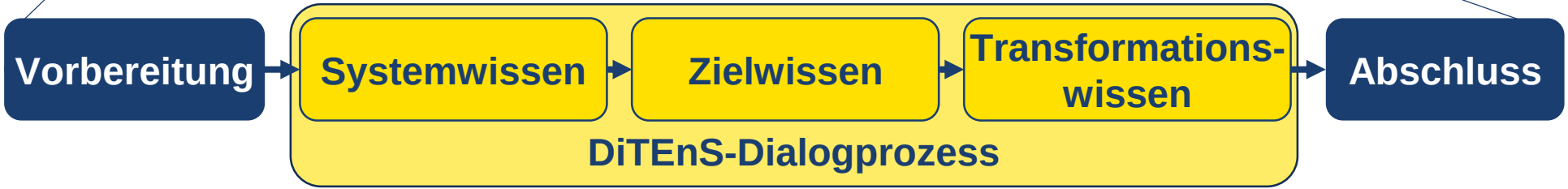


DiTEnS-Ansatz: Umsetzung dialogische Konzeptentwicklung

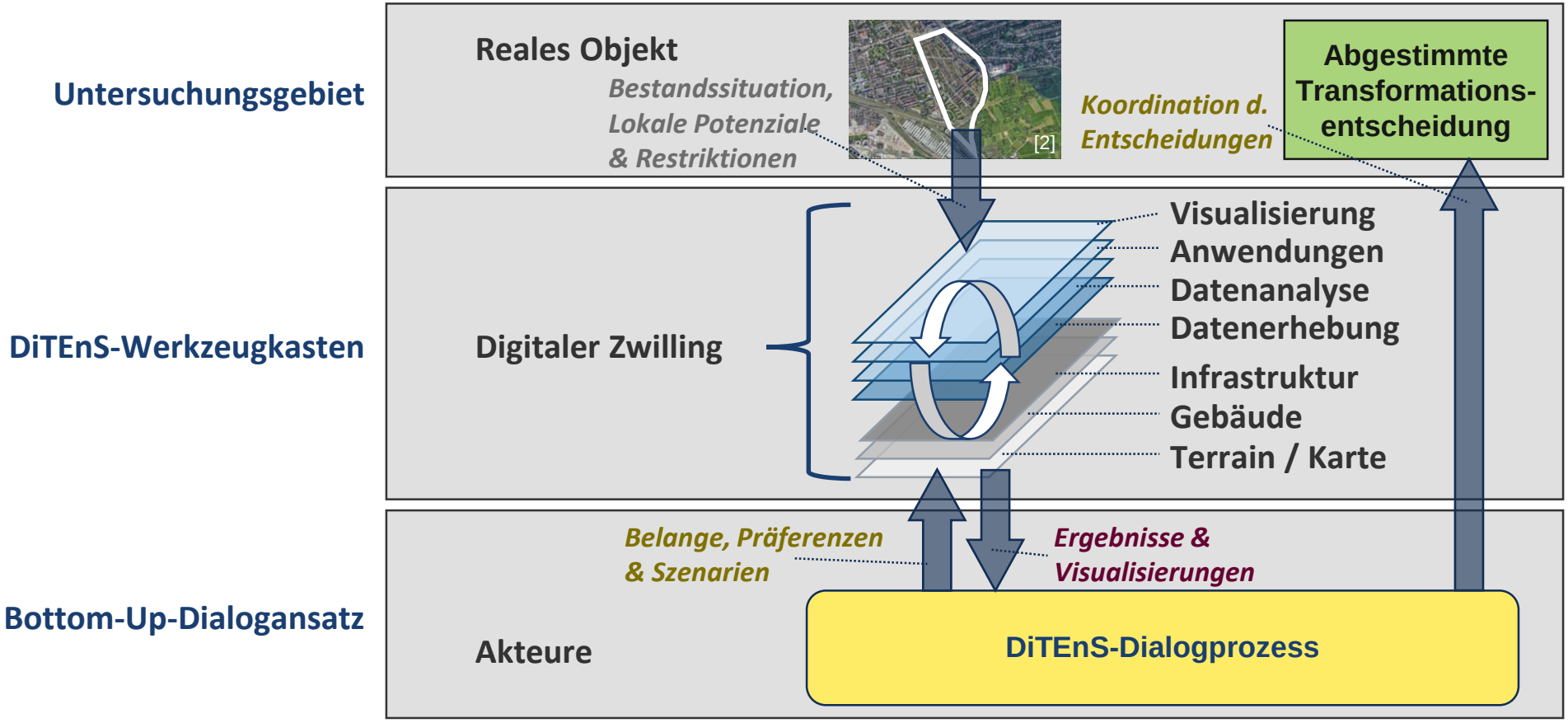


[4]

- **Transdisziplinarität:** Bottom-up-Dialogansatz für klimaneutrale Gebiete
- **Interdisziplinarität:** Verknüpfung energiewissenschaftlicher Modelle mit Visualisierung und Dialog
- **Transfer:** Umsetzung konzeptioneller Ansätze in die Praxis



DiTEnS-Werkzeugkasten als verbindendes Element



Wie funktionieren Strommarkt und Strompreisbildung? – Wann machen dynamische Stromtarife Sinn?

Agenda

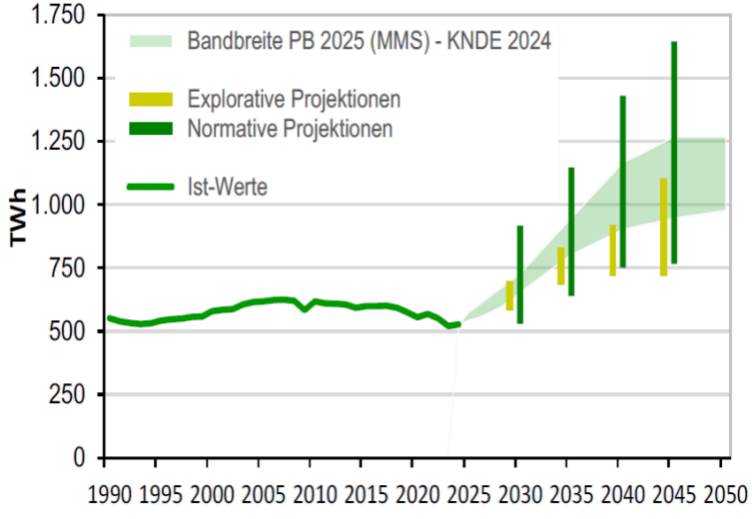
- Warum ist das Thema jetzt relevant
- Wie der Strompreis entsteht
- Warum ist steuerbare Flexibilität wertvoll
- Dynamische Tarife: Nutzen und Grenzen
- Fazit

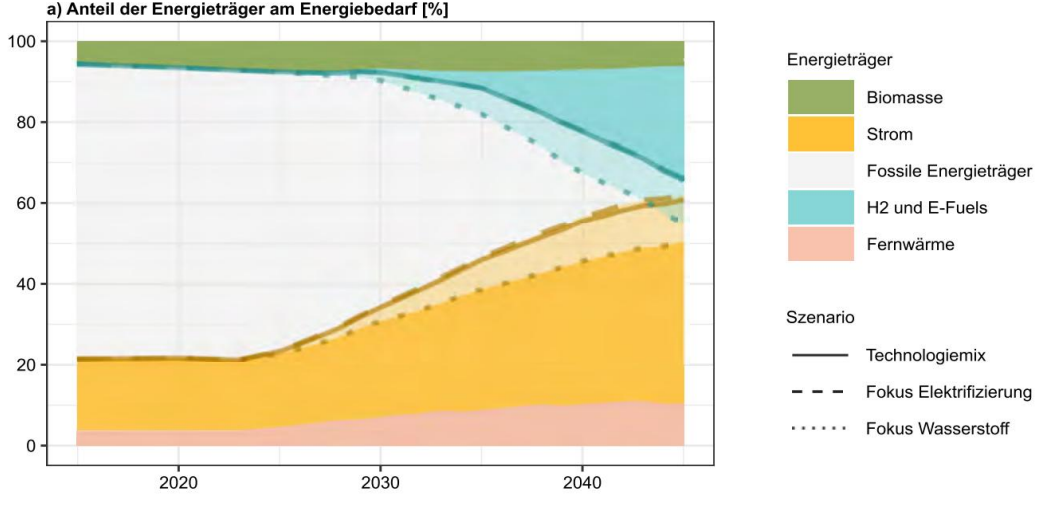
Agenda

- Warum ist das Thema jetzt relevant
- Wie der Strompreis entsteht
- Warum ist steuerbare Flexibilität wertvoll
- Dynamische Tarife: Nutzen und Grenzen
- Fazit

