

Batteriealterung • Batteriemodelle • Batteriediagnostik • Batteriepackdesign • Elektromobilität • Stationäre Energiespeicher • Energiesystemanalyse

Modernisieren und Wohnen mit KI und Co
Speichersysteme und Ladestationen

Düsseldorf

15.10.2026

Christopher Hecht

Lehrstuhl für Elektrochemische Energiewandlung und Speichersystemtechnik

E.ON Energy Research Center

CARL Center for Ageing, Reliability and Lifetime Prediction of Electrochemical and Power Electronic Systems

ISEA Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe

RWTH AACHEN UNIVERSITY

Executive Summary

- Heimspeicher sind ein Wachstumsmarkt, insb. bei stark fluktuierenden Strompreisen wie nach 2022 und aktuell durch Iran-Krieg
- Die Energiekapazität ist oftmals bei ca. 10 kWh und damit größer als ein typischer Nachtverbrauch

- Elektro-PKW setzen zunehmend durch und werden das dominante Marktsegment
- Die Batteriekapazitäten wachsen sodass eine Nachladung nicht mehr täglich notwendig ist
- Bidirektionales Laden setzt sich langsamer durch als von vielen vermutet

- Heimspeicher waren die einzigen gesteuerten Geräte im Eigenheim
- Mit Wärmepumpen, e-Autos und Heimspeichern sind mindestens drei steuerbare Großverbraucher im Haushalt
- Häufig werden diese Großverbraucher zusammen besessen
- E-Autos können Heimspeicher unterstützen/ersetzen, wenn sie Vehicle-to-Home betreiben

Agenda

Überblick Marktentwicklung

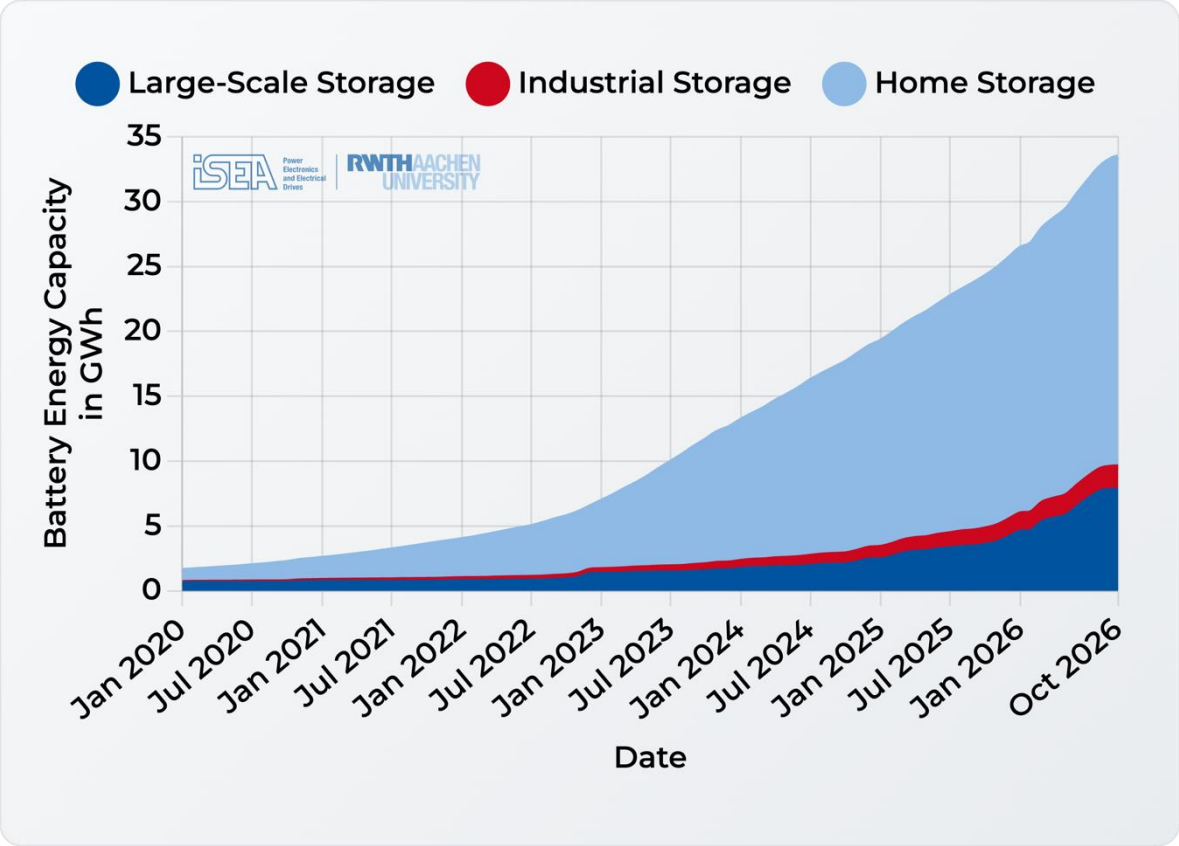
Fokus Elektromobilität

Fokus Heimspeicher

Batteriespeicher zur Lastminderung

Intelligente Systeme

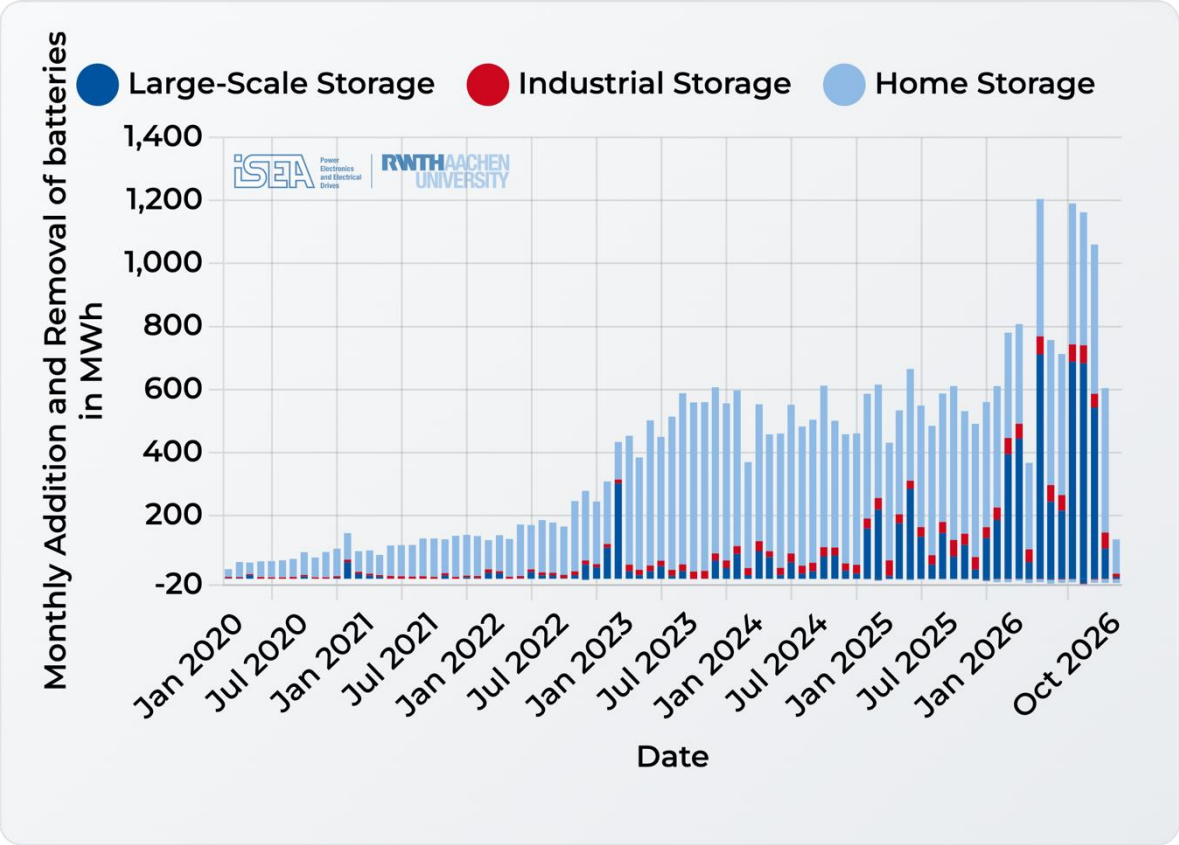
Batteriespeicher bleiben ein Wachstumsmarkt in Deutschland



https://battery-charts.de/battery-charts/

- Heimspeicher größtes anteiliges Volumen
- 23,9 GWh installiert zu Ende Oktober
- Einsatzgebiete:
  - Heimspeicher: PV-Eigenverbrauch
  - Industriespeicher: Lastspitzenglättung
  - Großspeicher: Stromhandel und Regelleistung
- Relevanz steigt durch weiterhin fluktuierende Preise

Batteriespeicher bleiben ein Wachstumsmarkt in Deutschland

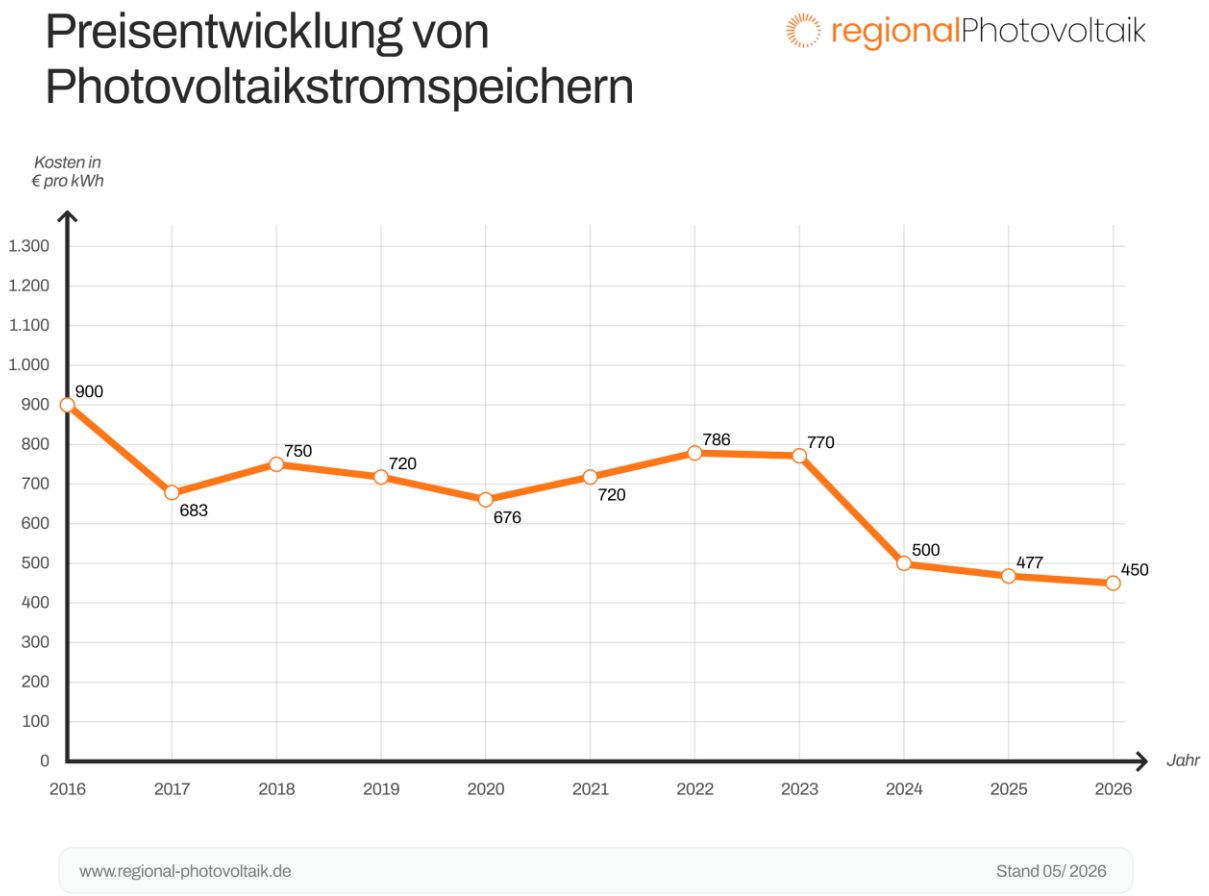


https://battery-charts.de/battery-charts/

- Öffentliches Interesse insb. für Großspeicher, aber Heimspeicher bieten stabilen Markt
- Erste Heimspeicher ohne PV-Anlage verfügbar
- Balkonkraftwerke und Angst vor Blackouts zusätzliche Treiber für kleine Systeme (nicht im Marktstammdatenregister)

