



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

# Sektorenkopplung im Wohngebäude

## Strom, Wärme und Mobilität

### Heimspeicher und Elektromobilität

Düsseldorf

31.08.2023

Christopher Hecht, Jan Figgner, Dirk Uwe Sauer

Lehrstuhl für Elektrochemische Energie-  
wandlung und Speichersystemtechnik



# Executive Summary

---

- Heimspeicher sind ein Wachstumsmarkt, insb. bei stark fluktuierenden Strompreisen 2022
- Die Energiekapazität ist oftmals bei ca. 10 kWh und damit größer als ein typischer Nachtverbrauch
- Elektro-PKW setzen zunehmend durch und werden bis 2030 das dominante Marktsegment
- Die Batteriekapazitäten wachsen sodass eine Nachladung nicht mehr täglich notwendig ist
- 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

## Überblick Marktentwicklung

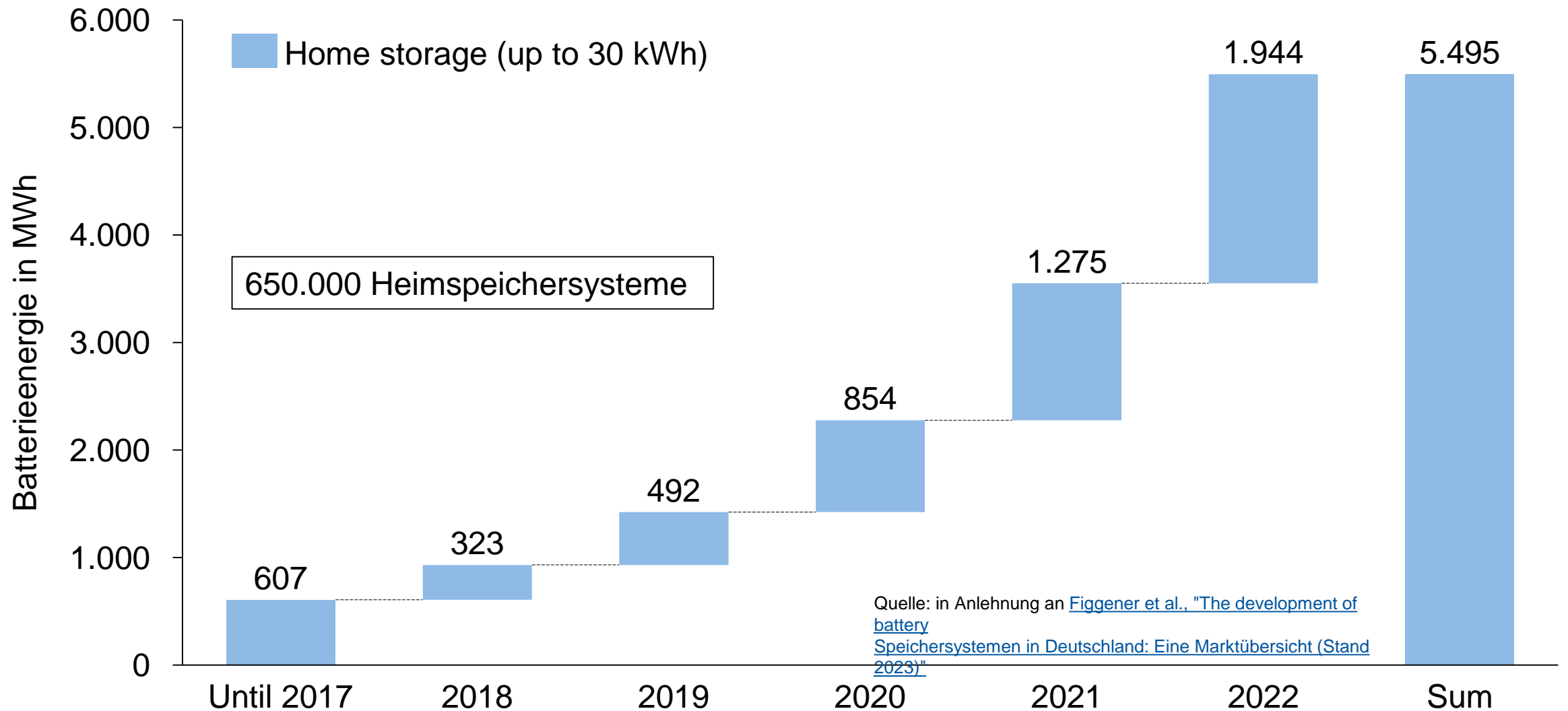
Fokus Elektromobilität

Fokus Heimspeicher

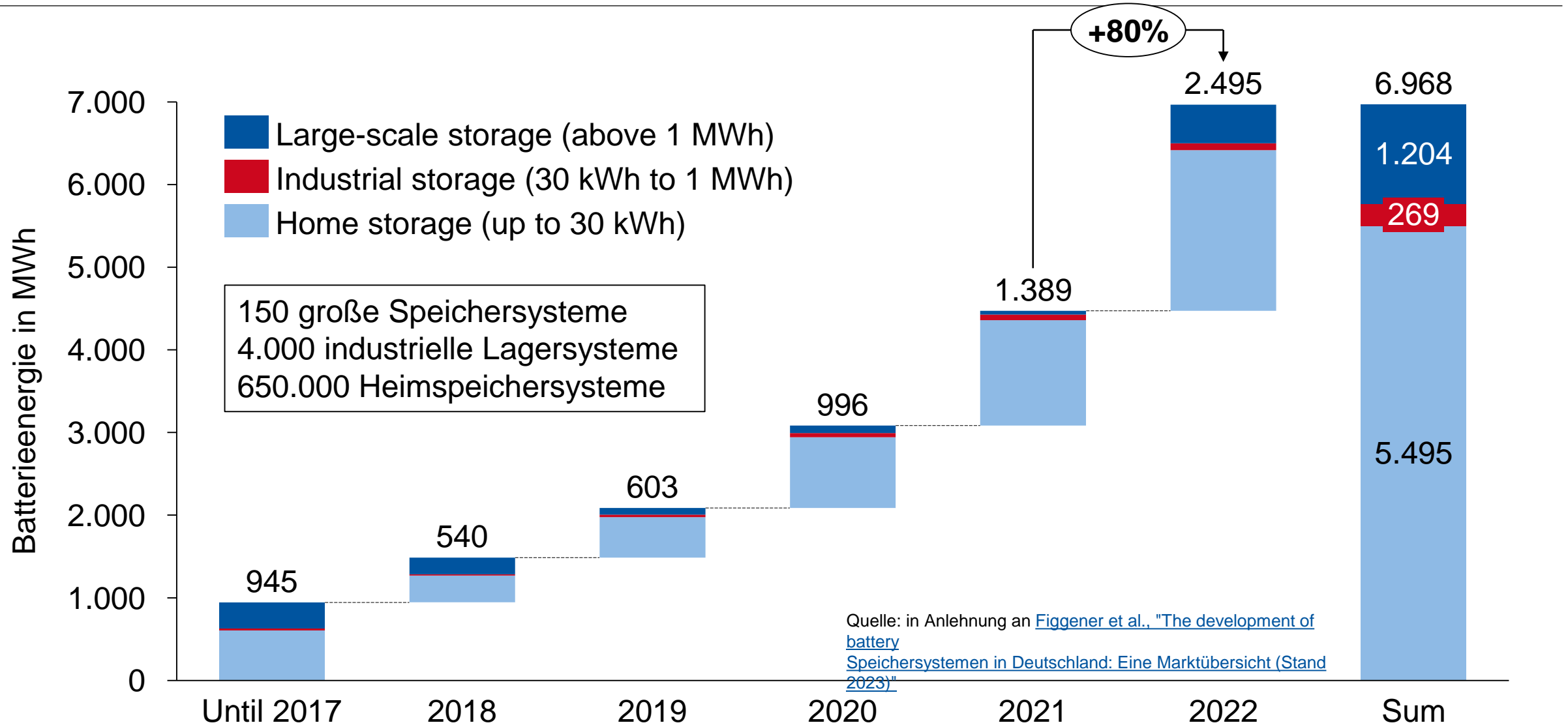
Batteriespeicher zur Lastminderung

Intelligente Systeme

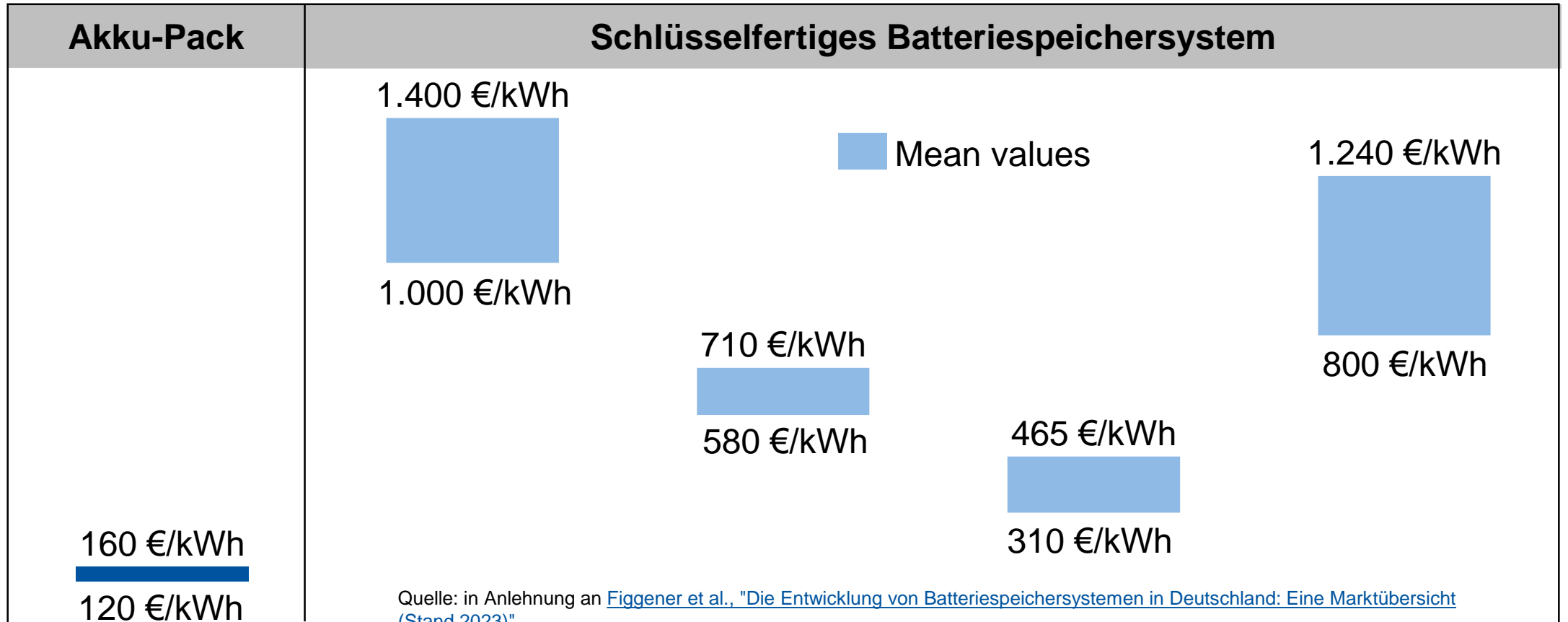
# Der Batteriespeichermarkt in Deutschland bis Ende 2022



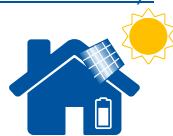
# Der Batteriespeichermarkt in Deutschland bis Ende 2022



# Preise, Preise, Preise im Jahr 2022



Akku-Pack  
(Weltmarkt)