Strom wird wichtiger

Historische Entwicklung und Projektionen des Bruttostromverbrauchs in Deutschland



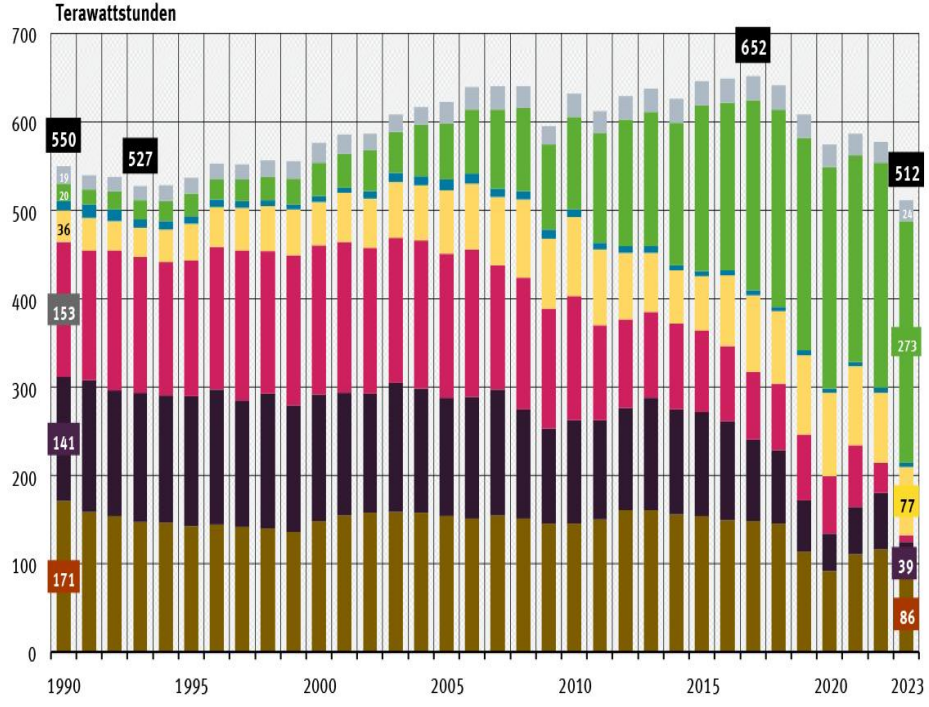


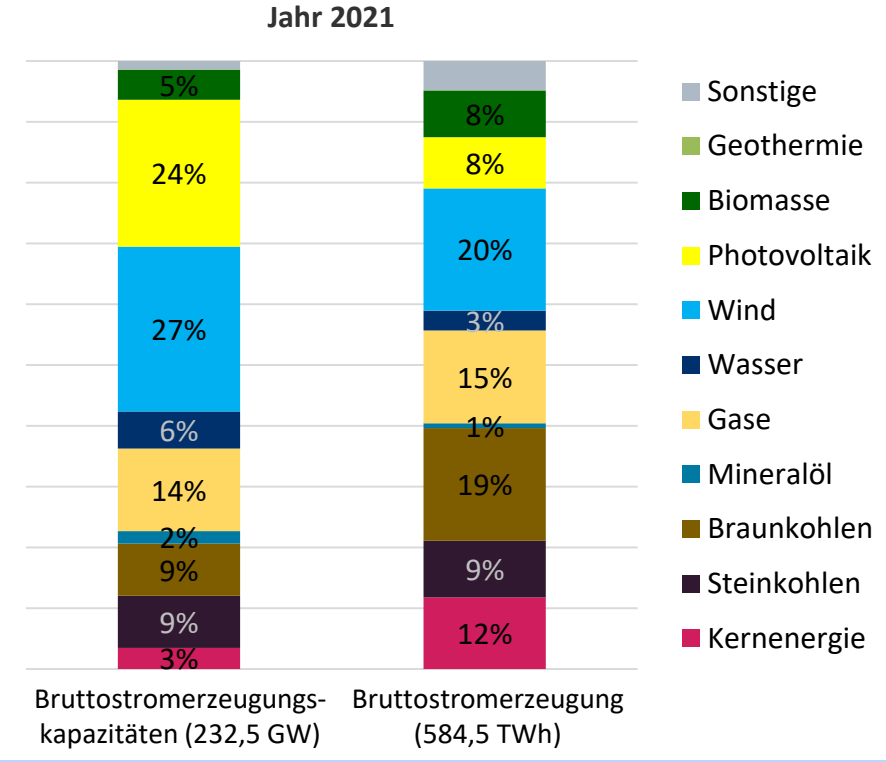
Elektrifizierung erhöht den Strombedarf deutlich. Wie stark dieser steigt, hängt aber von Effizienz, Wasserstoff-/e-Fuel-Pfaden und Industrieentwicklung ab.

Quelle: AGEB (2025b), UBA (2025), Agora (2024), EWI & BET (2025) und Berechnungen des Öko-Instituts nach Grimm (2026) bzw. Luderer et al. (2025)