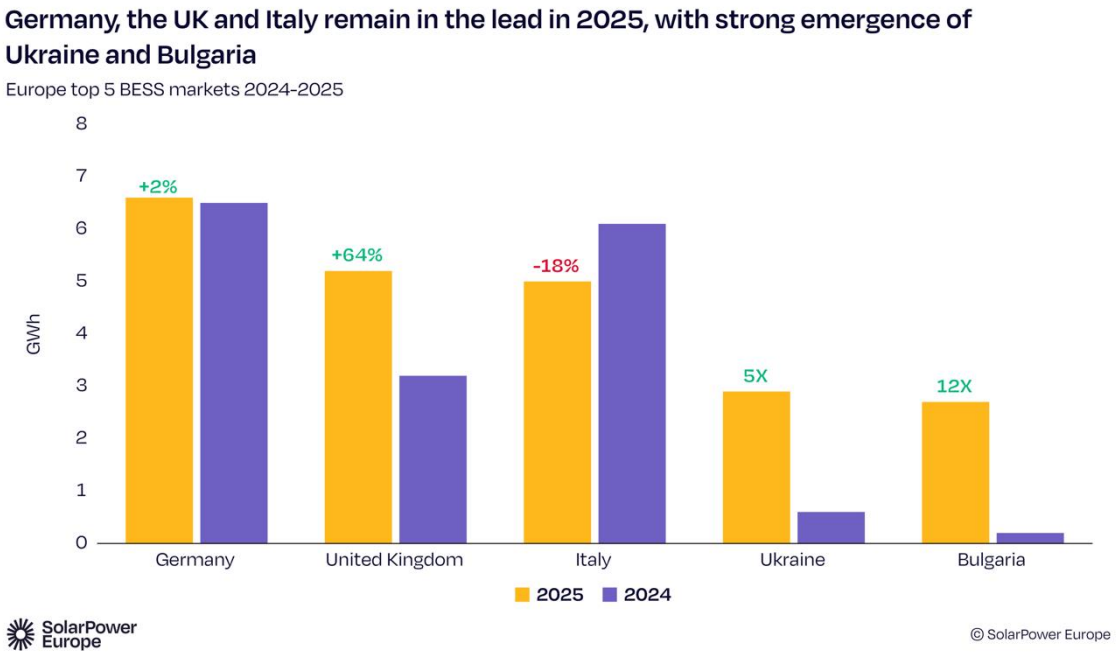
Heimspeicher werden günstiger

- Pro kWh sinken die Preise kontinuierlich
- 3 – 4 mal teurer als große Systeme
- Preisspitze um 2022 durch hohe Energiepreise und hohe Nachfrage
- Weltweit im Einsatz, allerdings eher aus Versorgungsnot



https://regional-photovoltaik.de/kosten/preisentwicklung

Heimspeicher werden zunehmend Teil kritischer Backup-Systeme



https://www.solarpowereurope.org/press-releases/ukraine-enters-europe-s-top-5-battery-storage-markets



https://www.reddit.com/r/solarpunk/comments/1sicflf/solar_panels_in_aleppo_syria/

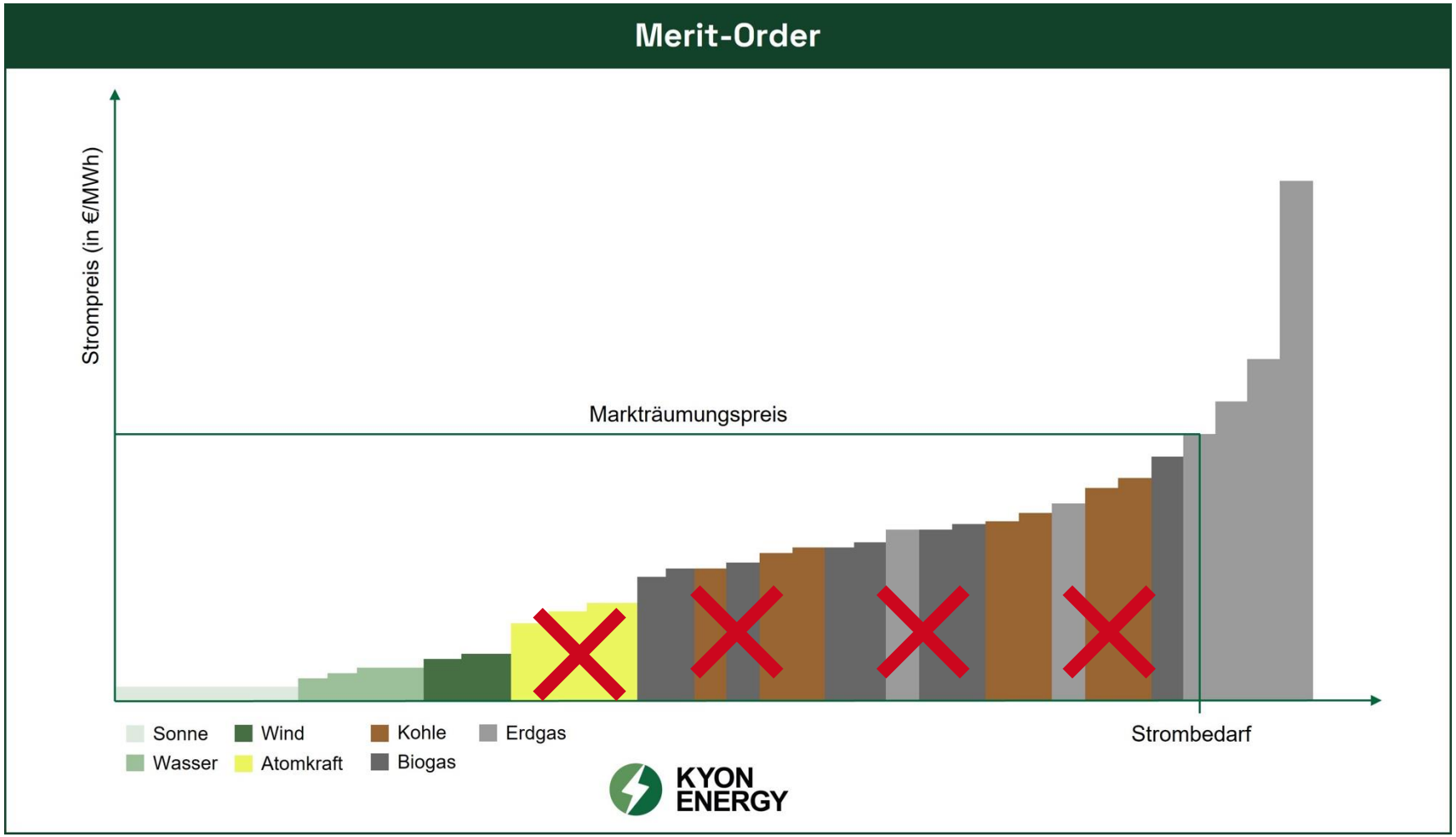
Elektroautos mit 5x Speicherkapazität von Stationärsystemen

- 2,2 Mio E-Autos haben ca. 142 GWh Batteriekapazität
- Hohe Benzin-Preise treiben ein Zulassungshoch
- Alltagstauglichkeit, Alterung und Kosten allesamt gutes Niveau
- Günstige Import-Fahrzeuge aus China kommen stärker auf dem Markt an



https://battery-charts.de/

Merit-Order und der Strompreis



https://www.kyon-energy.de/en/glossar/merit-order

Bimodaler Strommarkt sorgt für tägliche Spreads



https://www.linkedin.com/posts/ted-paulus-cfa-11368321_the-bimodal-problem-the-danish-power-market-activity-7430556241287942144-Bgyz

Agenda

- Überblick Marktentwicklung
- **Fokus Elektromobilität**
- Fokus Heimspeicher
- Batteriespeicher zur Lastminderung
- Intelligente Systeme

Ladestation vs. Ladesäule vs. Ladepunkte (“Stecker” bzw. „Steckdose“)

- Ladestation: Einrichtung mit einem Netzanschluss (auch „Ladepark“)
- Ladesäule: (Sichtbare) Säule, an der jeweils ein oder mehrere Autos angeschlossen werden können
- Ladepunkt: Ein Kabel oder Stecker, welches mit dem Auto verbunden werden kann.



Source: Felix Kramer (CalCars)

Verschiedene Steckertypen



Typ 2-Stecker



Typ 1-Stecker

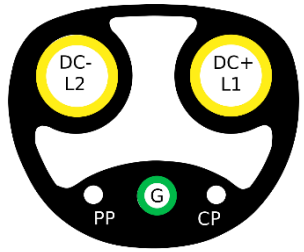


CCS-Stecker



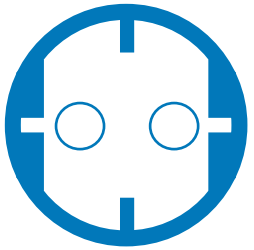
CHAdeMO-Stecker

Quelle: Induux



NACS / Tesla

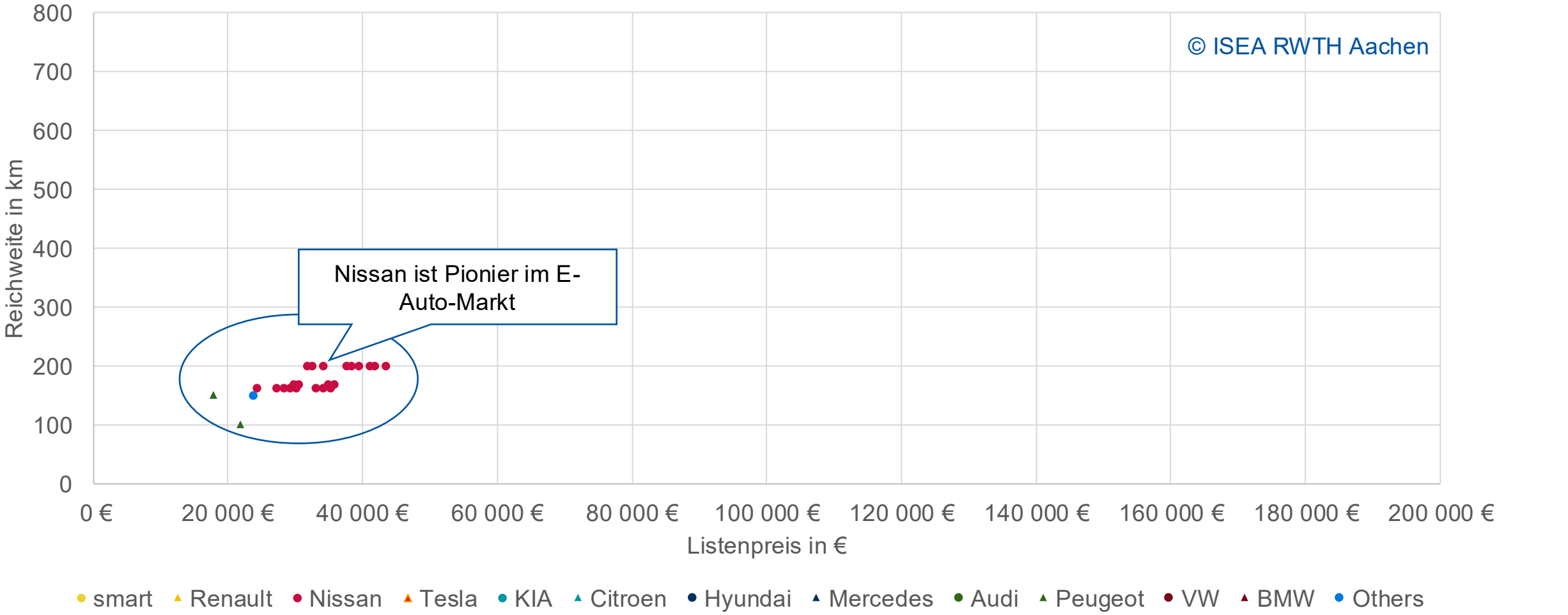
RickyCourtney@Wikipedia



Schuko-Stecker

- Typ2 am gängigsten in Europa mit 2 Signalkabeln (oben), 1 Schutz-, 1 Neutral- und 3 Phasenleitern
- Typ1 ist in Europa quasi nicht präsent
- CCS ist ein Typ2 mit DC-Erweiterung. Z.T. wird auf Phasenleiter und Neutralleiter verzichtet
- CHAdeMO verfügt über 2 DC-Leiter (große Kreise) sowie insgesamt 8 Kabel für verschiedene Kommunikationsanforderungen
- Tesla nutzt in Europa die europäischen Standards, in den USA aber den NACS-Stecker
- Aufladen an einem normalen Schuko-Stecker auch möglich bei geeigneter Sicherung