Startseite  
Speichersystem



Industriell  
Lagersystem

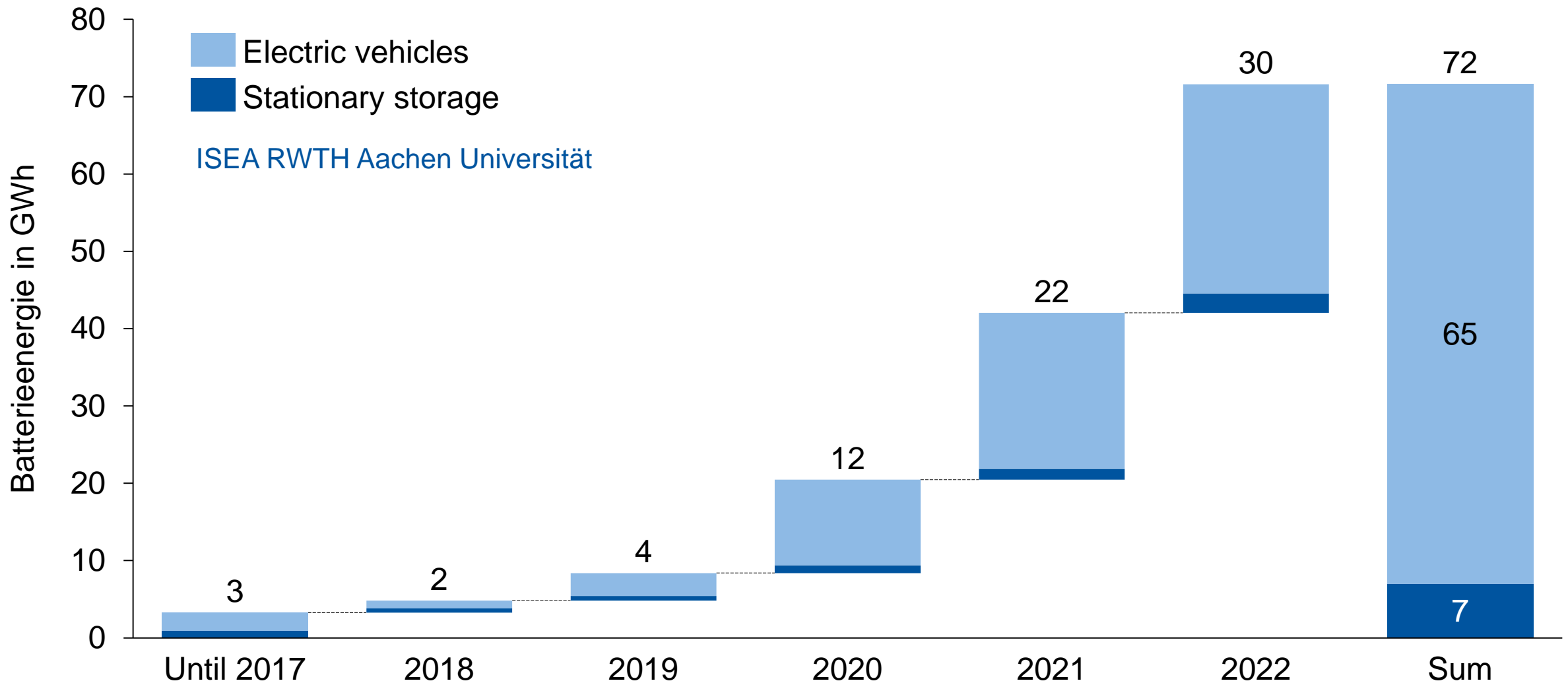


Groß angelegte  
Speichersystem



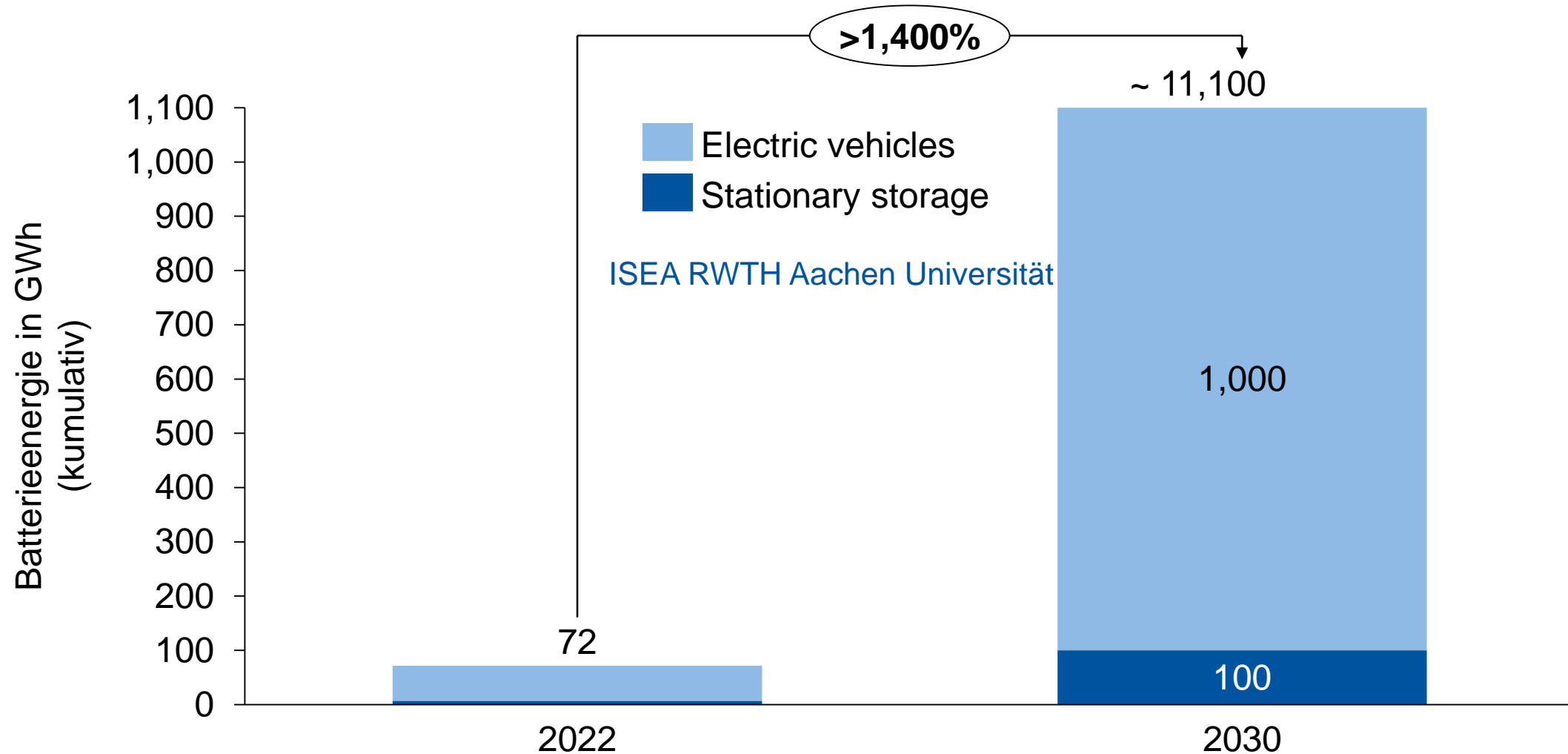
Batterieelektrisches Fahrzeug  
(Gesamtsystem)

# Elektrofahrzeuge machen den größten Anteil in Deutschland aus



Quelle: in Anlehnung an [Figgner, Hecht et al. "Die Entwicklung von Batteriespeichersystemen in Deutschland: Eine Marktübersicht \(Stand 2023\)"](#)

# Und die Zukunft ist noch größer: Batteriespeicher in Deutschland



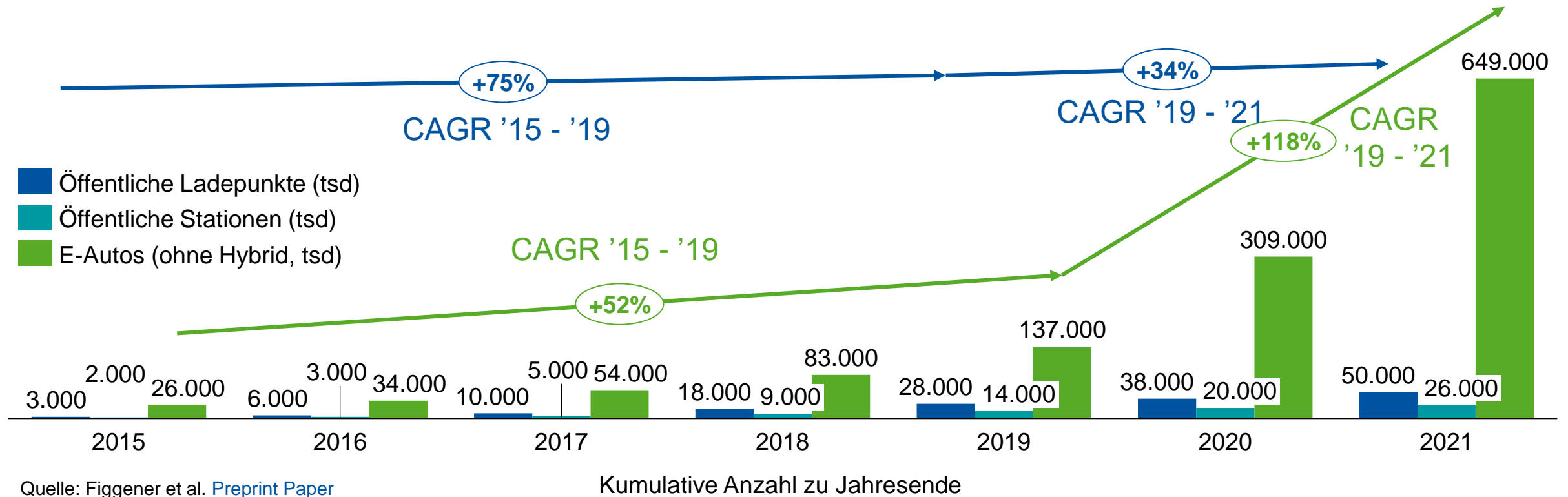
2022 & EV 2030: [Figgenger et al., "Die Entwicklung von Batteriespeichersystemen in Deutschland: Eine Marktübersicht \(Stand 2023\)"](#)