Erneuerbare Energien produzieren immer wetterabhängig

Bruttostromerzeugung nach Energieträgern

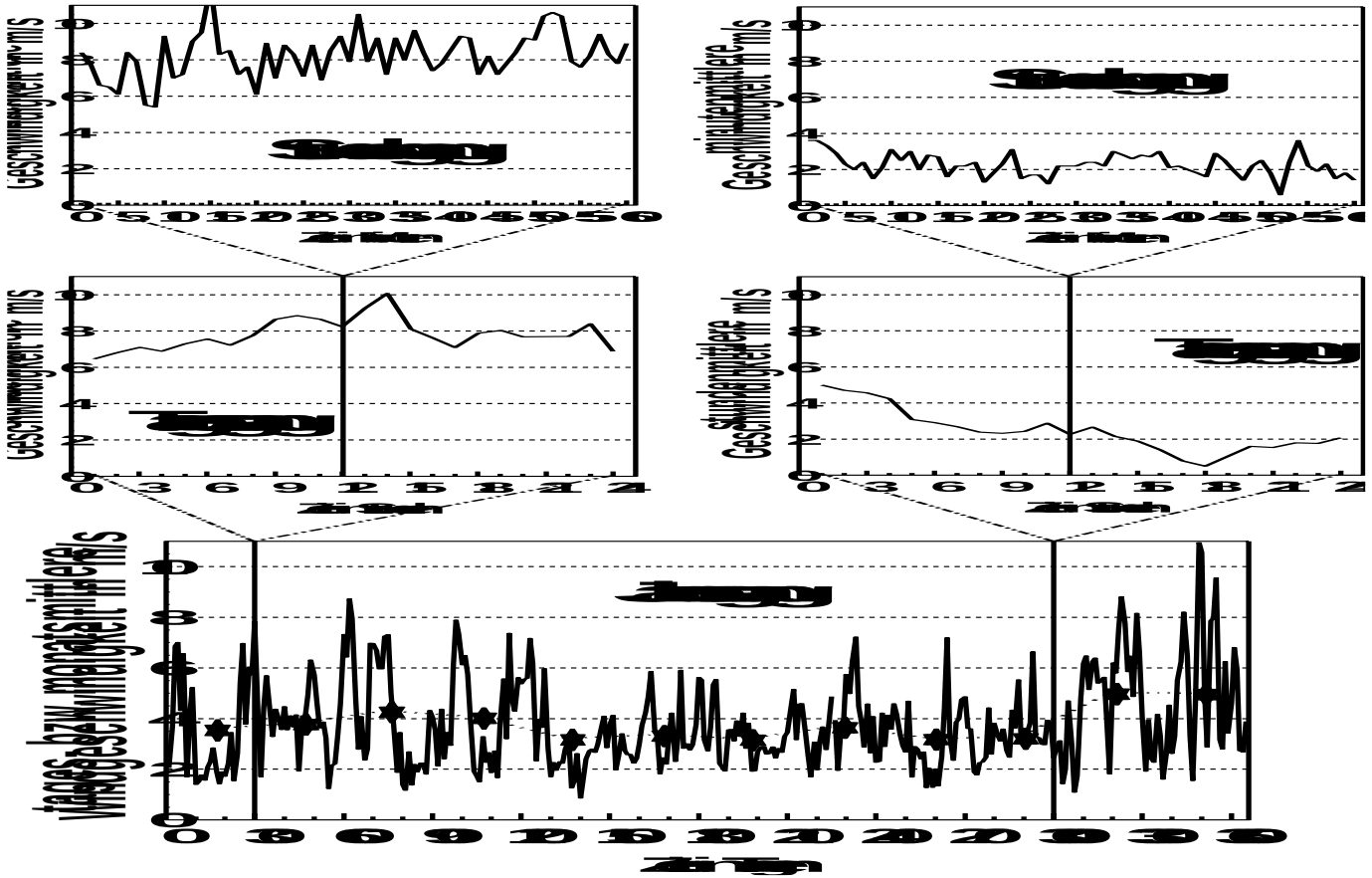




Erneuerbare Energien senken Brennstoffkosten, erhöhen aber die zeitliche Schwankung der Stromerzeugung. Dadurch wird Flexibilität systemrelevant.

Erneuerbare Energien produzieren immer wetterabhängig

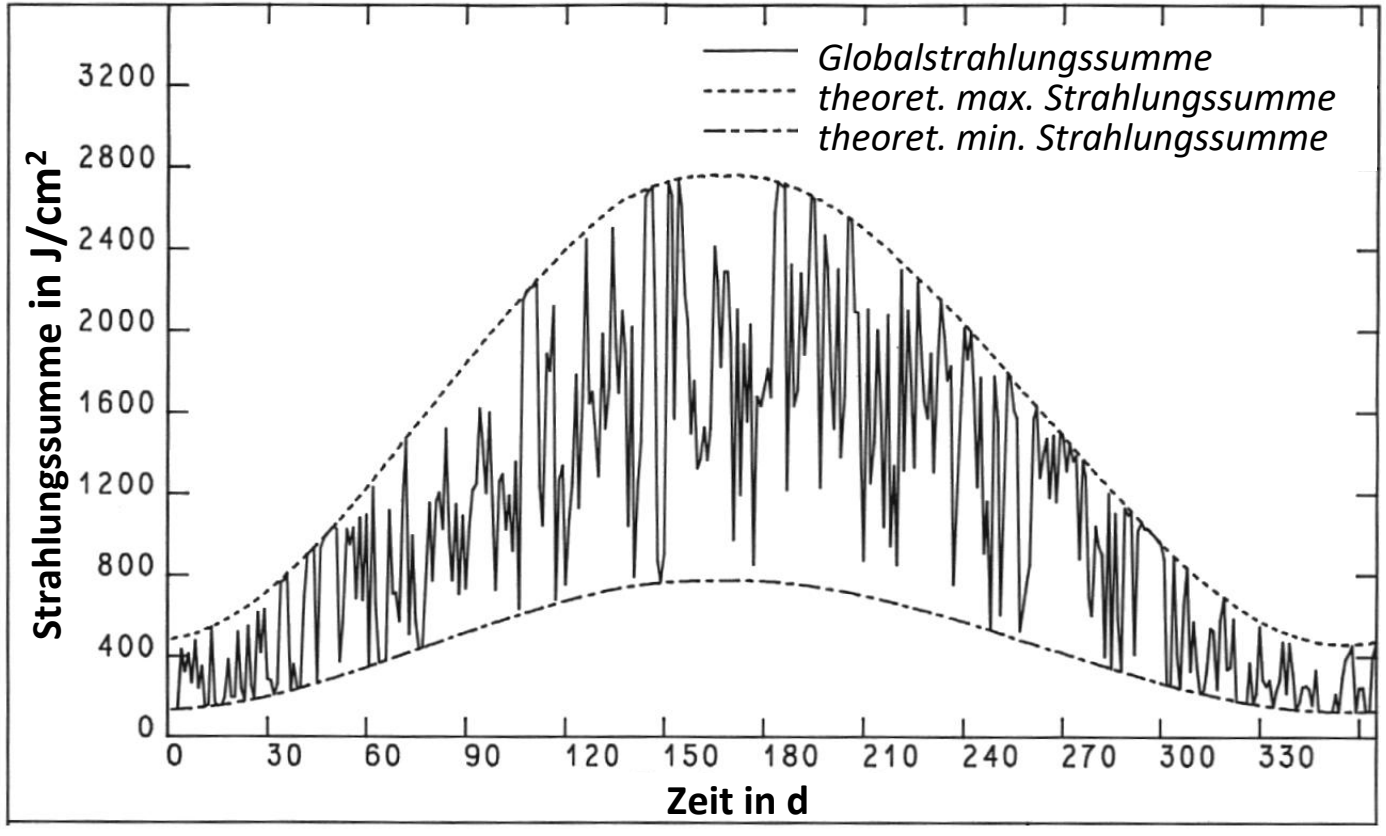
Typischer Verlauf Winddargebot



Energiegehalt des Windes ist proportional v^3 !

Erneuerbare Energien produzieren immer wetterabhängig

Typische PV-Erzeugung

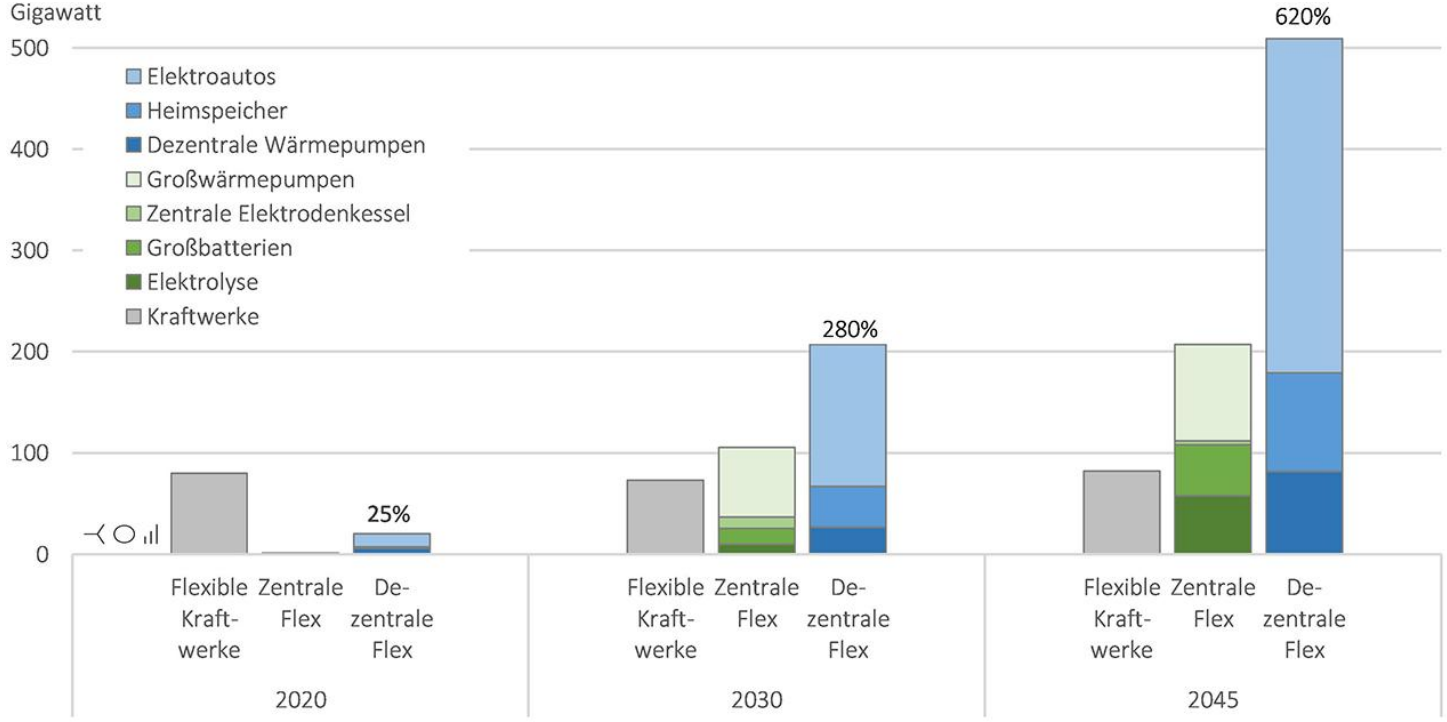


Anmerkung:
1.000 J/cm² = 2,78 kWh/m²

Quelle: Kaltschmitt et al. (2013)