Verfügbare E-Fahrzeugmodelle 2010

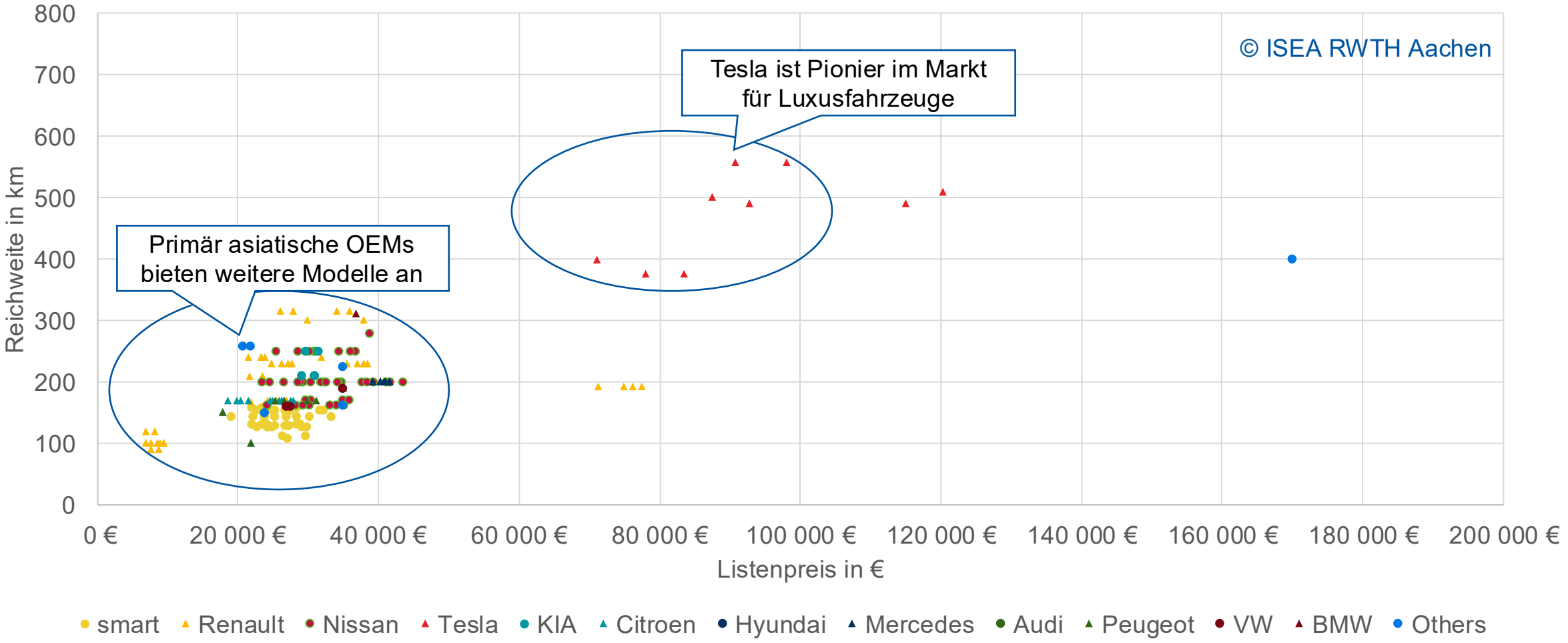


Quelle: Eigene Darstellung nach ADAC

15.10.2026 | Christopher Hecht
Lehrstuhl für Elektrochemische Energiewandlung und Speichersystemtechnik

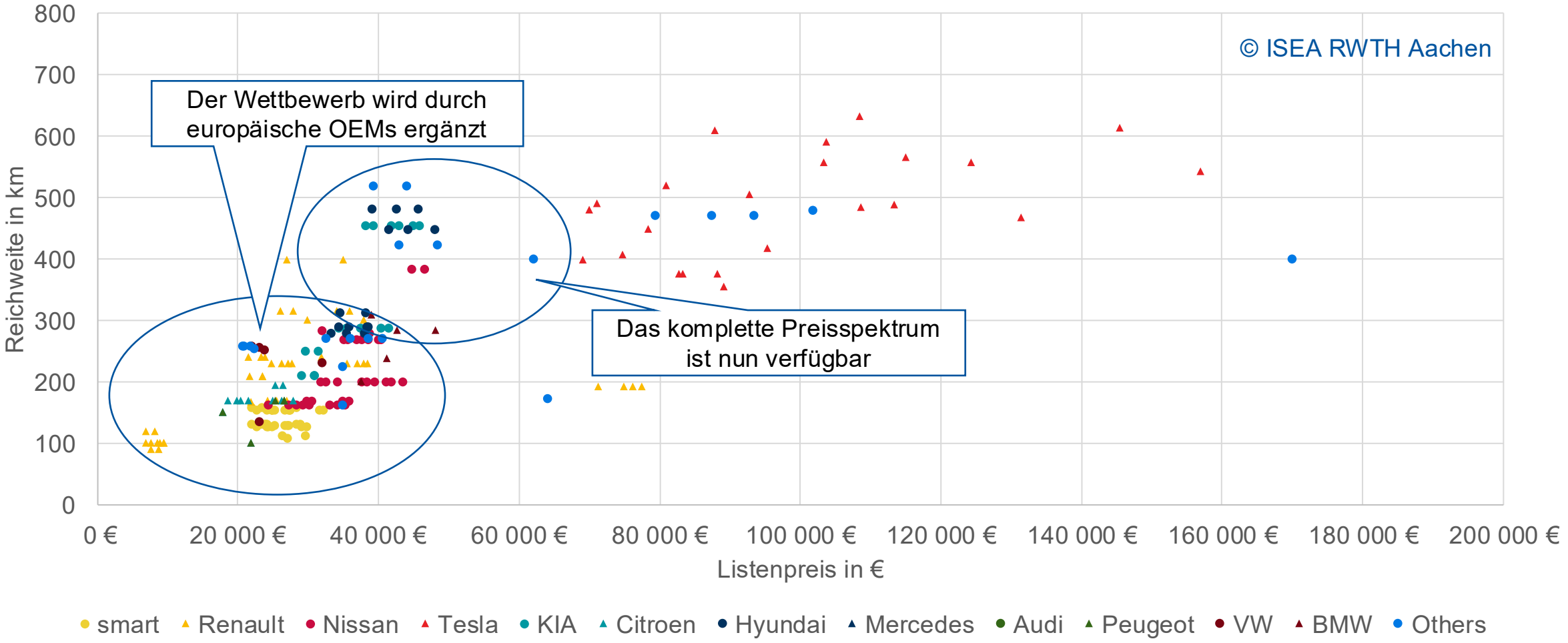
E.ON Energy Research Center
CARL Center for Ageing, Reliability and Lifetime Prediction of Electrochemical and Power Electronic Systems
ISEA Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe
RWTH AACHEN UNIVERSITY

Verfügbare E-Fahrzeugmodelle 2015



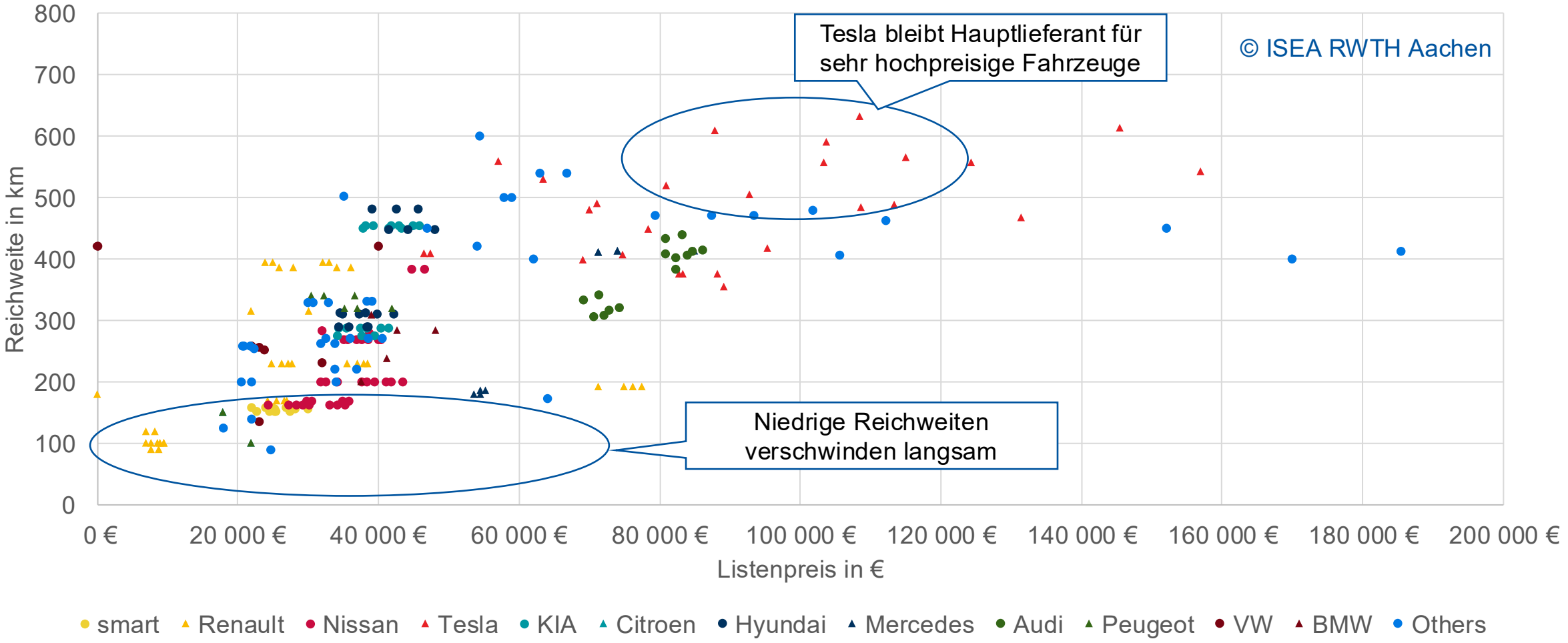
Quelle: Eigene Darstellung nach ADAC

Verfügbare E-Fahrzeugmodelle 2018



Quelle: Eigene Darstellung nach ADAC

Verfügbare E-Fahrzeugmodelle 2020

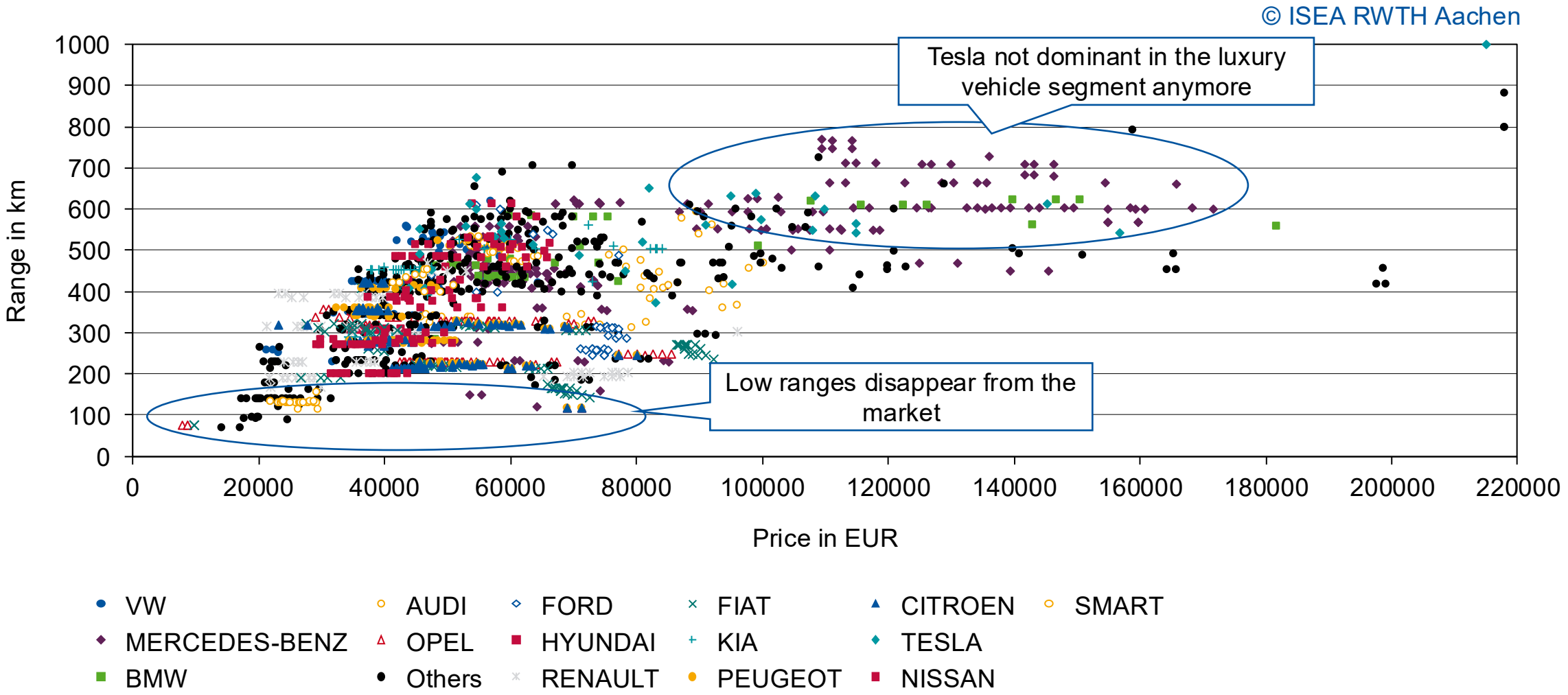


Quelle: Eigene Darstellung nach ADAC

15.10.2026 | Christopher Hecht
Lehrstuhl für Elektrochemische Energiewandlung und Speichersystemtechnik

E.ON Energy Research Center
CARL Center for Ageing, Reliability and Lifetime Prediction of Electrochemical and Power Electronic Systems
ISEA Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe
RWTH AACHEN UNIVERSITY

Available e-vehicles March 2025



Quelle: Eigene Darstellung nach ADAC

Bekannte Partnerschaften im Markt

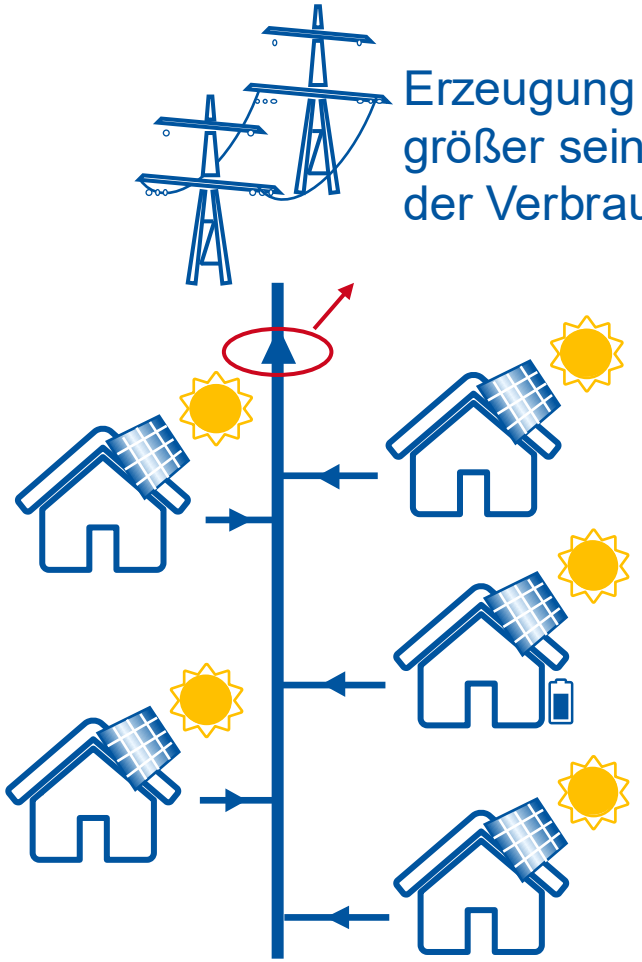
	Octopus/BYD	E.On/BMW	TMH/Renault
Country			
Car	☐ BYD Dolphin ☐ 60,4 kWh, AC	☐ BMW iX3 (neue Klasse) ☐ 80 kWh, DC	☐ Renault 5 ☐ 52 kWh, AC
Customer offer	☐ Free driving if V2G enabled when at home	☐ Annual bonus of up to 720 €	☐ ~10 €ct rebate per hour connected in V2G mode

In the current market phase, vehicle OEMs choose a partner for wallbox and energy supplier to ensure a working system. No interoperability yet.