BSS 2030: [Wille-Haussmann et al. "Batteriespeicher an ehemaligen Kraftwerksstandorten"](#)



# Markthochlauf

- Sowohl im Ladesäulenmarkt als auch im Elektroautomarkt herrscht aktuell extrem viel Bewegung
- Die jährlichen Wachstumsraten (CAGR) haben bei E-Autos seit 2020 enorm zugenommen
- Bei der Anzahl der Ladepunkte hat sich das Wachstum in den letzten Jahren deutlich verlangsamt



# Agenda

---

Überblick Marktentwicklung

**Fokus Elektromobilität**

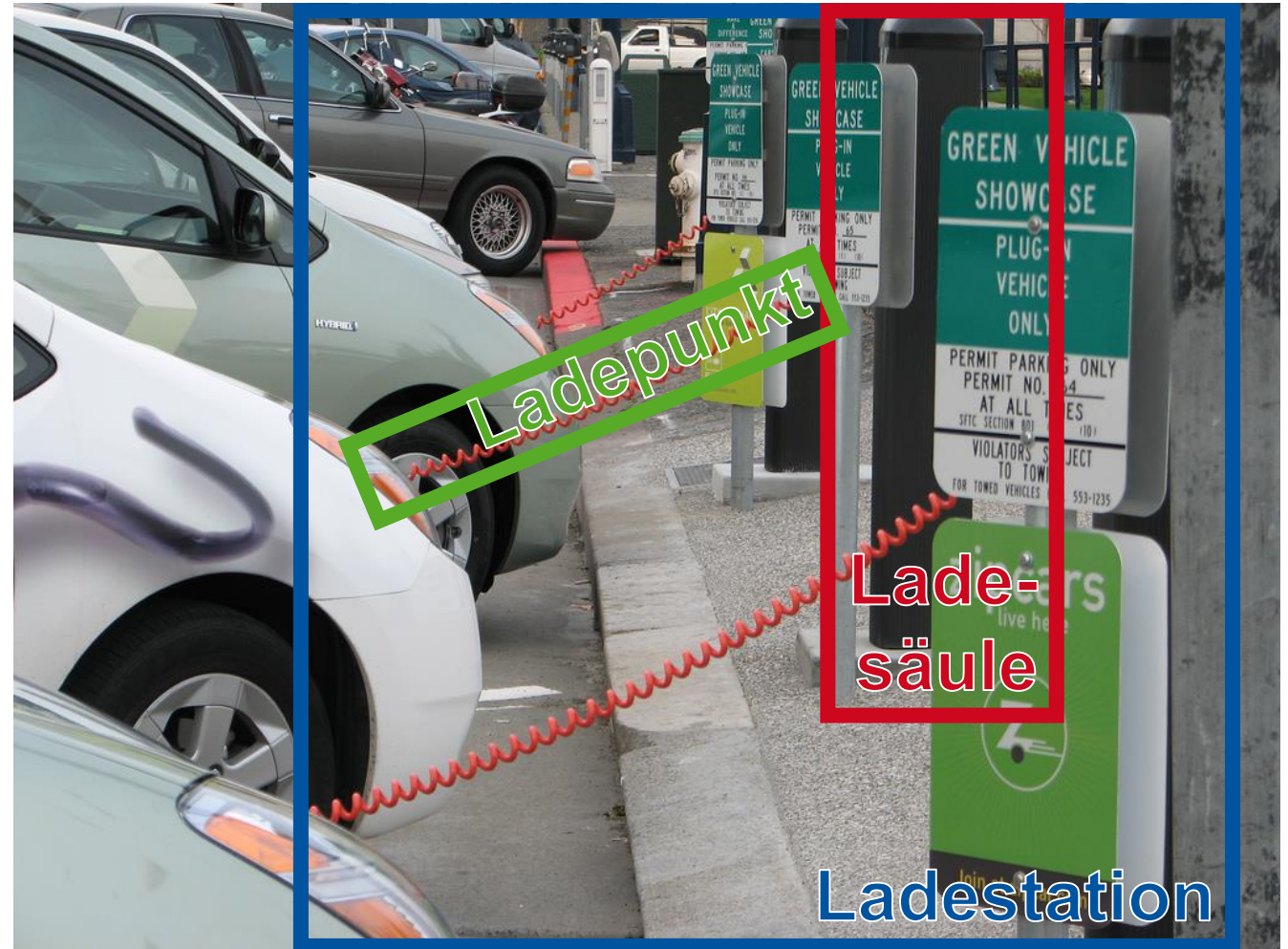
Fokus Heimspeicher

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

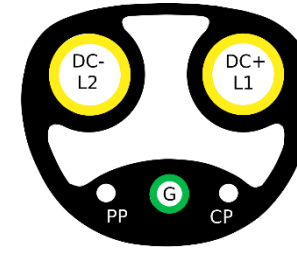