Vom Stromkunden zum aktiven Energiemarkt-Akteur

Elektro-KFZ, Heimspeicher und Wärmepumpen verändern die Rolle privater Haushalte

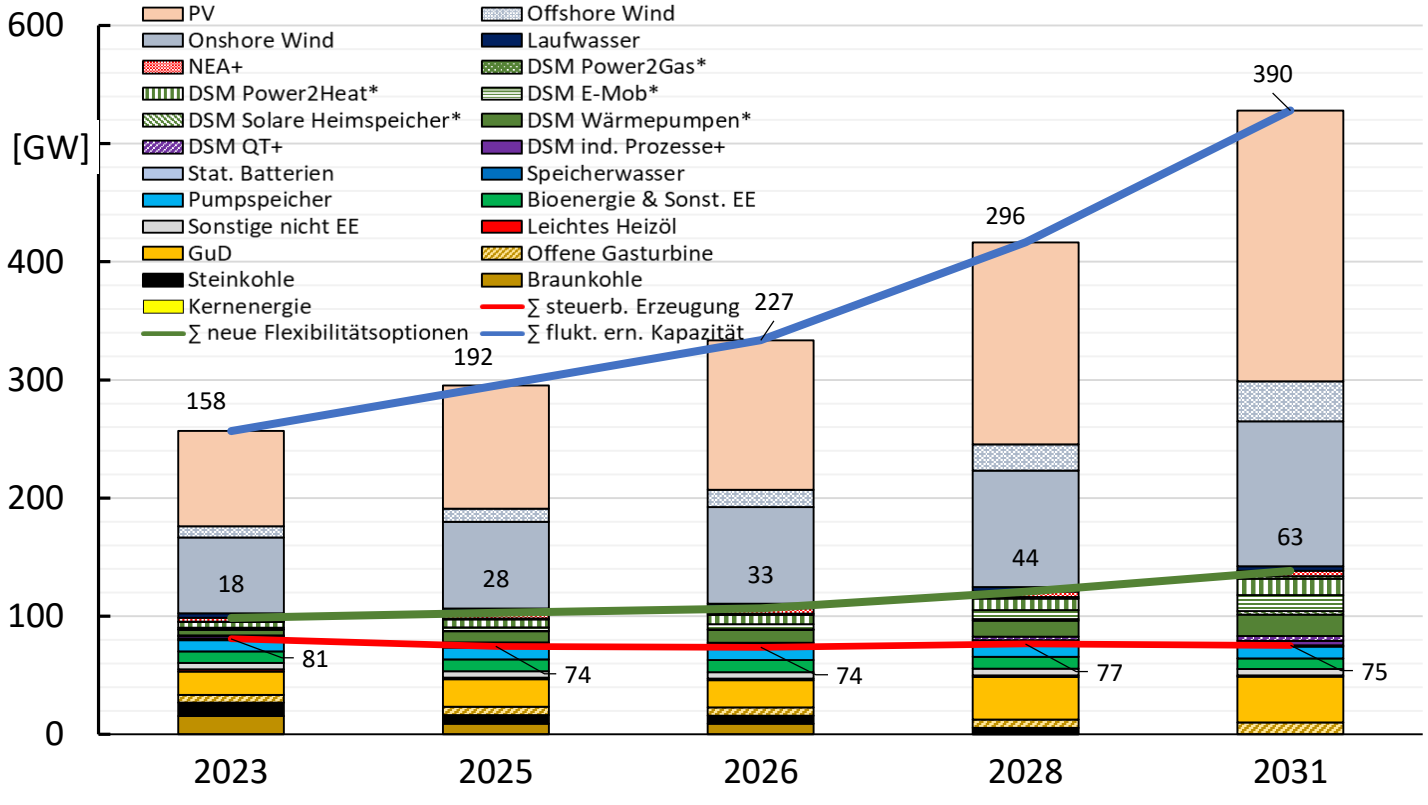


Haushalte werden zunehmend zu aktiven Akteuren im Energiesystem und verbrauchen nicht nur Strom, sondern erzeugen, speichern und verschieben ihn.

Quelle: Eicke et al. (2024)

Entwicklung der Anlagenkapazität bis 2031 im Marktgebiet DELU

Massiver Zubau Erneuerbare Energien benötigt Lastflexibilität und steuerbare Kapazität



Gutachten zur Versorgungssicherheit für die BNetzA im Jahr 2023 zeigt auch erheblichen Bedarf an steuerbarer Kapazität zusätzlich zu steuerbarer Erzeugung auf

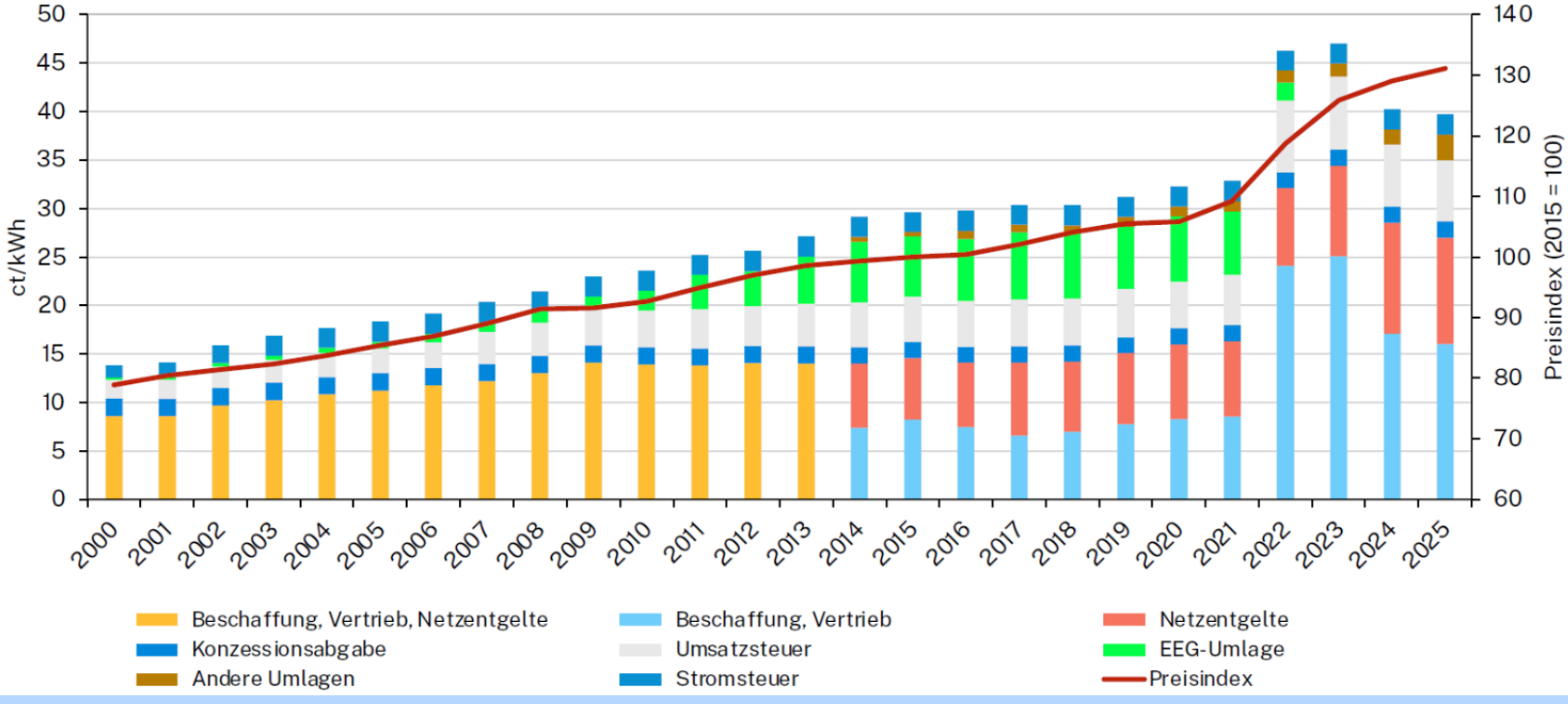
Quelle: Consentec, IER und ffe, Gutachten zur Versorgungssicherheit für die BNetzA 2023 (2022)