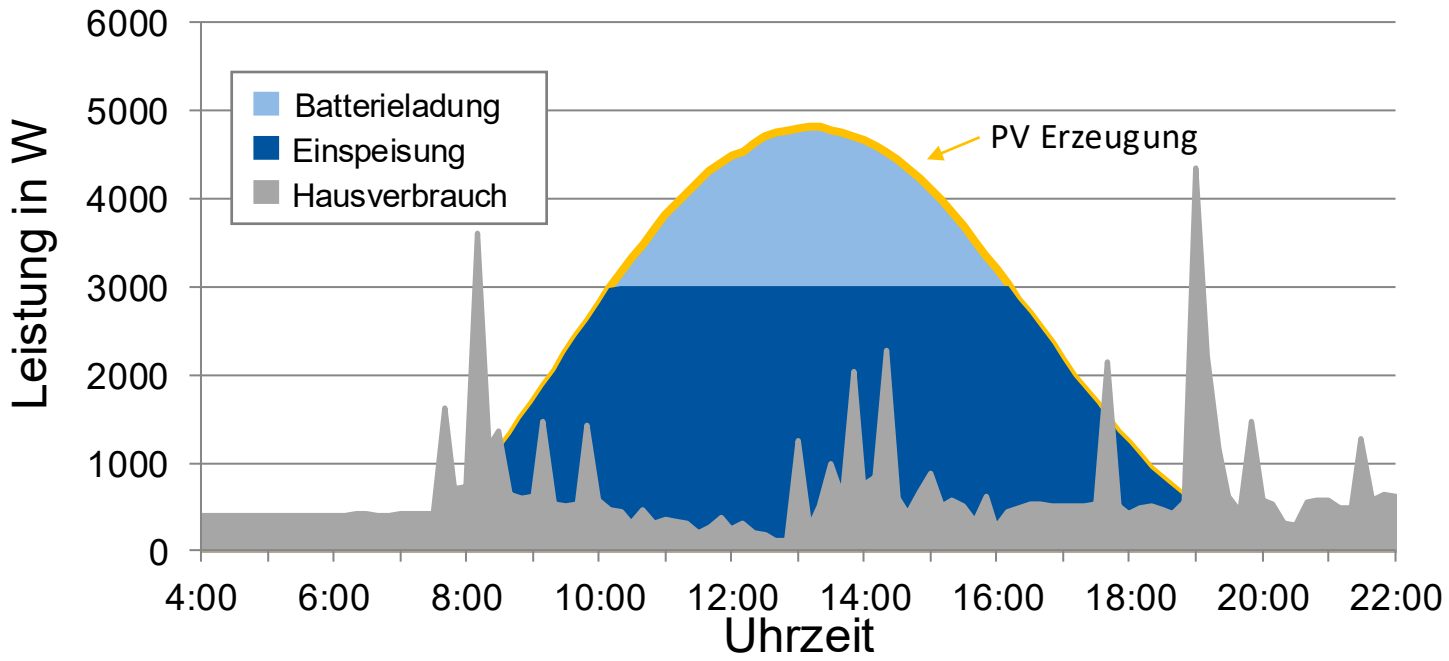
Agenda

- Überblick Marktentwicklung
- Fokus Elektromobilität
- **Fokus Heimspeicher**
  - Betriebsdaten
- Batteriespeicher zur Lastminderung
- Intelligente Systeme

Technisches Potenzial von Heimspeichern: Netzentlastung

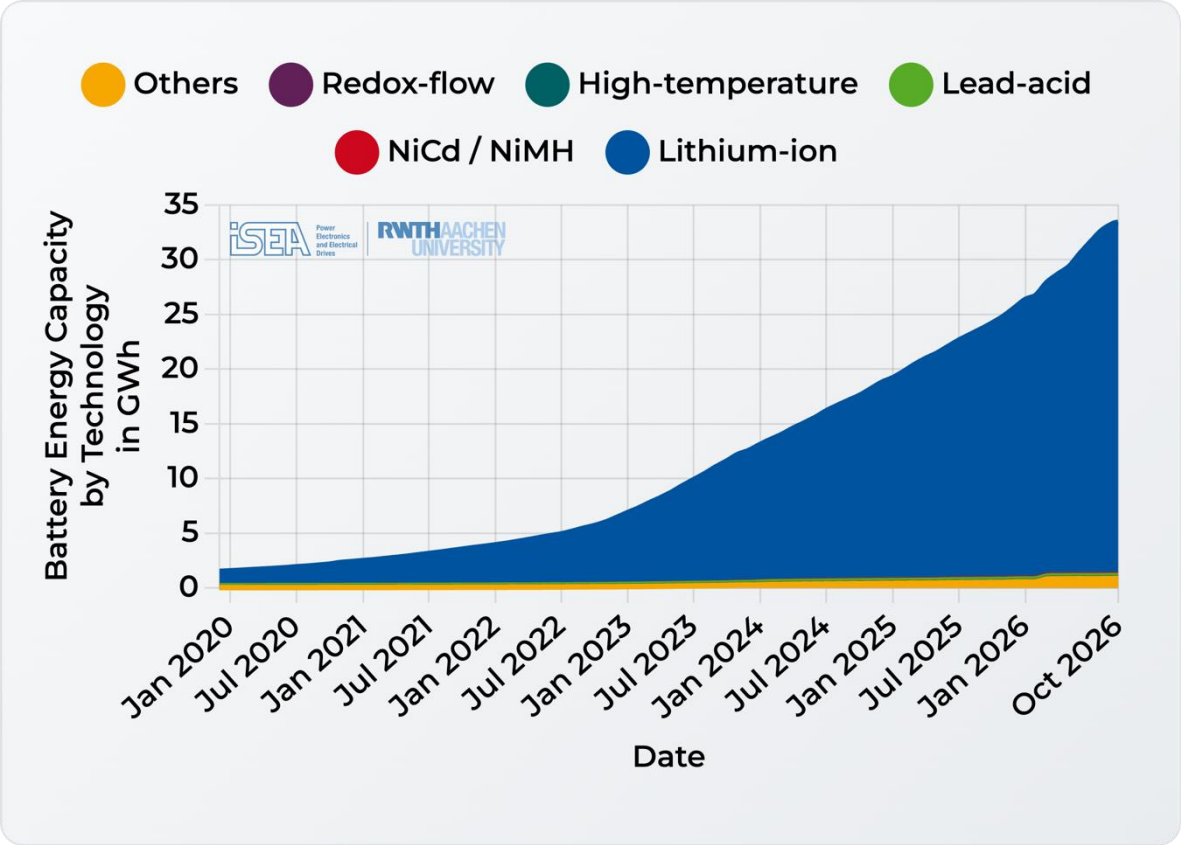


- **Problem**: Mögliche Netzüberlastung durch erhöhte Integration von PV-Anlagen
- **Lösung**: Begrenzung der Einspeiseleistung durch Heimspeicher



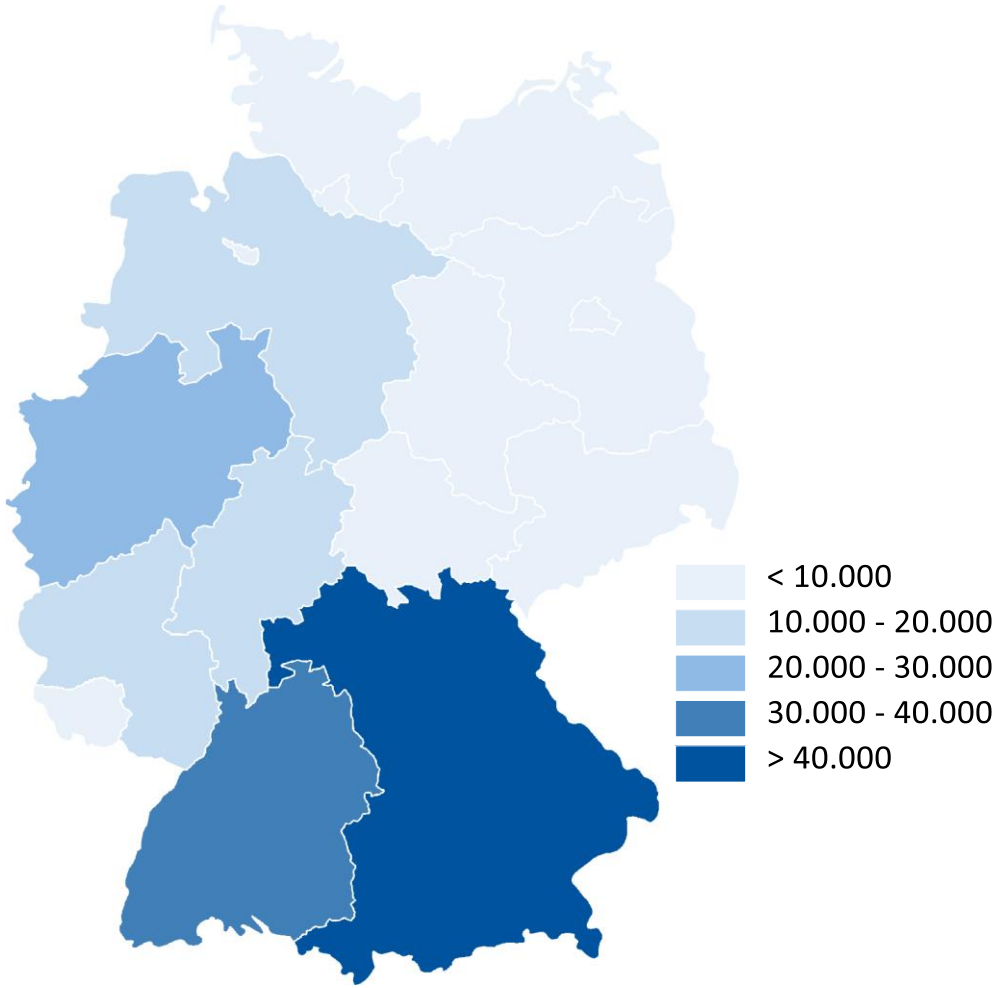
Batteriespeicher sind nahezu vollständig Lithium-Ionen-Akkus

- Alternative Technologien setzen sich kaum durch
- 2022 gab es einen Preissprung in Lithium -> Natrium wurde interessant
- Nahezu vollständig LFP-Systeme bei Neusystemen
- Brandrisiko gering mit 0,0049% p.a.



https://battery-charts.de/battery-charts/

Regionalverteilung der Heimspeicher in Deutschland Ende 2021 (Schätzung)