CCS-Stecker



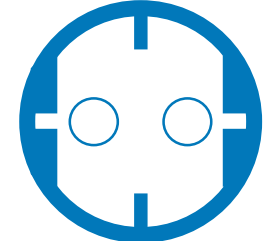
CHAdEMO-Stecker

Quelle: Induux



NACS /  
Tesla

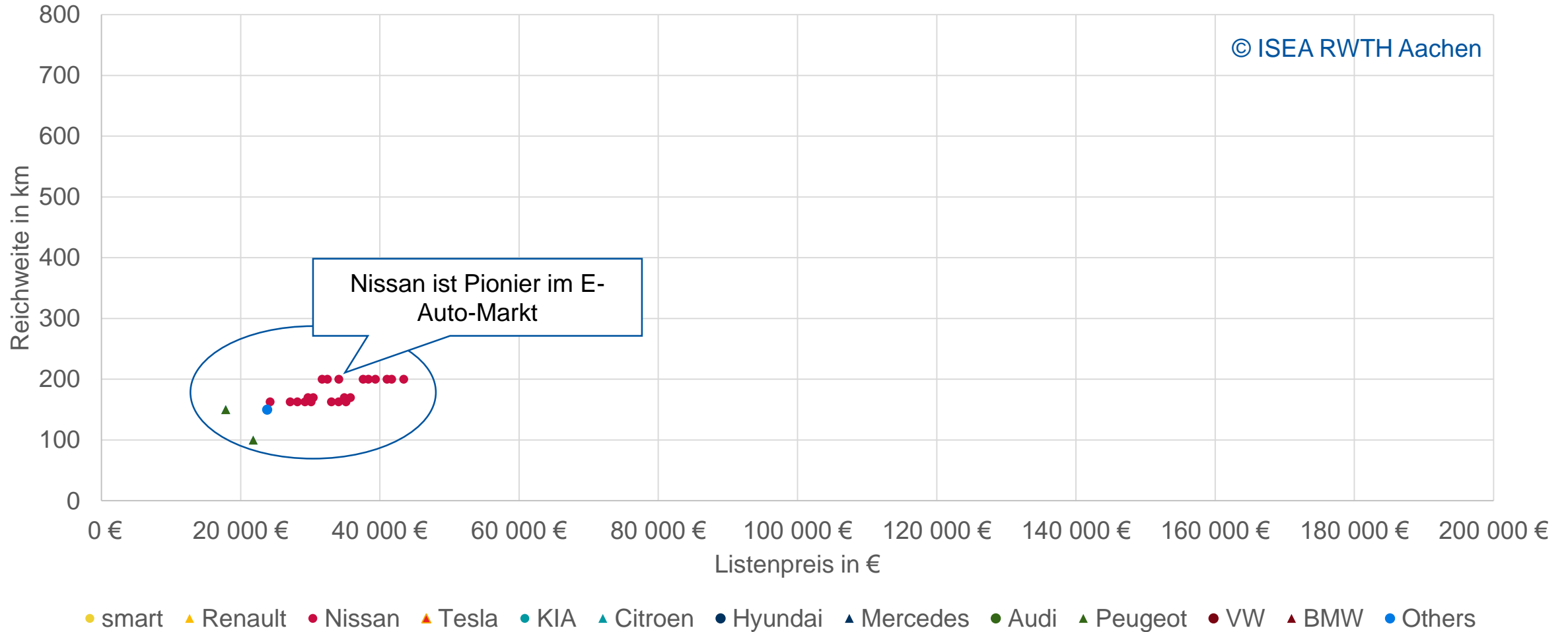
RickyCourtney@Wikipedia



Schuko-Stecker

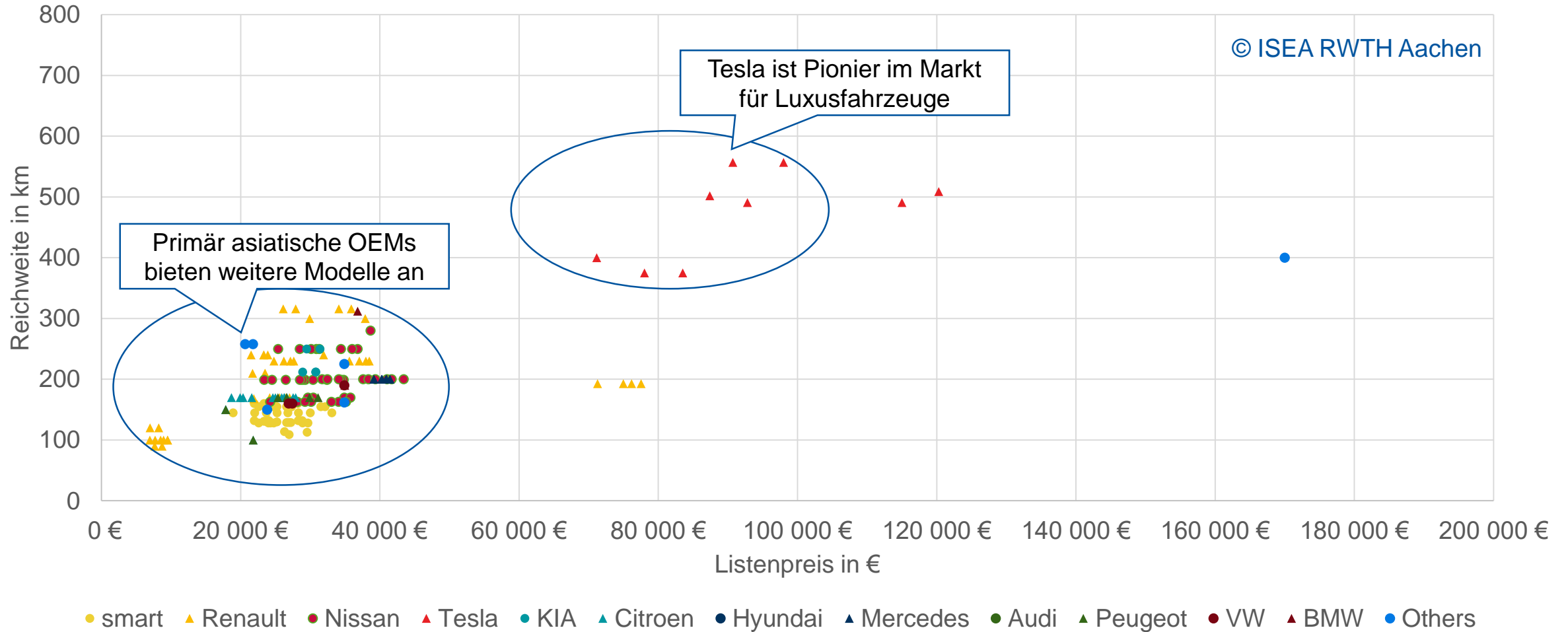
- Typ2 am gängigsten in Europa mit 2 Signalkabeln (oben), 1 Schutz-, 1 Neutral- und 3 Phasenleitern
- Typ1 ist in Europa quasi nicht präsent
- CCS ist ein Typ2 mit DC-Erweiterung. Z.T. wird auf Phasenleiter und Neutralleiter verzichtet
- CHAdEMO verfügt über 2 DC-Leiter (große Kreise) sowie insgesamt 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