Agenda

- Warum ist das Thema jetzt relevant
- Wie der Strompreis entsteht
- Warum ist steuerbare Flexibilität wertvoll
- Dynamische Tarife: Nutzen und Grenzen
- Versuch einer Einordnung für Botnang

Haushaltsstrompreis

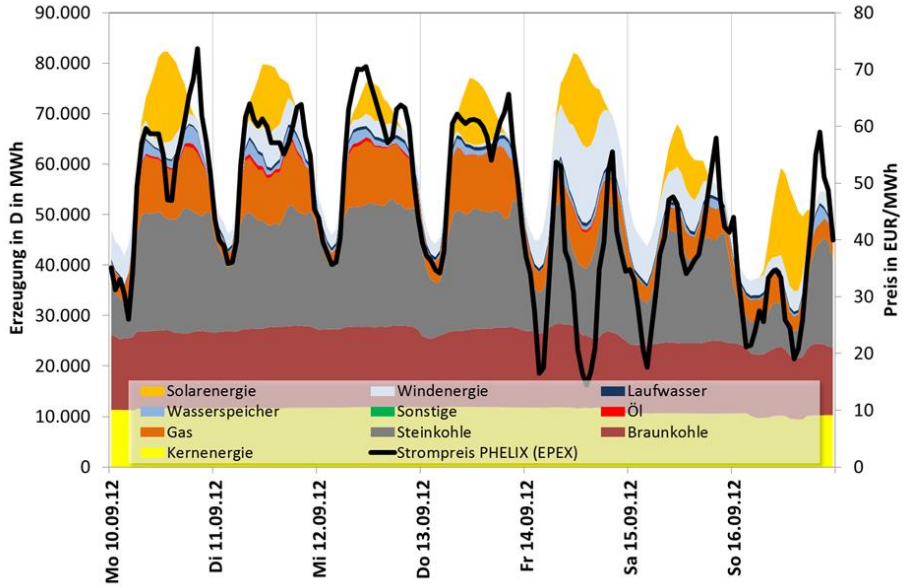
Bestandteile und Entwicklung der Strompreise für private Haushalte

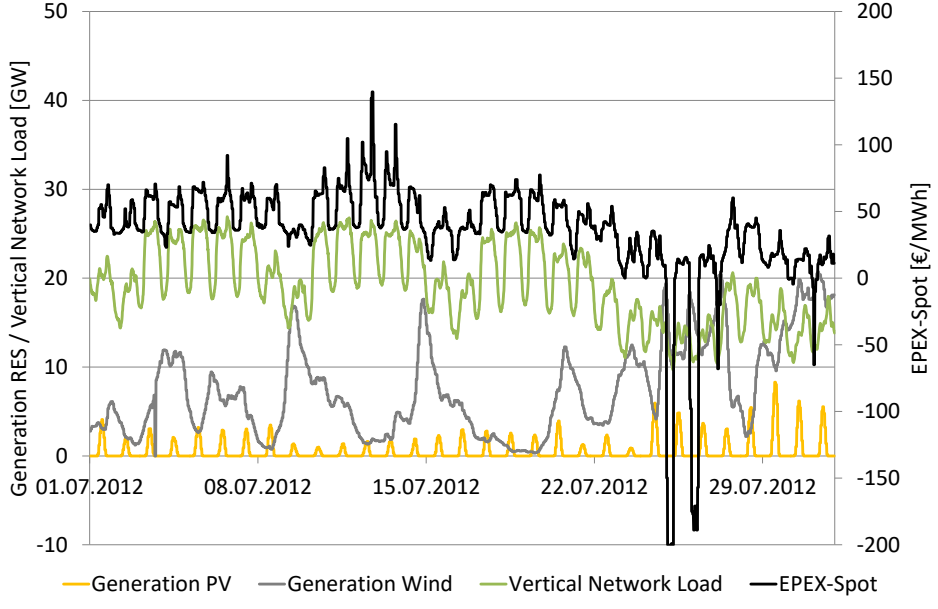


Im Wettbewerb/Strommarkt stehen nur Beschaffung/Vertrieb (Energiepreis), die anderen Komponenten sind reguliert (Netznutzung und Steuern/Abgabe/Umlagen)

Quelle: BDEW (2012), BDEW (2024a), BDEW (2025a) und Deutsche Bundesbank (2025a) nach Grimm (2026)

Großhandelsmarktpreis ist abhängig von Nachfrage und Erzeugung





Wo entsteht der Wert einer privaten PV-Anlage?

Eigenverbrauch, Einspeisung und Speicher wirken wirtschaftlich sehr unterschiedlich

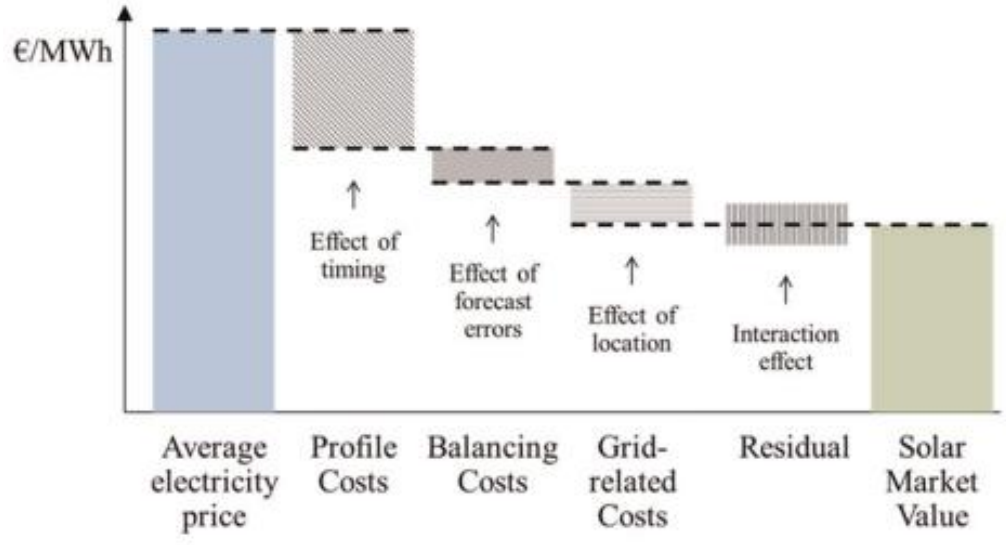
Betrieb von PV-Anlagen

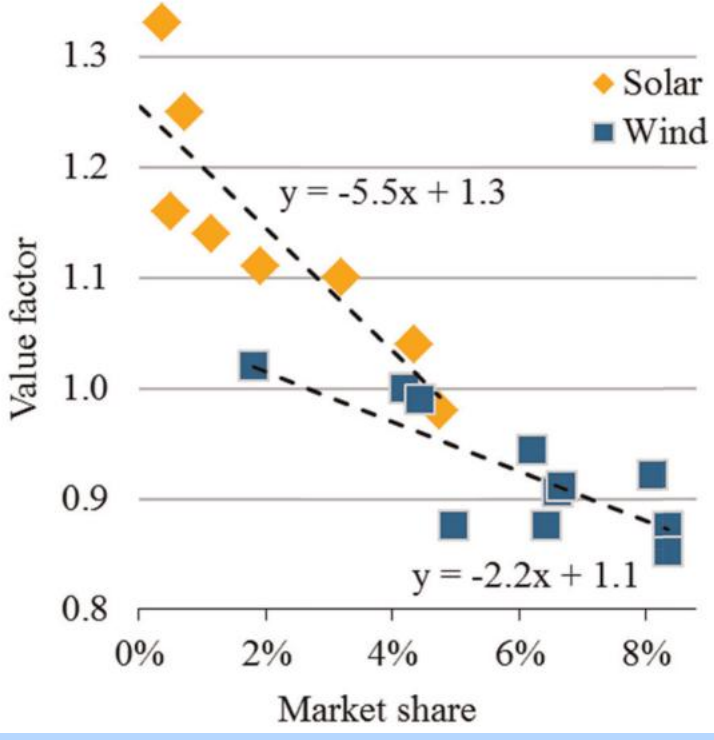
- **Netzbezugspreis:** Energiepreis + Netzentgelte + Steuern/Abgabe/Umlagen
- **Preiskomponenten:** Nicht alle wegfallenden Komponenten entfallen auch im System teilweise Kostenverlagerung (NNE, Abgaben/Umlagen)
- **Speicherung:** Erhöht Eigenverbrauch, kann Bezug bzw. Einspeisung in jeweils günstigere Stunden schieben
- **Flexible Verbraucher:** steuerbare Elektro-Kfz, Wärmepumpen ermöglichen ebenfalls Nutzung von günstigen Strombezugszeitpunkten oder Erhöhung Eigenverbrauch

Der größte wirtschaftliche Wert privater PV entsteht häufig nicht durch Einspeisung, sondern durch vermiedenen Strombezug und intelligente Nutzung vor Ort.