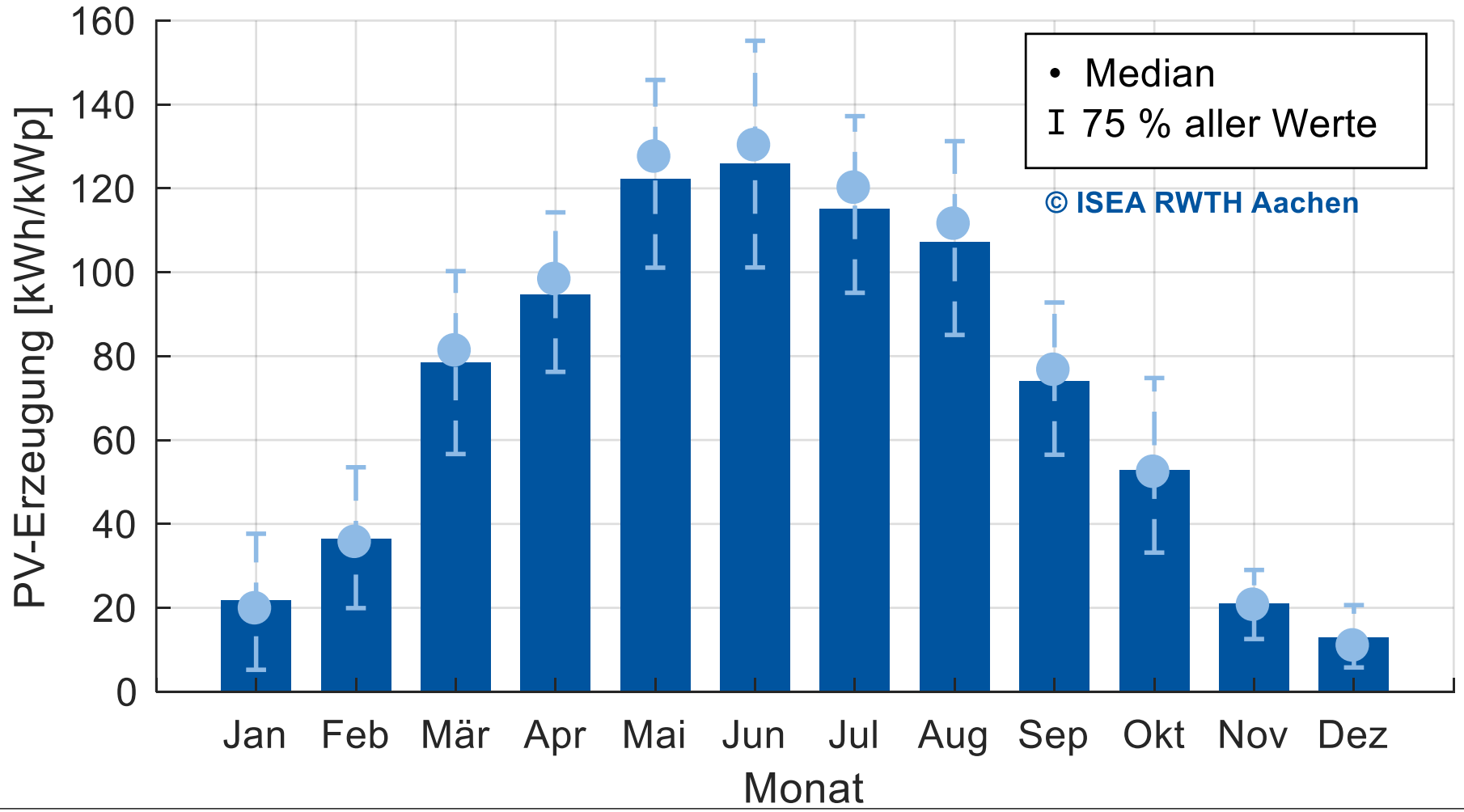
Quelle: in Anlehnung an Figgener et al. 2021: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X2031817X

Agenda

- Überblick Marktentwicklung
- Fokus Elektromobilität
- **Fokus Heimspeicher**
  - **Betriebsdaten**
- Batteriespeicher zur Lastminderung
- Intelligente Systeme

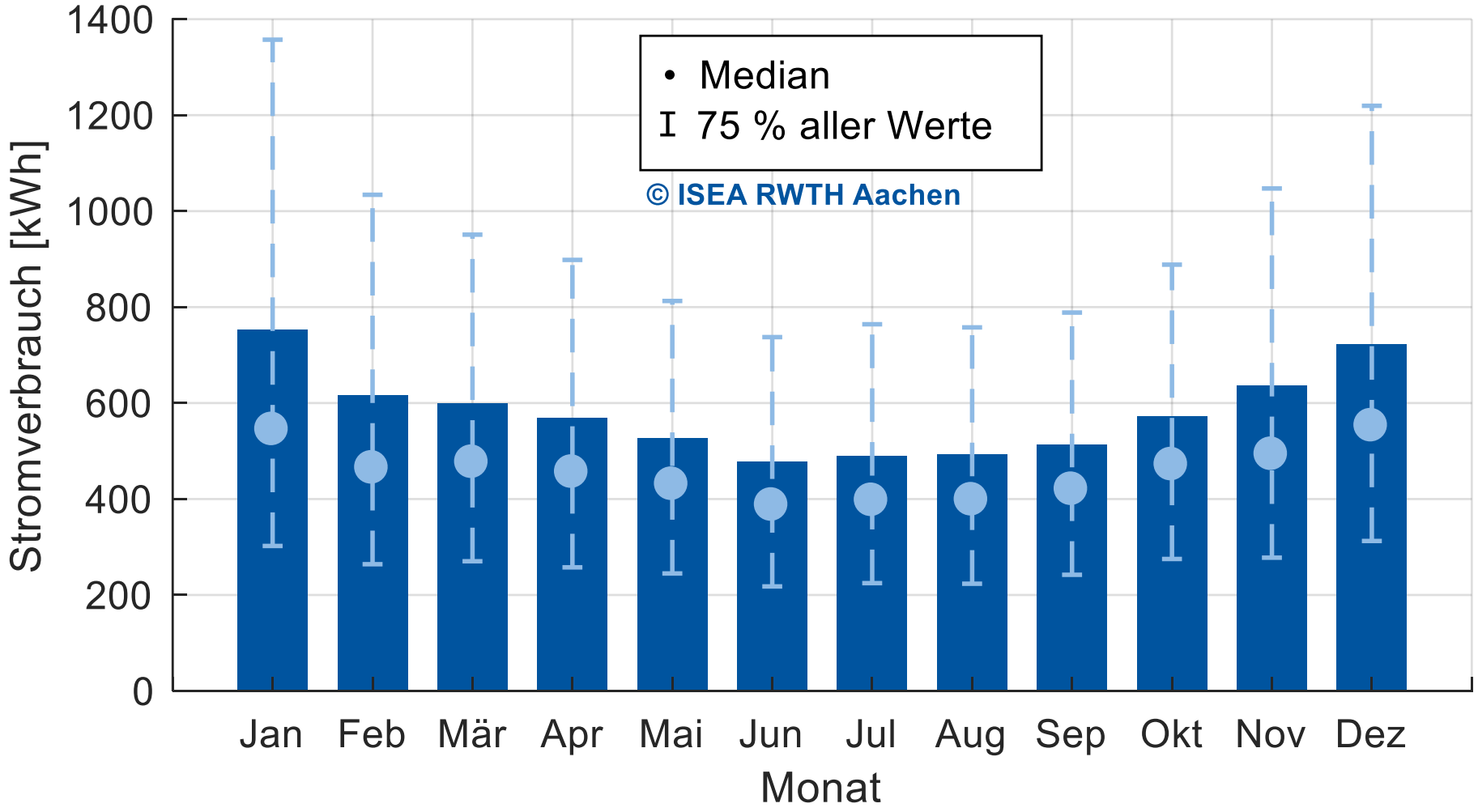
Monatliche PV-Erzeugung

Etwa 70 % der PV-Erzeugung liegt im Sommerhalbjahr (April bis September)
Jährliche PV-Erzeugung: 910 kWh/kWp (→ 8 kWp PV-Anlage: ~7.300 kWh/a

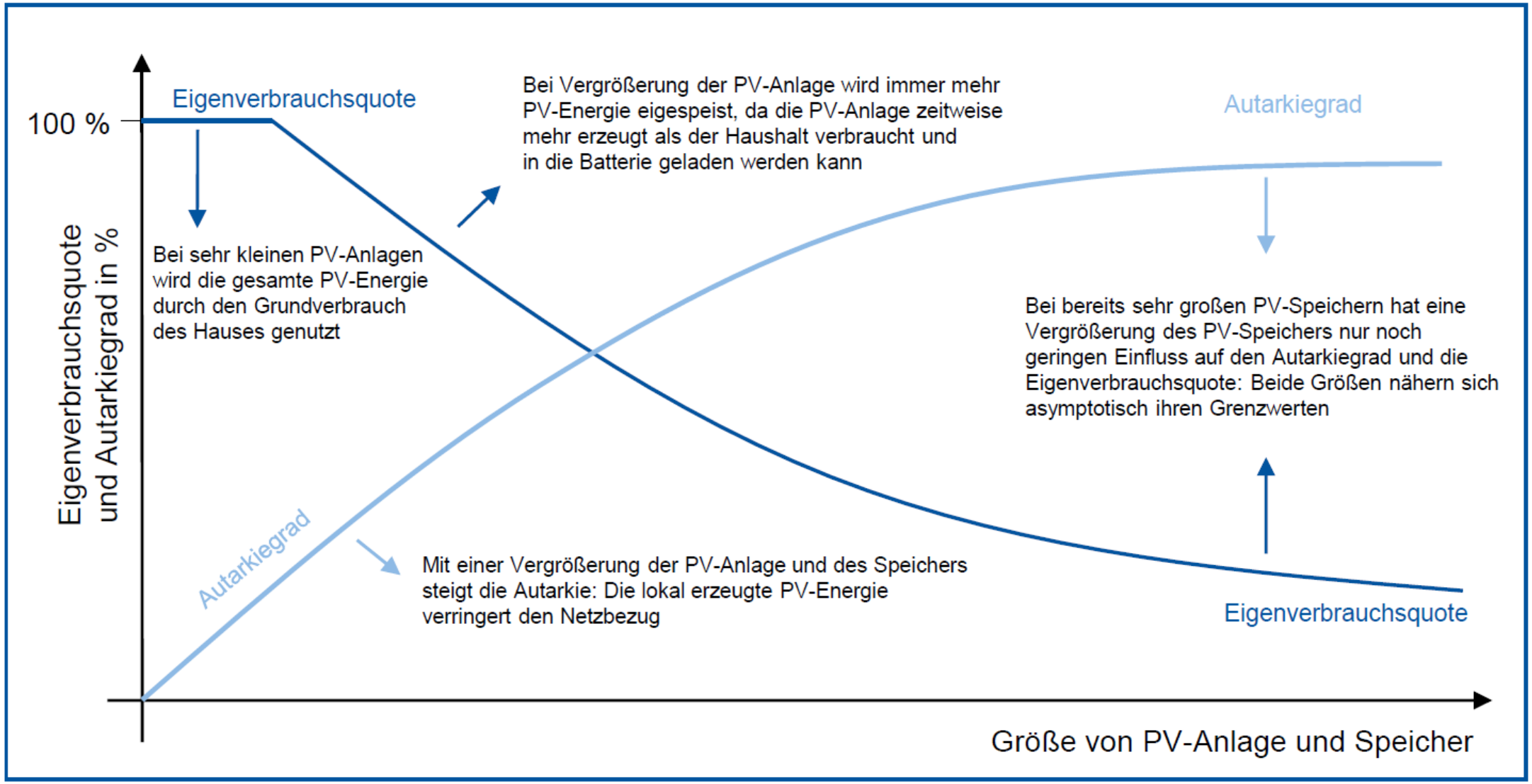


Monatlicher Stromverbrauch

Jährliche Stromverbräuche: Verteilt um 6.000 kWh/a (BDEW: 3.500-4.800 kWh/a)