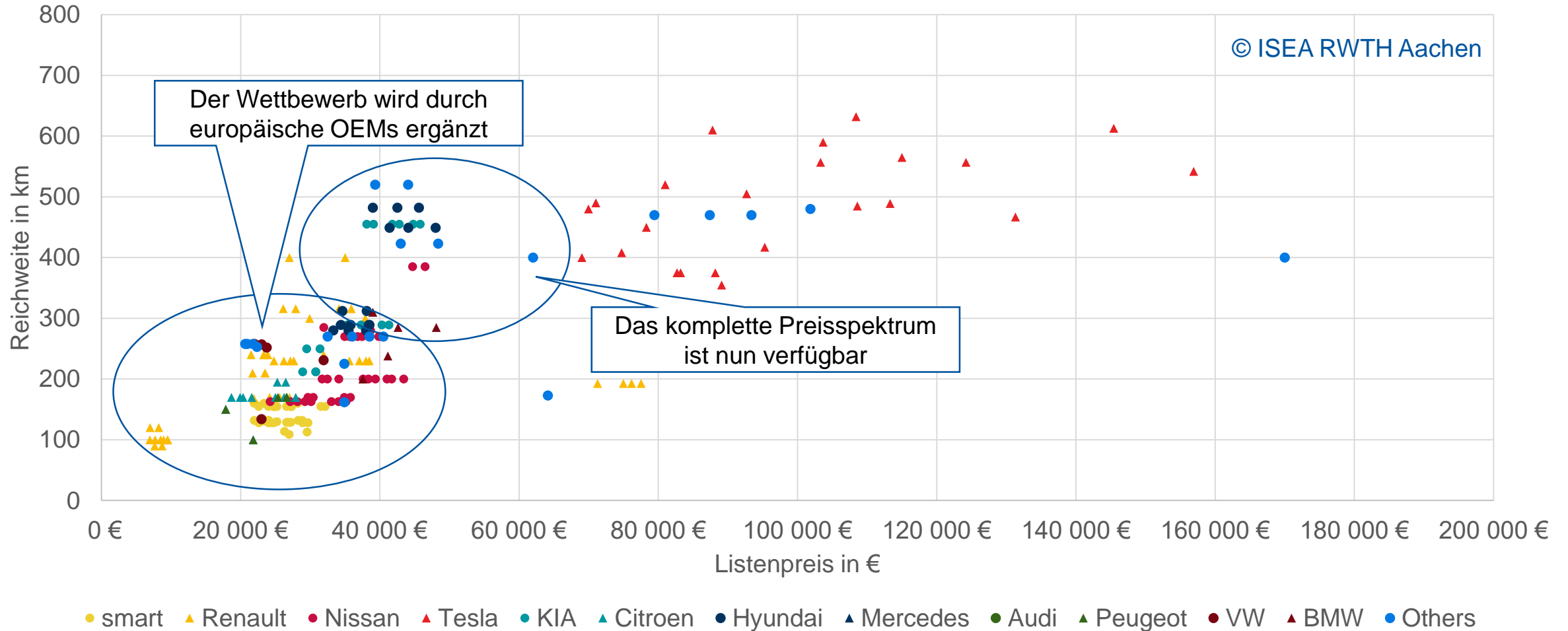
Quelle: Eigene Darstellung nach ADAC

# Verfügbare E-Fahrzeugmodelle 2015



Quelle: Eigene Darstellung nach ADAC

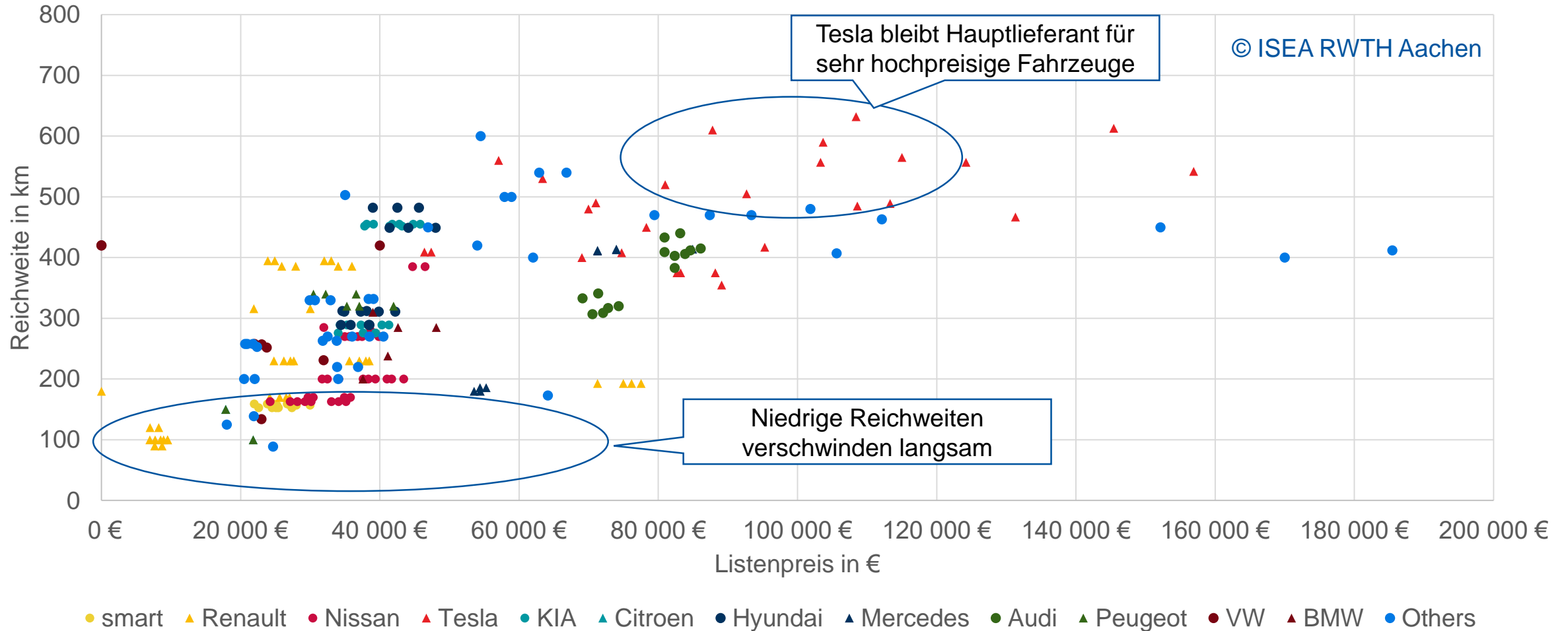
# Verfügbare E-Fahrzeugmodelle 2018



Quelle: Eigene Darstellung nach ADAC