Stromgestehungskosten ist nicht alles: Wertigkeit von EE-Strom

Marktwertfaktor





Der Marktwertfaktor von EE-Strom sinkt mit zunehmendem Marktanteil derselben Technologie, insbesondere bei Solarstrom

 Quelle: Hirth (2014)

Regulierung als Risiko für private PV-Business-Cases

Hoher Teil des Vorteils der Eigennutzung steht im Risiko von Regulierungsänderungen

Für Kundengruppen mit weniger als 100.000 kWh Jahresverbrauch

Zwischenstand der BNetzA

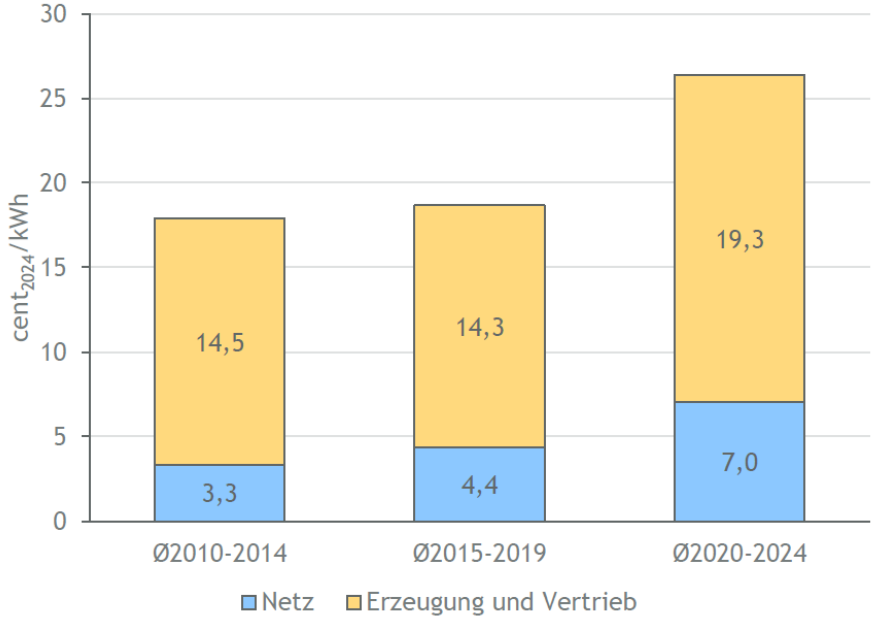
- **Grundmodell:** verpflichtender Grundpreis (GP - €/a) zzgl. Arbeitspreis (AP - €/kWh)
- **Prosumeraufschlag:** Aufschlag auf GP i.H.v. 70-90% des allgemeinen GP
- **Erlösanteil GP:** 20-40% der Erlöse der Kundengruppe
- **Sonderentgelte nach §14a EnWG** gelten weiterhin
- **Prosumer:** „Letztverbraucher in der Niederspannung, der neben der Elektrizität, welche er aus dem Netz bezieht, eigenerzeugte Elektrizität verbraucht oder einspeichert."

Änderungen bei Netzentgelten, Einspeiseregeln oder Steuerbarkeit können verschieben, ob Eigenverbrauch, Einspeisung oder Speicherung wirtschaftlicher ist.

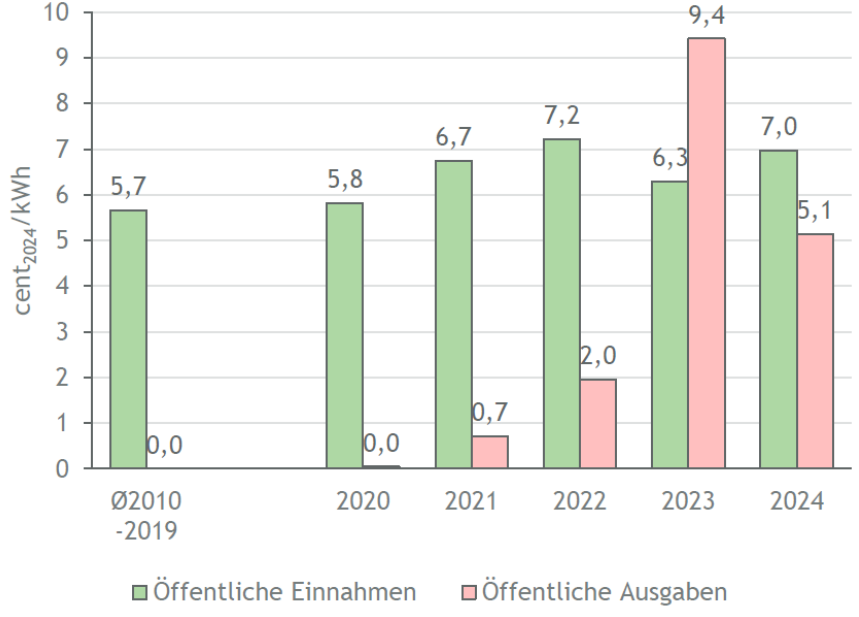
Systemkosten verschieben sich

Günstiger GHM-Strompreis bedeutet nicht automatisch ein günstiges Gesamtsystem

Verwendung der Ausgaben



Einnahmen und Ausgaben der öffentlichen Hand



Die Kostenperspektive verschiebt sich zunehmend von reiner Erzeugung hin zu Netzen, Redispatch, Systemdienstleistungen und öffentlicher Finanzierung.

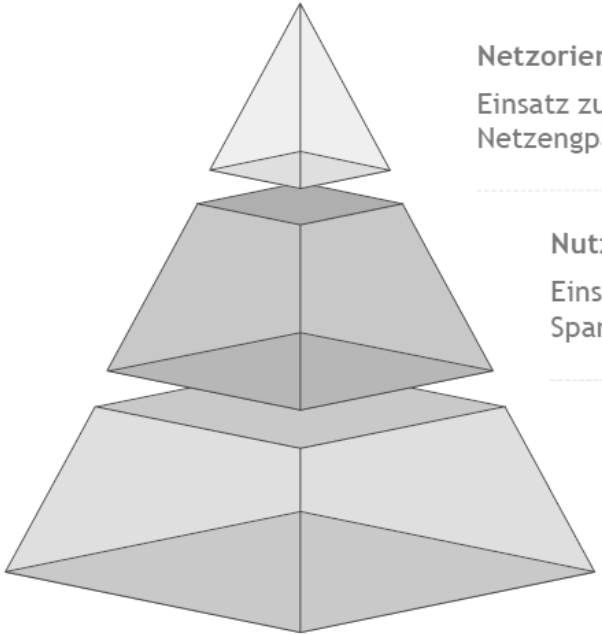
Quelle: EWI (2026) nach Schnaars (2026)

Agenda

- Warum ist das Thema jetzt relevant
- Wie der Strompreis entsteht
- Warum ist steuerbare Flexibilität wertvoll
- Dynamische Tarife: Nutzen und Grenzen
- Fazit

Flexibilität hat einen Wert

Markt, Netz und System verfolgen nicht immer dieselben Ziele



Einsatzmöglichkeiten von Flexibilität

Netzorientierte Nutzung

Einsatz zur effizienten Netznutzung, Behebung von Netzengpässen und Reduktion von Netzausbau.