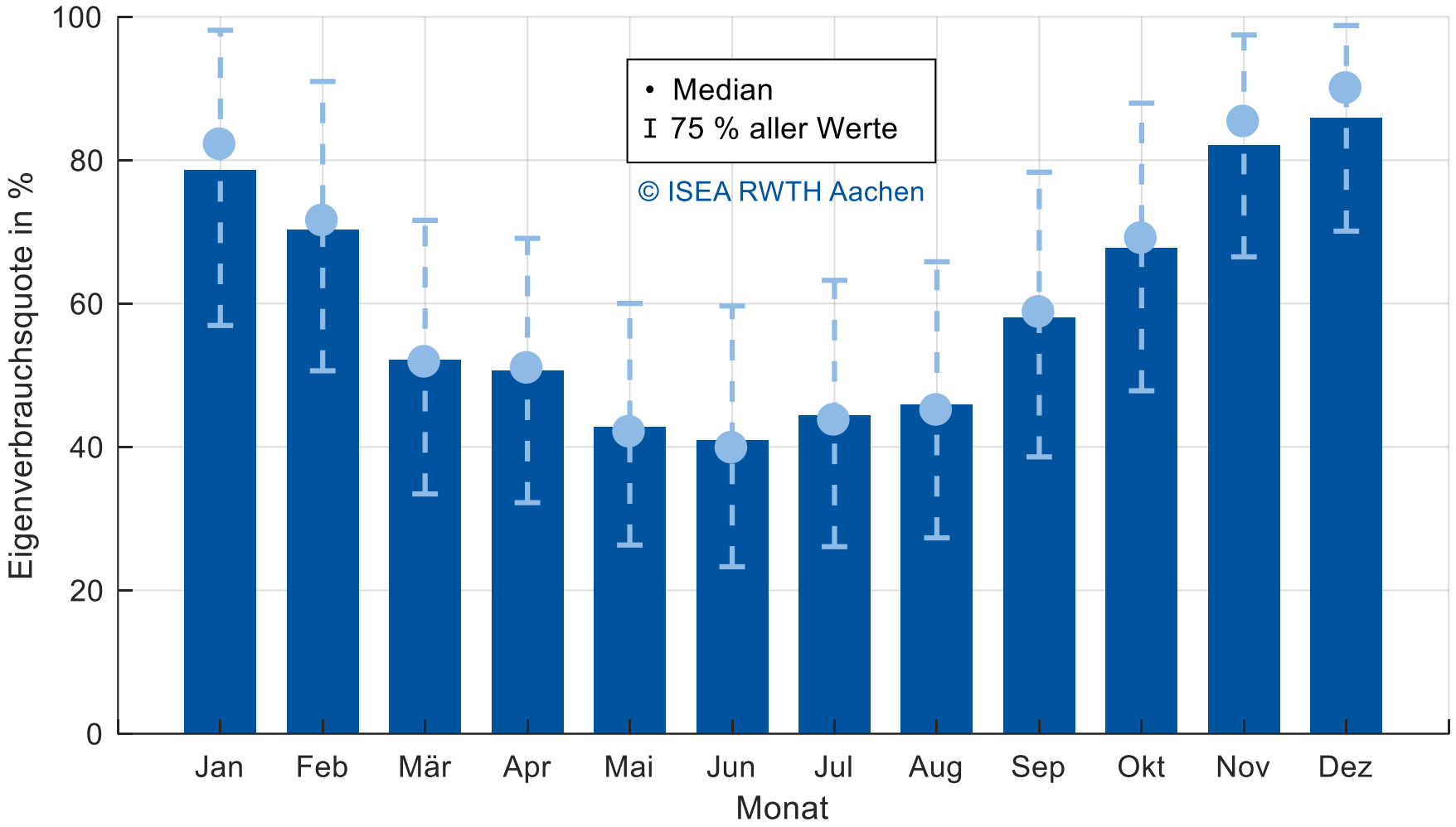


Erklärung Eigenverbrach und Autarkie



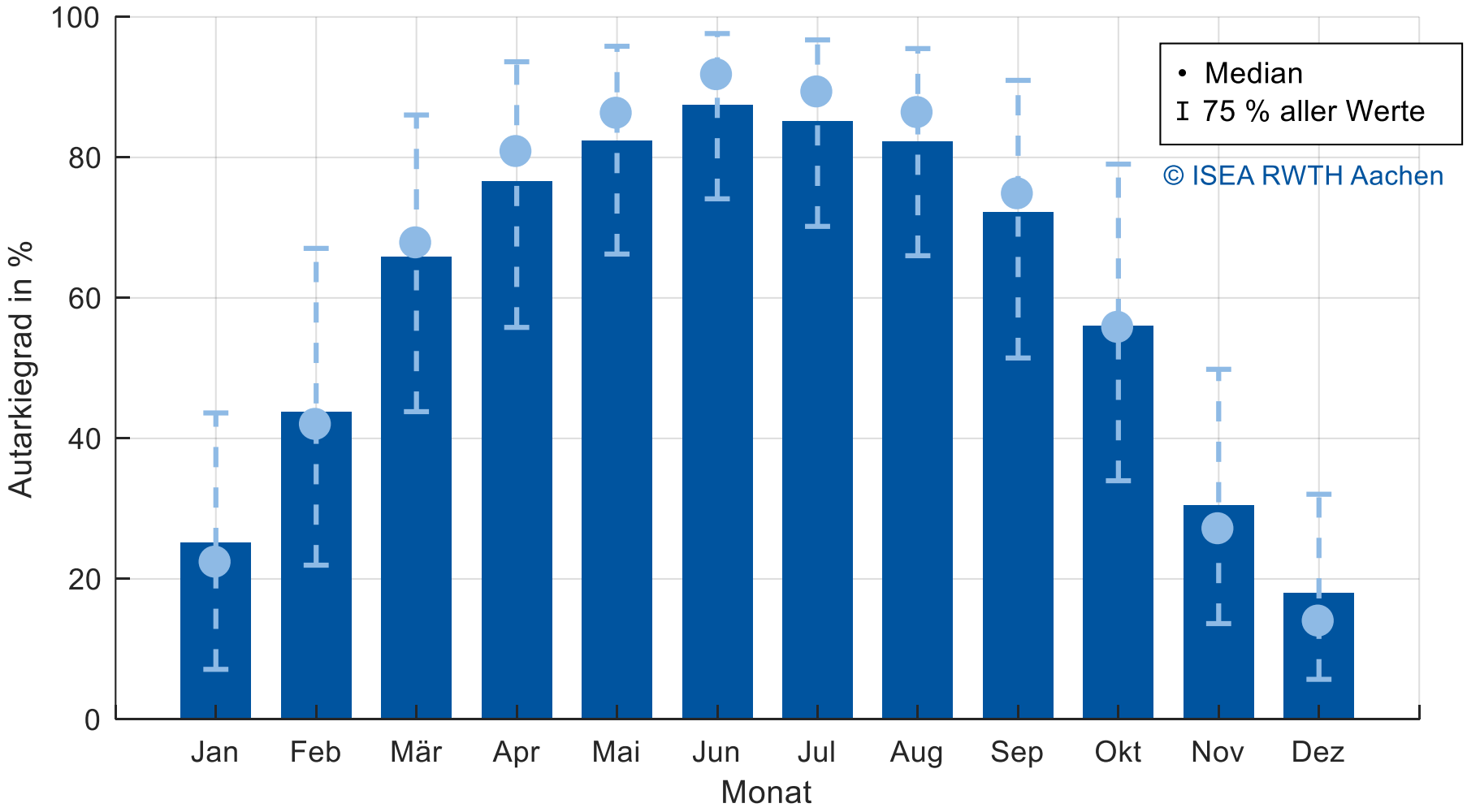
Verlauf der Eigenverbrauchsquoten im Jahresverlauf

Über das Jahr wird etwa 50 % der PV-Energie lokal verbraucht.



Verlauf der Autarkiegrade im Jahresverlauf

Über das Jahr werden lediglich noch rund 40 % des Stromverbrauchs aus dem Netz bezogen.



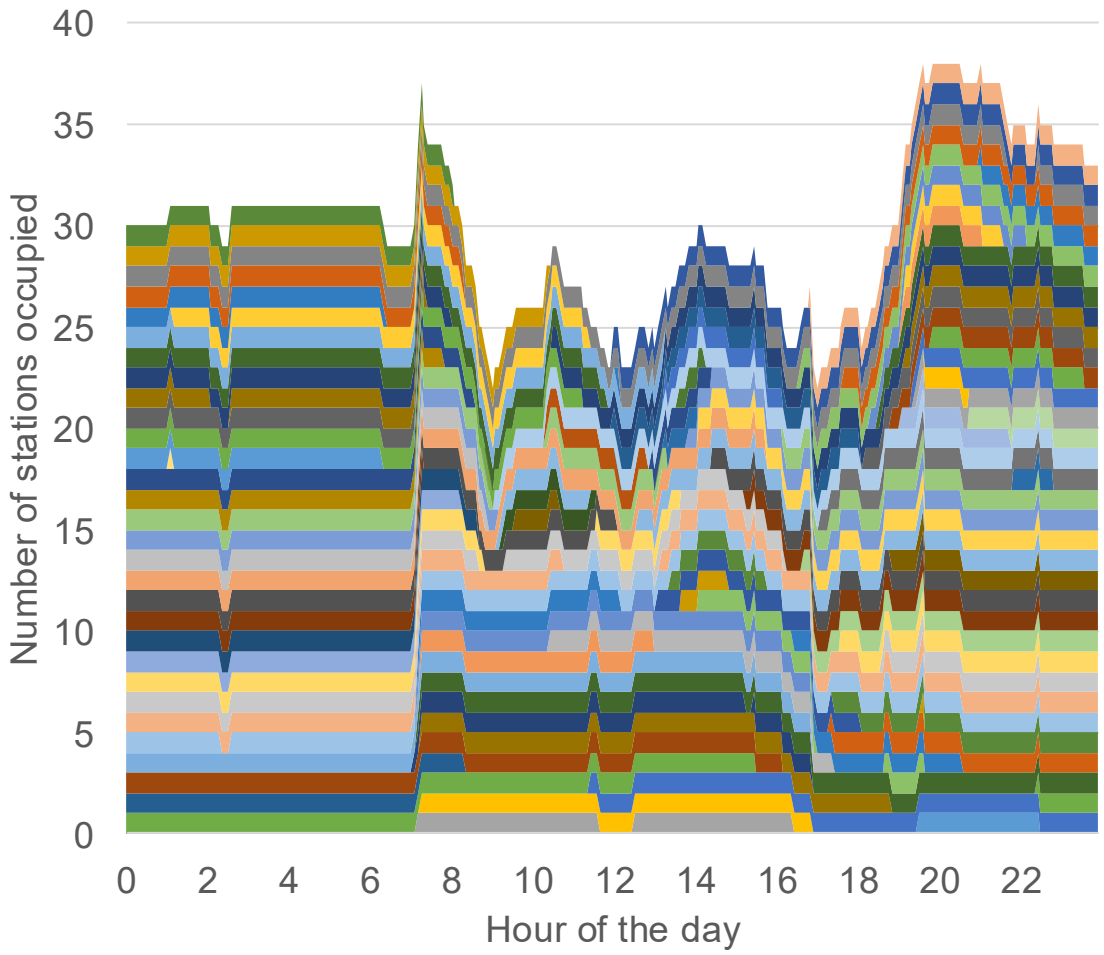
15.10.2026 | Christopher Hecht
Lehrstuhl für Elektrochemische Energiewandlung und Speichersystemtechnik

E.ON Energy Research Center
CARL Center for Ageing, Reliability and Lifetime Prediction of Electrochemical and Power Electronic Systems
ISEA Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe
RWTH AACHEN UNIVERSITY

Agenda

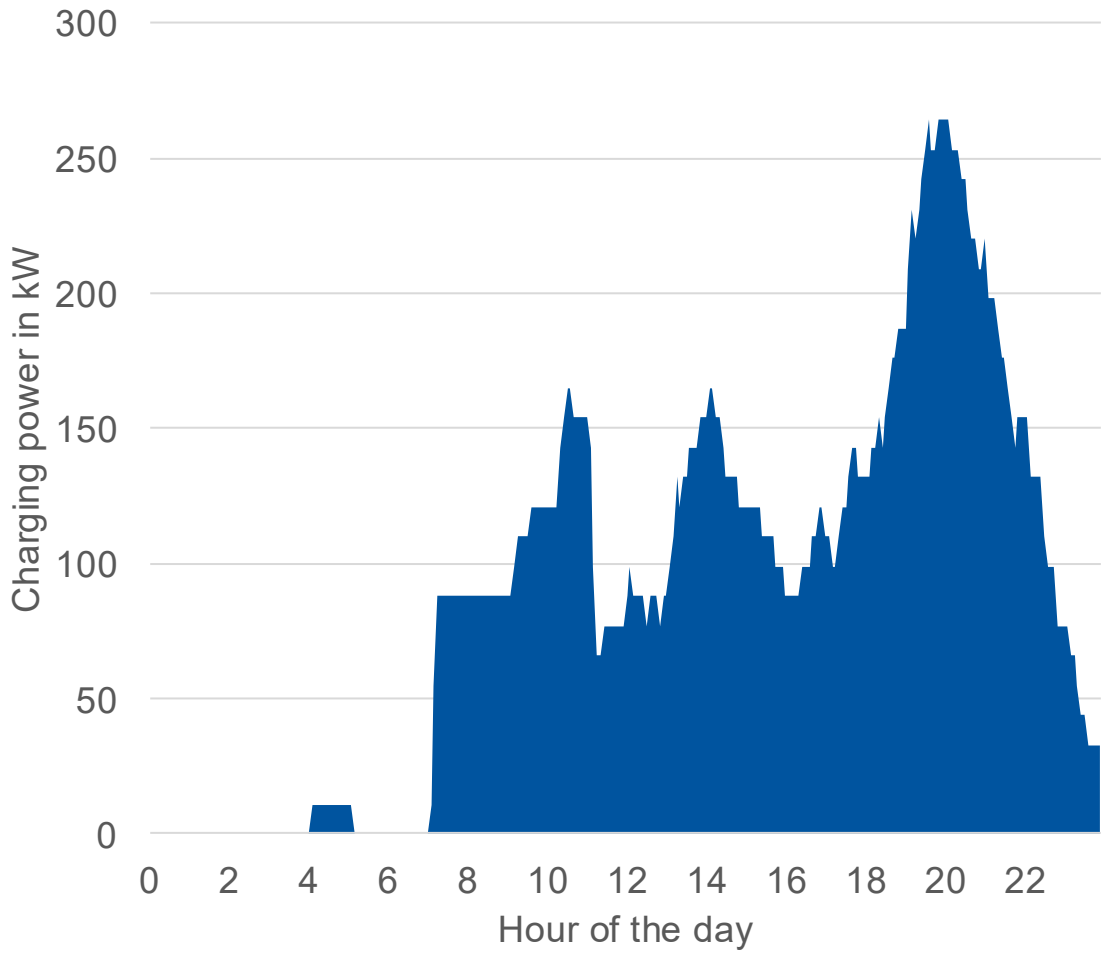
- Überblick Marktentwicklung
- Fokus Elektromobilität
- Fokus Heimspeicher
- **Batteriespeicher zur Lastminderung**
- Intelligente Systeme