# Verfügbare E-Fahrzeugmodelle 2020



Quelle: Eigene Darstellung nach ADAC



# Agenda

---

Überblick Marktentwicklung

Fokus Elektromobilität

**Fokus Heimspeicher**

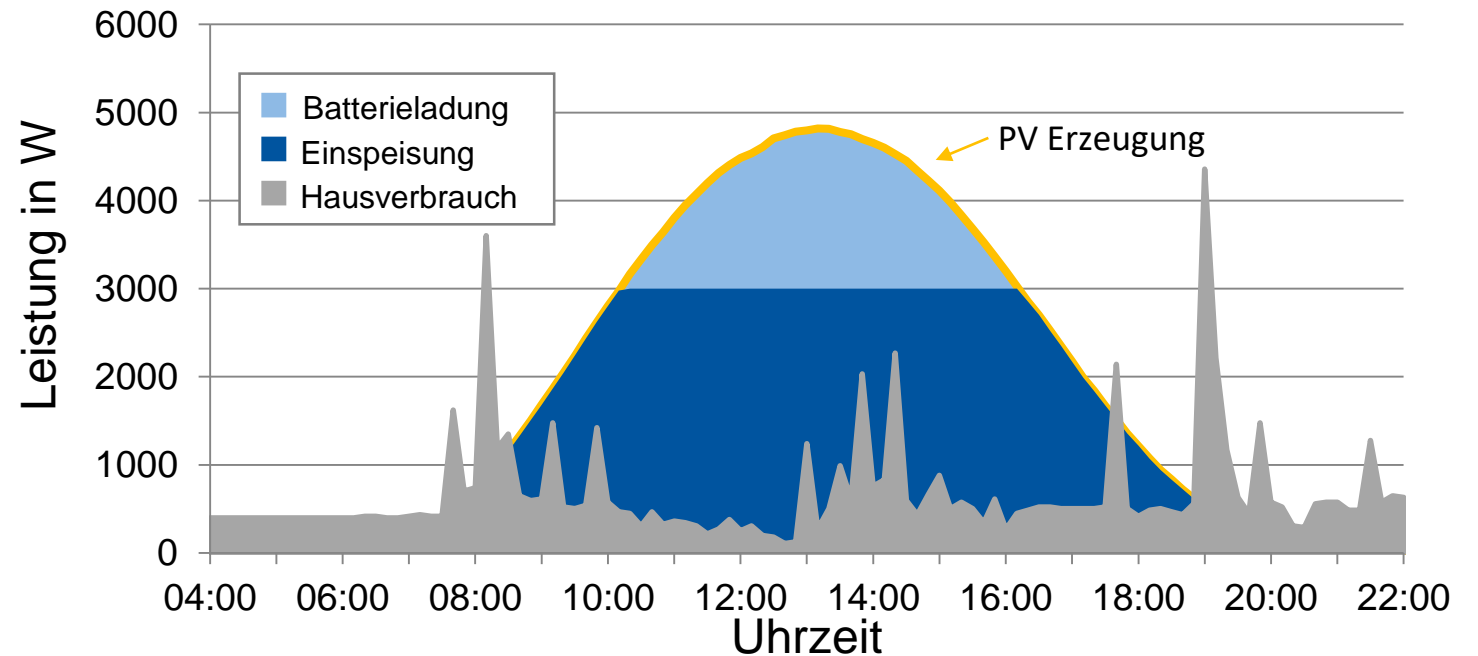
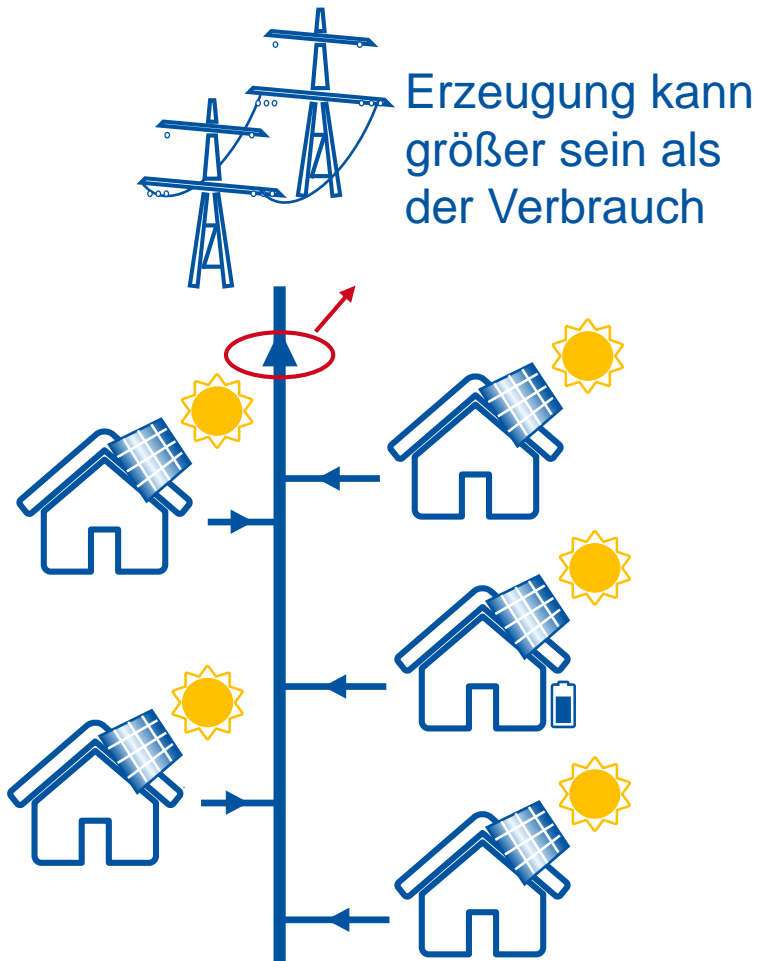
Betriebsdaten