Nutzung für Systemdienstleistungen

Einsatz für Regelarbeit und -leistung, Spannungshaltung, Schwarzstartfähigkeit, etc.

Großhandelspreisorientierte Nutzung

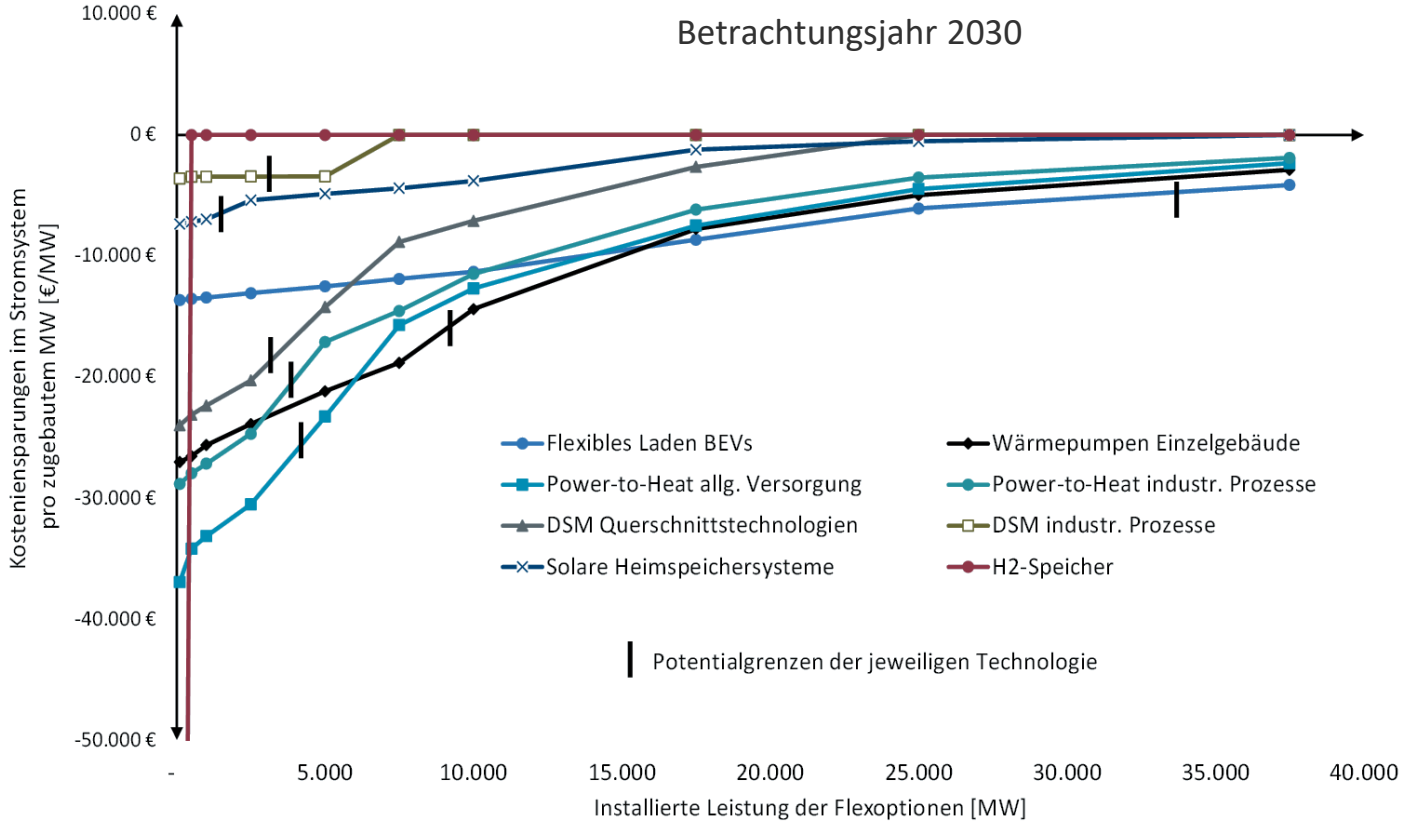
Flexibilitätsnutzung, die sich an Preissignalen des Großhandelsmarktes orientiert

Konfliktpotenzial

- Standortkonzentration ohne Rücksicht auf Engpassregionen.
- Batteriespeicher, die ihre Kapazitäten markbasiert anbieten, können sie weniger oder nicht für Systemdienstleistungen anbieten.
- Hürden vor dem Hintergrund von Unbundling und Netzregulierung
- …

Dezentrale Flexibilität kann Großhandelspreise nutzen, Netze entlasten oder Systemdienstleistungen bereitstellen – genau daraus entstehen Nutzungskonflikte.

Wertbeitrag im System von verschiedenen Flexibiltätsoptionen



Flexibilitätsoptionen sind teilweise kompetitiv und bei höherer Marktdurch-dringung können Sättigungseffekte entstehen.

 Quelle: Gillich et al. (2024)

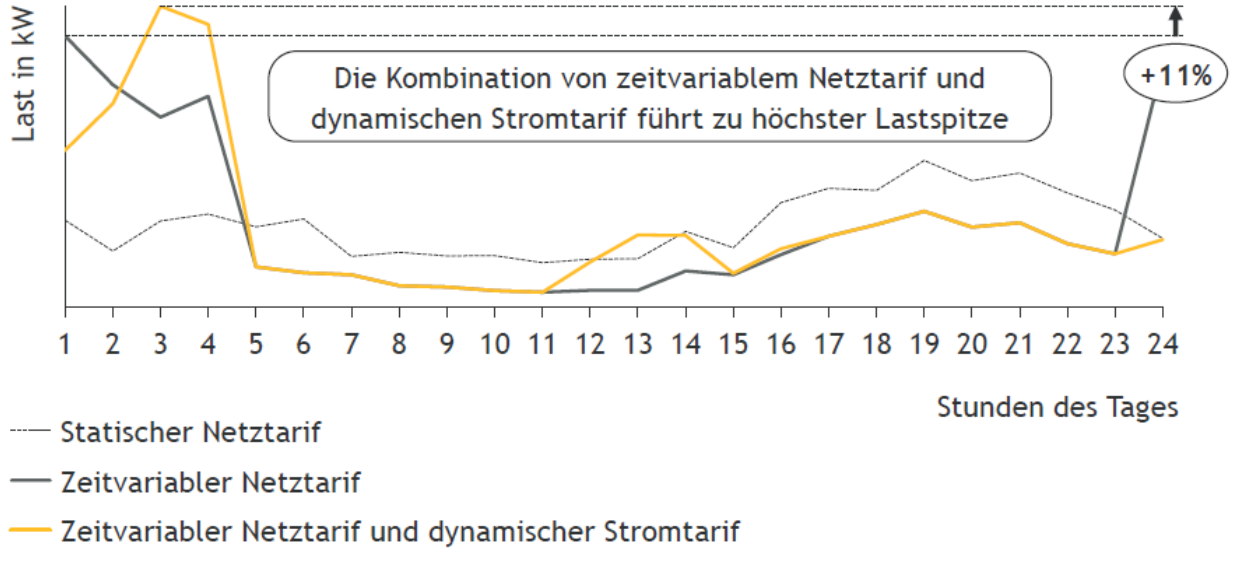
Agenda

- Warum ist das Thema jetzt relevant
- Wie der Strompreis entsteht
- Warum ist steuerbare Flexibilität wertvoll
- Dynamische Tarife: Nutzen und Grenzen
- Fazit

Dynamische Tarife – Grenzen

Marktpreissignale können lokale Netzengpässe verschärfen

Durchschnittlicher Residuallastverlauf eines Haushalts mit Elektrofahrzeug[1]



Einordnung

- Frühere Arbeiten des EWI zeigen, dass dynamische Stromtarife zusammen mit statischen Netzentgelten **engpassverschärfend** wirken können.[2]
- Doch auch unter (statisch) zeitvariablen Netzentgelten können gemeinsam mit dynamischen Stromtarifen kurzfristig Niederpreisfenster entstehen, die zu **noch höheren Lastspitzen führen.**
- Ob zeitvariable Netzentgelte wohlfahrtserhöhend wirken, kommt demnach stark auf Parametrierung und an.

Dynamische Tarife können Kosten senken, aber auch neue Lastspitzen erzeugen, wenn viele gleichzeitig auf niedrige Preise reagieren. Gesamtwohlfahrtsgewinn unklar.