Beispieldaten für 80 Stationen-Tage



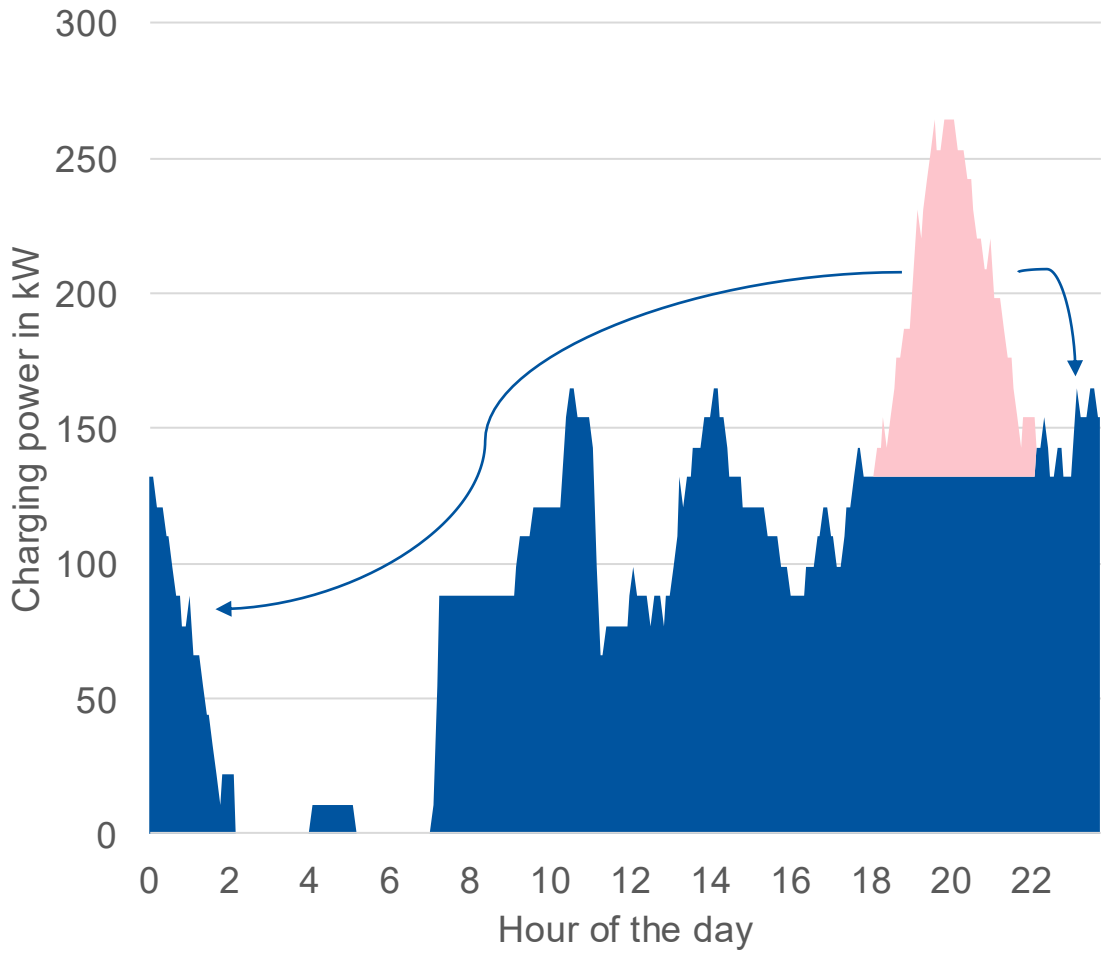
- Die nebenstehende Grafik zeigt Tage an mehreren Stationen in der Dortmunder Innenstadt. Jede Linie repräsentiert die Belegung einer Station an einem bestimmten Tag.
- Auf den ersten Blick sieht das Lademuster recht gleichmäßig aus

Die tatsächliche Ladung ist inhomogener als die Belegung vermuten lässt



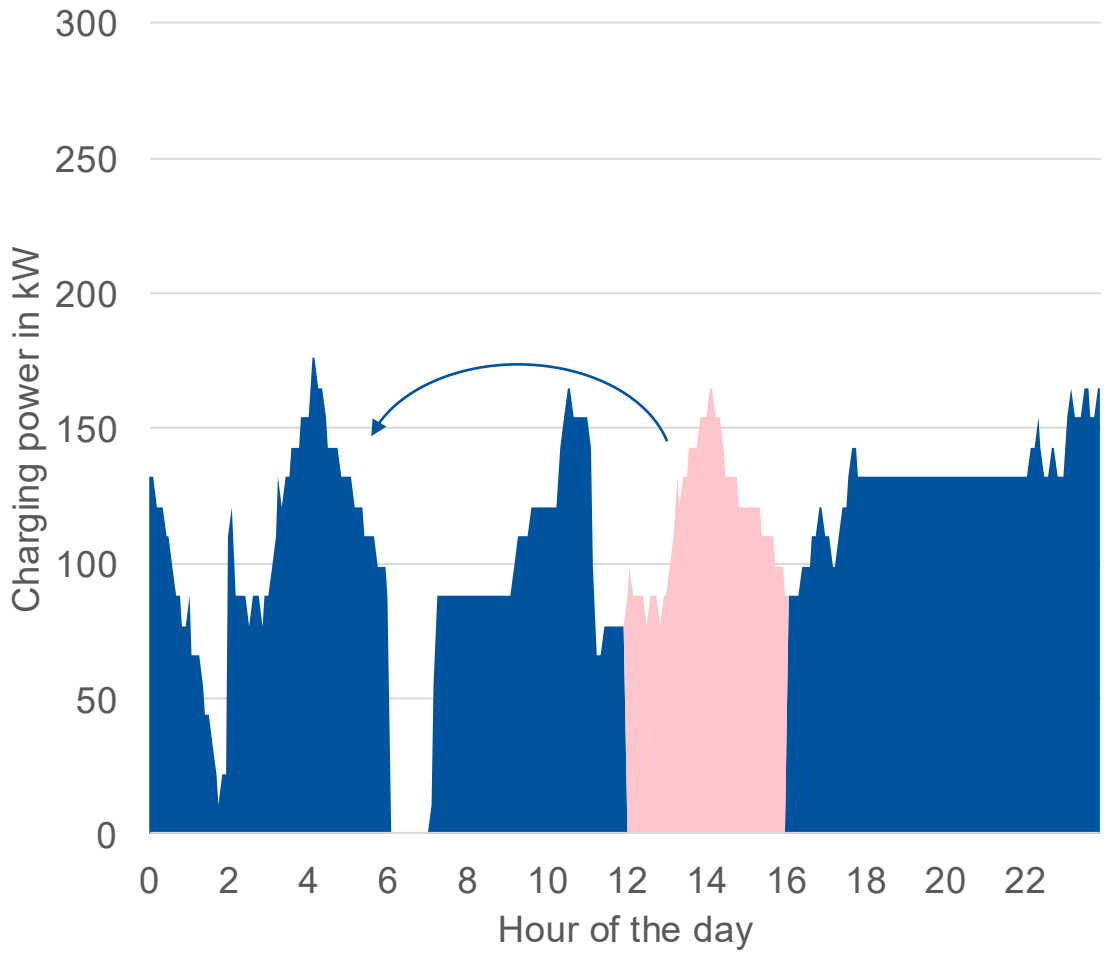
- In der linken Grafik werden nur die ersten 4 Stunden der Belegung mit einer Leistung von 11kW angezeigt, was einer realistischen tatsächlichen Ladung entspricht.
- Es zeigen sich deutliche Lastspitzen und -gradienten. Die größte Spitze in den frühen Nachtstunden kann effektiv durch Verschiebung der Ladung später in die Nacht bekämpft werden.

Intelligente Nachtladung kann Lastspitzen bereits deutlich reduzieren



- Nachdem die Nachtstunden gleichmäßig auf die Nacht verteilt wurden bleiben noch stets Lastspitzen und -gradienten über.
- Gerade zur Mittagszeit lassen sich Ladungen nur schwer verschieben, da Standzeiten deutlich kürzer sind.
- Die insgesamt hohe Stromnachfrage kann durch zusätzliche Bedarfe von E-Autos die Kapazität der Verteilnetze überschreiten.
- Um teure Erdarbeiten zu vermeiden kann dabei ein Pufferspeicher eingesetzt werden.

Mittagspeaks stellen eine Herausforderung dar und können durch Pufferspeicher umgangen werden

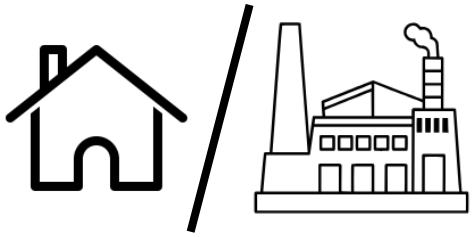


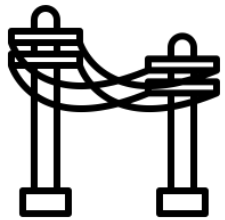
- Die linke Grafik zeigt ein Beispiel, bei dem die Ladung aus der Mittagszeit mit einem Pufferspeicher in die Morgenstunden verlegt wurde
- Alternativ könnte auch ein kleinerer Speicher zur Lastspitzenkappung eingesetzt werden
- Ein solches Profil ist für Verteilnetze meist problemlos bedienbar
- Der Speicher steht in der verbleibenden Zeit für weitere Netzdienstleistungen bereit oder kann eingesetzt werden, um das Profil noch weiter zu glätten
- Die aufgezeigte Logik gilt in gleichem Maße für Ladestationen auf Betriebsgeländen mit begrenzten Netzanschluss

Agenda

- Überblick Marktentwicklung
- Fokus Elektromobilität
- Fokus Heimspeicher
- Batteriespeicher zur Lastminderung
- **Intelligente Systeme**

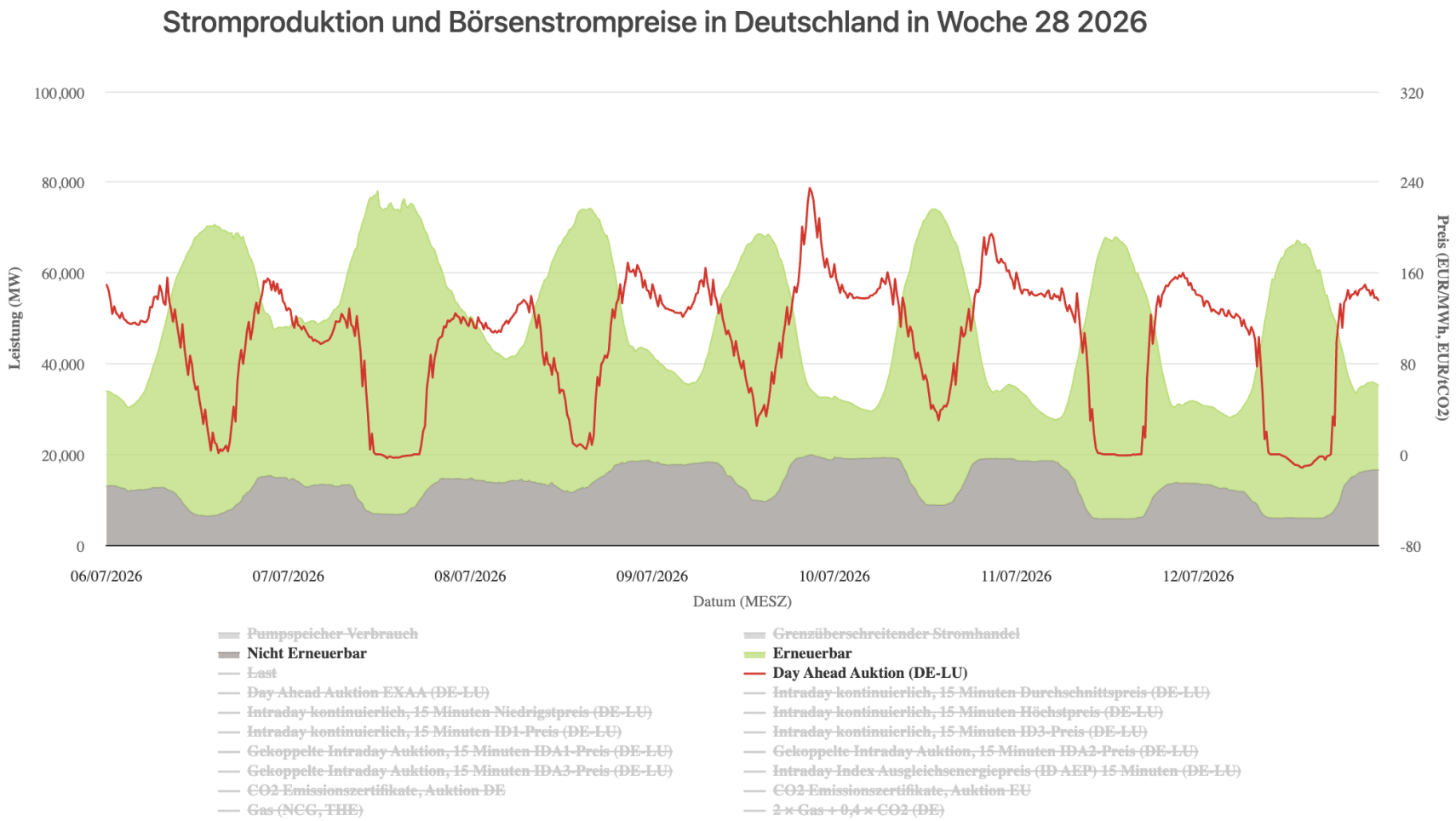
Anwendungsfälle intelligente Systeme





Behind the meter	Front of the meter
■ Peak shaving: *Reduktion der höchsten Netzbelastung*	■ **Arbitrage trading**: *Kauf günstigen Stroms an der Strombörse und Verkauf teuren Stroms, Bereitstellung von Flexibilität*
■ **Solar self-consumption optimization**: *Maximierung von PV-Eigenverbrauchter*	■ Frequency and other grid services: *Regelleistungsprodukte wie Primärregelleistung (FCR), Sekundärregelleistung (aFRR) und Tertriärregelleistung (mFRR)*
■ **Backup power**: *Verfügbare Energie bei Netzausfall*	
■ Reactive power and voltage control: *Lokale Netzdienstleistungen*	

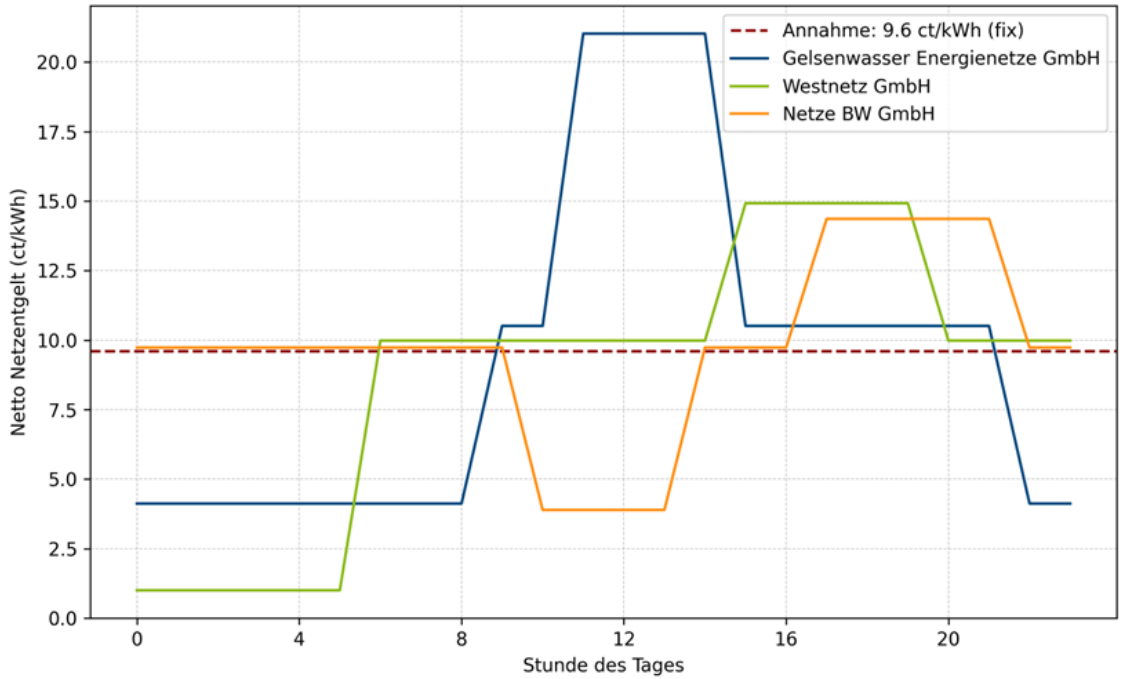
Strompreise variieren stark im Tagesverlauf



https://www.energy-charts.info/charts/price_spot_market/chart.htm?l=de&c=DE&year=2026&week=28&legendItems=0x6g00

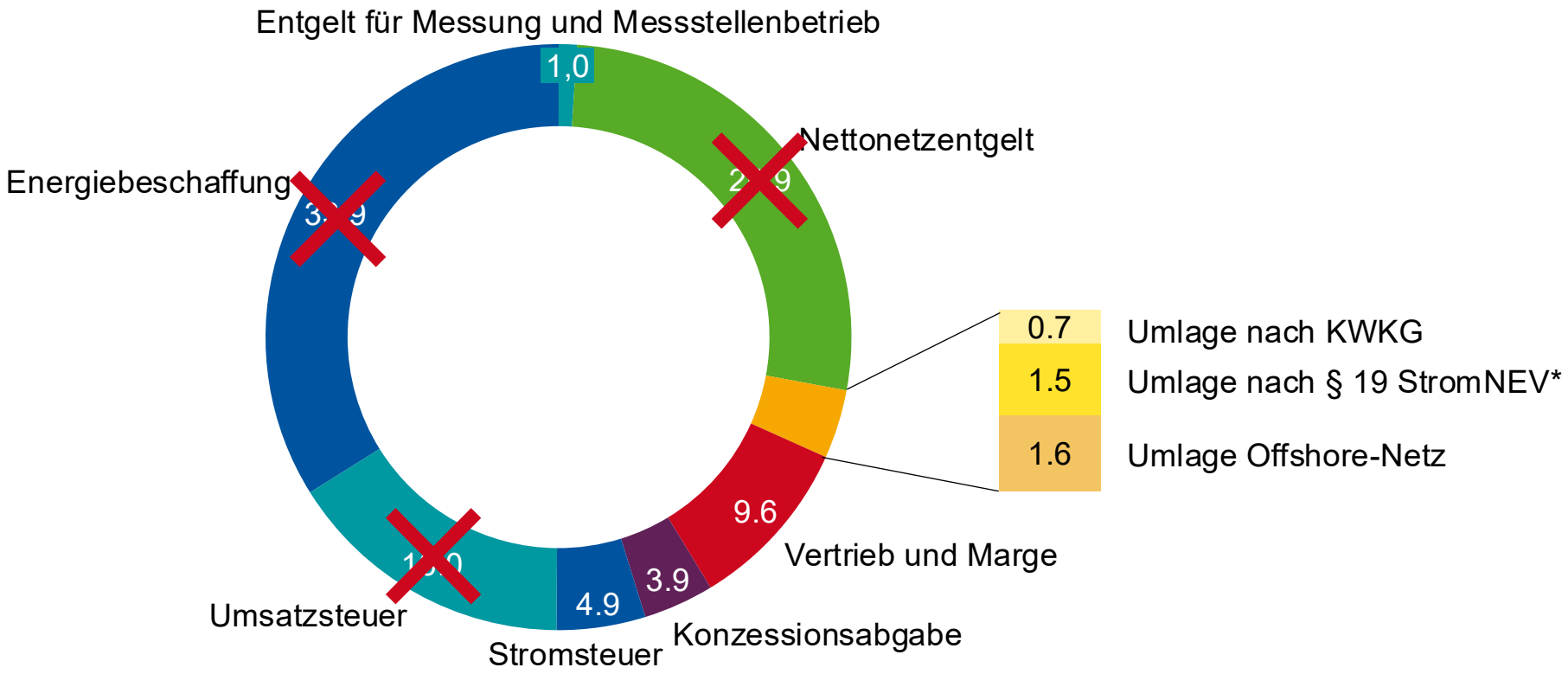
Variable Netzentgelte erlauben deutliche Senkung von Stromkosten

Netzentgelte nach §14a EnWG Modul 3 im Vergleich



Stromkosten sind zum richtigen Zeitpunkt nahe 0

Strom: Aufteilung des Einzelhandelspreisniveaus für Haushaltskunden für das Abnahmeband ab einschließlich 2.500 bis 5.000 kWh pro Jahr zum 1. April 2024 (über alle Vertragskategorien mengengewichteter Mittelwert, Band III, Eurostat: DC), in Prozent



Source: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Beschlusskammern/BK08/BK8_06_Netzentgelte/BK8_NetzE.html

Aufbau eines Front-of-the-meter systems



https://www.mobilityhouse.com/int_en/our-company/newsroom/article/whitepaper-by-the-mobility-house-energy-and-sigenergy-bidirectional-charging-as-a-key-technology-for-global-energy-flexibility

Begriffsdefinition

	Smart Charging	Vehicle-to-home	Vehicle-to-grid
			
Ziel	Systemschonendes Laden	Analog zu PV-Heimspeichern	Systemdienliches (Ent-) Laden
Bidirektional	Nein	Ja	Ja
Smart Meter notwendig	Ja, außer bei PV-Laden	Nein	Ja

Wie weit sind wir?

	Smart Charging	Vehicle-to-home	Vehicle-to-grid
			
Marktreife	Ist erreicht	In ein bis zwei Jahren	In einigen Ländern Europa‘s erreicht
Geschätztes Erlöspotential*	Bis zu 300 € pro Fahrzeug und Jahr **	200 bis 500 € pro Fahrzeug und Jahr ***	200 bis 800 € pro Fahrzeug und Jahr ****
Batteriealterung	Stark reduziert relativ zu Vollladung nach Ankunft	Reduziert relativ zu Vollladung nach Ankunft	Reduziert relativ zu Vollladung nach Ankunft

* Bei einem Hochlauf der Elektromobilität ist mit Kannibalisierungseffekten zu rechnen. Die Angaben beziehen sich auf heutige Marktpreise.
** Schätzung nach Jedlix, beinhaltet Bereitstellung von Regelleistung. Gesparte Netzentgelte sind gegebenenfalls höher.
*** Schätzung analog zu PV-Heimspeichern. Ist das Fahrzeug selten vor Ort können die Beträge niedriger werden.
**** Schätzung Nationale Plattform Mobilität (2020); Aurora Energy Research (2018); Transport & Environment (2019), NREL (2017)
Bach Andersen et al. (2019) melden 1700 – 2500 € pro Fahrzeug und Jahr für Vehicle-to-grid, liegen damit aber weit über anderen Schätzungen

Wettbewerb auf kW-Basis ist hart





- Beispiel: BMW Wallbox Professional
- 2095 € für 10 kW Entladeleistung

- Typische Kosten deutlich unter 200 €/kW
- Deutlich höhere Verfügbarkeit

=> V2G muss seine Nische finden und sich beweisen

Image source: https://www.bmw.de/de/shop/ls/dp/physical-goods/903171

Image source: https://pv-magazine-usa.com/2022/12/12/nevadas-largest-utility-to-deploy-440-mwh-battery-energy-storage-system/

Was lohnt sich finanziell?

- E-Auto (wenn vorhanden):
  - Smart Charging: Immer, wenn PV oder dynamische Preise vorhanden, da quasi keine Zusatzkosten
  - Bidirektionales Laden: Einige attraktive Angebote (The Mobility House, Octopus, E.ON)

- Heimspeicher
  - Ohne PV: Kaum, außer Stromausfälle sind signifikante Sorge
  - Mit PV: Mittlerweile oft finanziell sinnvoll, aber nicht zu groß

- Sonstige Geräte
  - Wärmepumpe: Meist nur bei entsprechendem Wärmespeicher oder smarten Thermostaten
  - Stromverbräuche bei sonstigen Geräten wie Waschmaschine (ca. 1 kWh/Zyklus), Spülmaschine (ca. 1 kWh/Zyklus) oder Trockner (ca. 1 – 4 kWh/Zyklus) eher gering

Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt



Christopher Hecht
Christopher.Hecht@isea.rwth-aachen.de
www.battery-charts.de

Lehrstuhl für Elektrochemische Energiewandlung
und Speichersystemtechnik
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Dirk Uwe Sauer
RWTH Aachen University

Campus-Boulevard 89
52074 Aachen
GERMANY

www.isea.rwth-aachen.de

Wir danken

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:
Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

schaufenster elektromobilität
Eine Initiative der Bundesregierung





Batteriealterung • Batteriemodelle • Batteriediagnostik • Batteriepackdesign • Elektromobilität • Stationäre Energiespeicher • Energiesystemanalyse

Sektorenkopplung im Wohngebäude
Strom, Wärme und Mobilität
Heimspeicher und Elektromobilität

Düsseldorf

15.10.2026

Christopher Hecht

Lehrstuhl für Elektrochemische Energiewandlung und Speichersystemtechnik

E.ON Energy Research Center

CARL Center for Ageing, Reliability and Lifetime Prediction of Electrochemical and Power Electronic Systems

ISEA Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe

RWTH AACHEN UNIVERSITY

Aktuelle Entwicklungen

ISO 15118-20 (04.2022)

- Definition Kommunikationsschnittstelle zwischen Fahrzeug und Ladestation
- Voraussetzung für intelligentes und bidirektionales Laden
- Kommunikation von Ladefahrplänen, Ladezustand, etc.
- Notwendig für Plug&Charge mit mehr als einem Vertrag

Ladesäulenverordnung und AFIR



- Regeln Mindestanforderungen für öffentliche Ladeinfrastruktur
- Karten-Bezahlterminal werden in beiden gefordert, allerdings in unterschiedlichem Umfang
- AFIR fordert alle 60 km eine Ladestation mit mindestens einem Ladepunkt mit 150 kW ab 2025

Energy Performance of Buildings Directive (12.2021)

- Bei Neubauten/Renovierung: Vorverkabelung aller Stellplätze von Parkplätzen mit mehr als 3 Stellplätzen sowie 1 installierter (intelligenter) Ladepunkt bei mehr als 5 Stellplätzen
- Bestandsgebäude: 1 intelligenter Ladepunkt pro 10 Stellplätzen bei mehr als 20 Stellplätzen ab 2027

Schwerlastverkehr



- Ladestecker mit bis zu 1250 V und 3000 A (und somit bis zu 3,75 MW)
- Ziel: Nachladung eines LKW in unter 45 Minuten
- Ermöglicht elektrischen Schwerlastverkehr
- Ausschreibung initiales Netz bis Q4/2023

Infrastrukturanforderungen der Energy Performance of Buildings Directive

- Bei neuen Nichtwohngebäuden und Nichtwohngebäuden, die einer größeren Renovierung unterzogen werden, mit mehr als fünf Parkplätzen:
  - Mindestens eine Ladestation
  - Vorverkabelung für jeden Parkplatz
  - Mindestens einen Fahrradstellplatz für jeden Pkw-Stellplatz.
- Bei neuen Wohngebäuden und Wohngebäuden, die umfassend renoviert werden, mit mehr als drei Stellplätzen:
  - Vorverkabelung für jeden Parkplatz
  - mindestens zwei Fahrradabstellplätze für jede Wohnung.

Quelle: https://www.gebaeudeforum.de/ordnungsrecht/energieeinsparrecht/epbd/