Dynamische Netzentgelte

Netzsignale sollen Flexibilität stärker an lokalen Engpässen ausrichten

Für Kundengruppen mit weniger als 100.000 kWh Jahresverbrauch

Zwischenstand der BNetzA – Mögliche zukünftige **Anreizkomponente**

- **Keine Einführung im Rahmen der bevorstehenden Festlegung**
- **Ziel:** Reduzierung der Engpassmanagementkosten
- **Variabler Arbeitspreis:** zeitlich & örtlich variabler AP3
- **Preissignale vorzeichengerecht** (positive & negative Entgelte möglich)
- **Höhe des Preissignals** orientiert sich an Engpassmanagementkosten & Wirksamkeit der Anreize
- **Veröffentlichung** erfolgt day-ahead

Dynamische Netzentgelte sollen Verbraucher, Speicher oder Erzeuger dazu bringen, sich netzdienlich zu verhalten.

Praktische Bewertung

Wann dynamische Stromtarife für Haushalte sinnvoll sind und wann eher nicht

Bewertung	Konfiguration	Einschätzung
Grün	PV-Anlagen, Batteriespeicher, Elektro-KFZ, Wärmepumpe in Kombination mit Smart Meter bzw. Energiemanagementsystem	Dynamischer Tarif kann sinnvoll sein
Gelb	Einzelne flexible Verbraucher, aber wenig Automatisierung	Potenzial vorhanden, aber Aufwand prüfen
Rot	Kaum verschiebbarer Verbrauch, kein Smart Meter, geringe Risikobereitschaft	Nutzen eher begrenzt

Dynamische Tarife können sich lohnen, wenn flexible Verbraucher automatisiert gesteuert werden können.

Immer verbunden mit **Preisrisiken (!),** insbesondere bei steigenden Preisniveaus, die Flexibilität allein nicht ausgleichen kann.

Agenda

- Warum ist das Thema jetzt relevant
- Wie der Strompreis entsteht
- Warum ist steuerbare Flexibilität wertvoll
- Dynamische Tarife: Nutzen und Grenzen
- Fazit

Was heißt das für Botnang?

Dynamische Tarife ist ein Werkzeug, entscheidend ist ein lokales Energiemanagement

- **PV allein löst das Problem nicht:** Mehr PV senkt nicht automatisch Kosten, wenn Erzeugung und Verbrauch zeitlich auseinanderfallen.
- **Flexibilität wird zum zentralen Wert:** Speicher, Wärmepumpen, Elektro-KFZ und steuerbare Verbraucher entscheiden, ob günstige Stromzeiten genutzt bzw. teure Strompreise vermieden werden können.
- **Automatisierung ist Voraussetzung:** Ohne Smart Meter, EMS und klare Steuerlogik bleibt der Nutzen dynamischer Tarife begrenzt.
- **Preisrisiken bleiben bestehen:** Dynamische Tarife übertragen Marktrisiken stärker auf Haushalte; Flexibilität ersetzt keine Preisabsicherung.
- **Quartierslösung statt Einzeloptimierung:** Zentrale Frage ist nicht nur: *Welcher Tarif ist günstig?*, sondern: *Wie können PV, Speicher, Wärmepumpen und Lasten koordiniert werden?*

Universität Stuttgart
CZS-SRI DiTEnS Discursive Transformation of Energy Systems

Carl Zeiss Stiftung

DiTEnS

Prof. Dr.-Ing. Kai Hufendiek

E-Mail kai.hufendiek@ier.uni-stuttgart.de

Telefon +49 (0) 711 685 - 87801

Universität Stuttgart
Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung
Heßbrühlstraße 49a, 70565 Stuttgart

Das Projekt „VR-basierte simulative Gestaltung eines gesellschaftlichen Dialogs zur Transformation urbaner Energiesysteme“ wird durch die Carl-Zeiss-Stiftung gefördert.

Die Autoren bedanken sich hierfür im Namen aller beteiligten Projektpartner herzlichst.

IER Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung

IGTE

IEH

zirius
Zentrum für Interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung

HLRS
High Performance Computing Center | Stuttgart

Referenzen

BMWE (2025): *Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2024*. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE), Hrsg., Berlin. Stand: Dezember 2025.

Consentec, IER, ffe (2024): Gutachten für den Monitoringbericht 2022 zur Versorgungssicherheit Strom gem. §63 EnWG-E, verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/gutachten-fuer-den-monitoringbericht-2022.pdf?__blob=publicationFile&v=3 abgerufen am 16.10.2024

Eicke, Anselm; Hirth, Lion; Mühlenpfordt, Jonathan (2024): Mehrwert dezentraler Flexibilität. Präsentationsfolien, Neon Neue Energieökonomik GmbH, Berlin, 20. Februar 2024. Im Auftrag des Verbands der Elektro- und Digitalindustrie (ZVEI e. V.).

Gillich, A., Brandt, H., Schmid, T., Hufendiek, K.: Die Schlüsselrolle von Flexibilität im Stromsystem 2030: Nutzenanalyse und kritische Flex-Technologien. Ariadne-Analyse, PIK, Potsdam, Feb 2024. abrufbar unter https://www.kopernikus-projekte.de/lw_resource/datapool/systemfiles/cbox/3523/live/lw_datei/ariadne-analyse_flexibilitatstromsystem_februar2024.pdf (16.10.2024).

Grimm, Veronika (2026): *Wirtschaftsstandort Deutschland – Lage, Ausblick und die Rolle der Energiekosten*. Präsentation im Rahmen der EWI-Energietagung 2026, Köln.

Hufendiek, Kai (2014): *Energy Storage in a Grid with Fluctuating Sources: the German Perspective*. Vortrag im Rahmen von „The Role of Storage in Energy System Flexibility“, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin, 22. Oktober 2014. Universität Stuttgart, Institute of Energy Economics and Rational Use of Energy (IER).

Hufendiek, Kai (2025): Energiepolitische Perspektiven. Wie sicher ist unsere Energieversorgung? Präsentation im Rahmen des LFA der FDP BW, Stuttgart, 22. Juli 2025. Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER).

Hufendiek, Kai; Häbig, Pascal; Azzam, Abdul (2026): Wärmewende: Heterogenität und Komplexität verhindern einfache Lösungen. Präsentation im Rahmen der EWI-Tagung 2026, Köln, 15./16. Januar 2026. Universität Stuttgart, CZS-SRI Discursive Transformation of Energy Systems / Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER).

Kaltschmitt, Martin, Streicher, Wolfgang, Wiese, Andreas (2013): Erneuerbare Energien: Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte

Kienscherf, Philipp Artur (2026): Dezentrale Flexibilität. Präsentation im Rahmen der EWI-Energietagung 2026, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) gGmbH, 15. Januar 2026.

Luderer, Gunnar; Bartels, Frederike; Brown, Tom; Aulich, Clara; Benke, Falk; Fleiter, Tobias; Frank, Fabio; Ganal, Helen; Geis, Julian; Gerhardt, Norman; Gnann, Till; Gunnemann, Alyssa; Hasse, Robin; Herbst, Andrea; Herkel, Sebastian; Hoppe, Johanna; Kost, Christoph; Krail, Michael; Lindner, Michael; Neuwirth, Marius; Nolte, Hannah; Pietzcker, Robert; Plötz, Patrick; Rehfeldt, Matthias; Schreyer, Felix; Seibold, Toni; Senkpiel, Charlotte; Sörgel, Dominika; Speth, Daniel; Steffen, Bjarne; Verpoort, Philipp C. (2025): Die Energiewende kosteneffizient gestalten: Szenarien zur Klimaneutralität 2045. Ariadne-Report. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. https://doi.org/10.48485/pik.2025.003.

Schnaars, Philip (2026): Ausgaben für das Stromsystem in Deutschland. Impuls zur Vertiefung einer integrierten Systembetrachtung. Präsentation im Rahmen der EWI-Energietagung 2026, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) gGmbH, 16. Januar 2026.

Schmitz, Henri (2026): Aktueller Stand der BNetzA zur Rahmenfestlegung der allgemeinen Netzentgeltsystematik Strom (AgNes). Präsentation im Rahmen der Kopernikus-AG Regulierung, ENSURE / Germanwatch, 11. Juni 2026.