Batteriespeicher zur Lastminderung

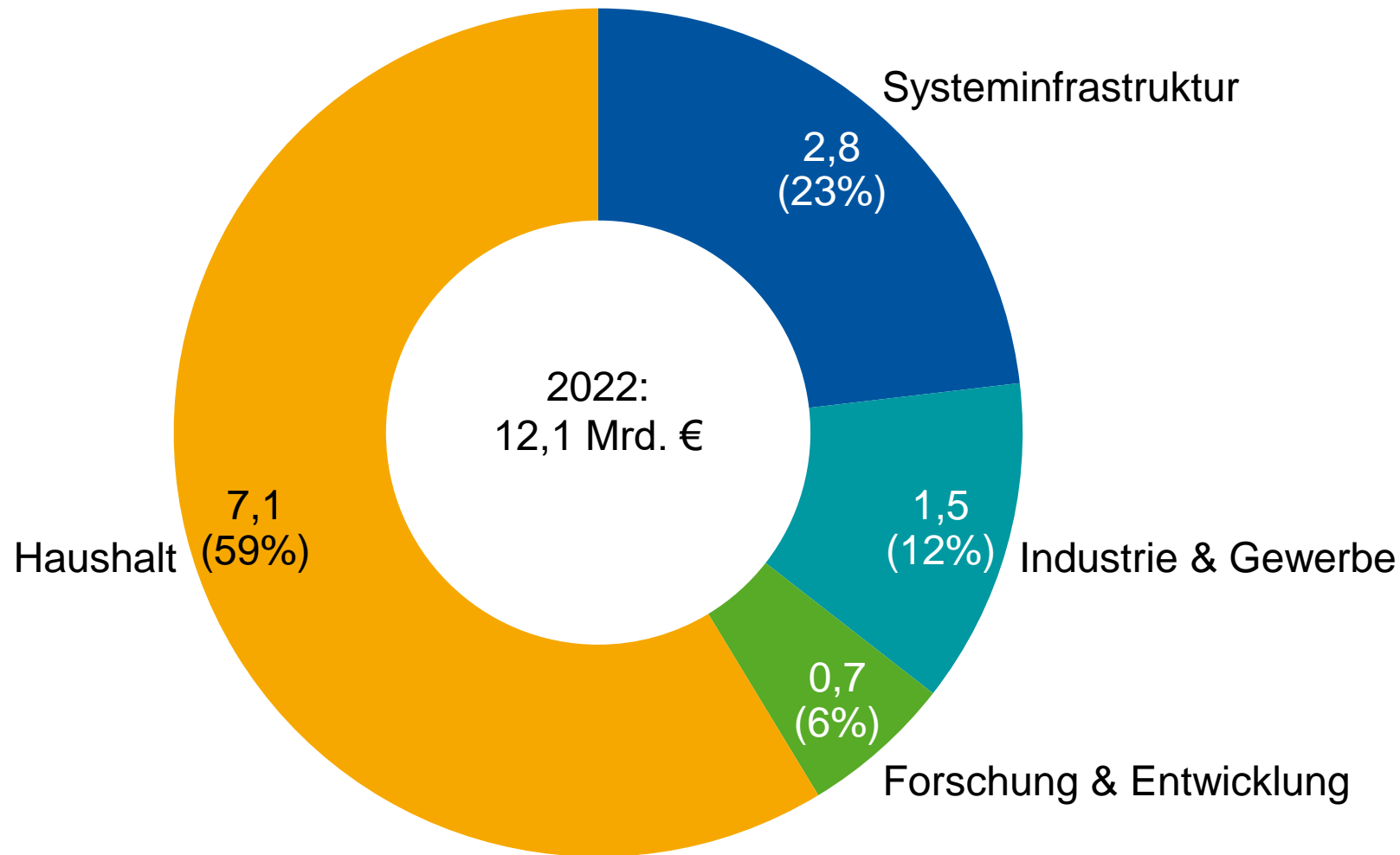
Intelligente Systeme

# Technisches Potenzial von Heimspeichern: Netzentlastung

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



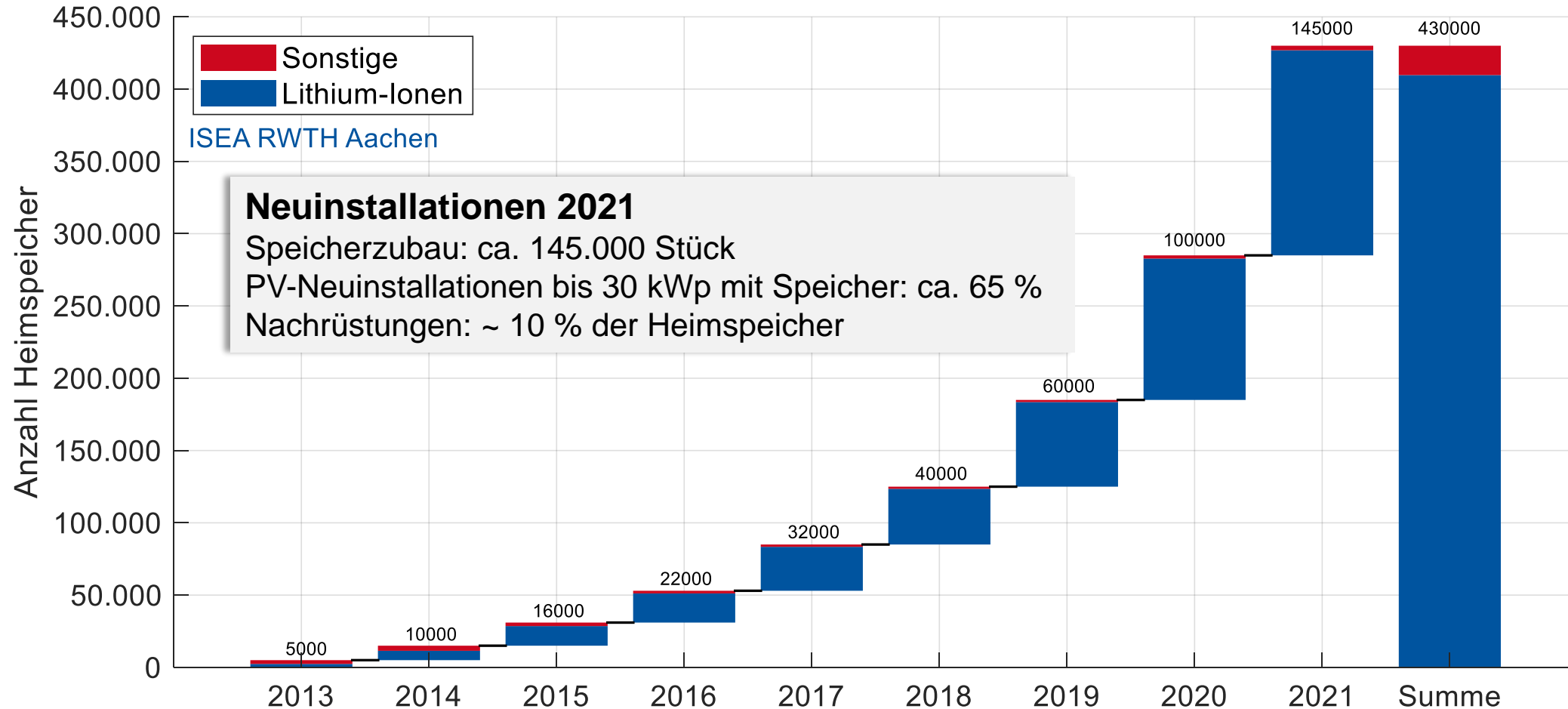
# Umsatzverteilung Energiespeicherbranche in Deutschland\* 2022 in Mrd. €



\* Umsatz von in Deutschland ansässigen Unternehmen im In- und Ausland; Werte sind teilweise noch vorläufig

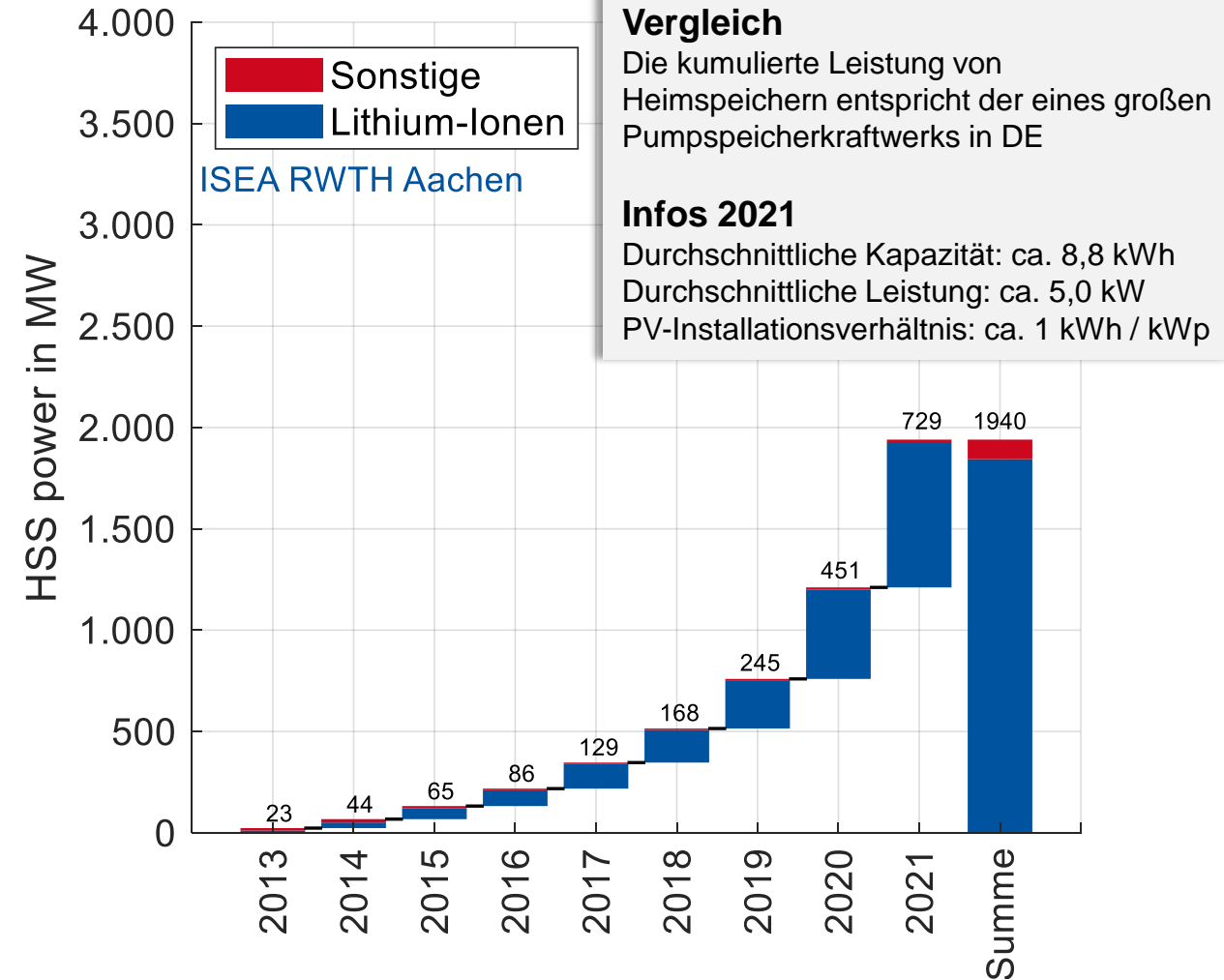
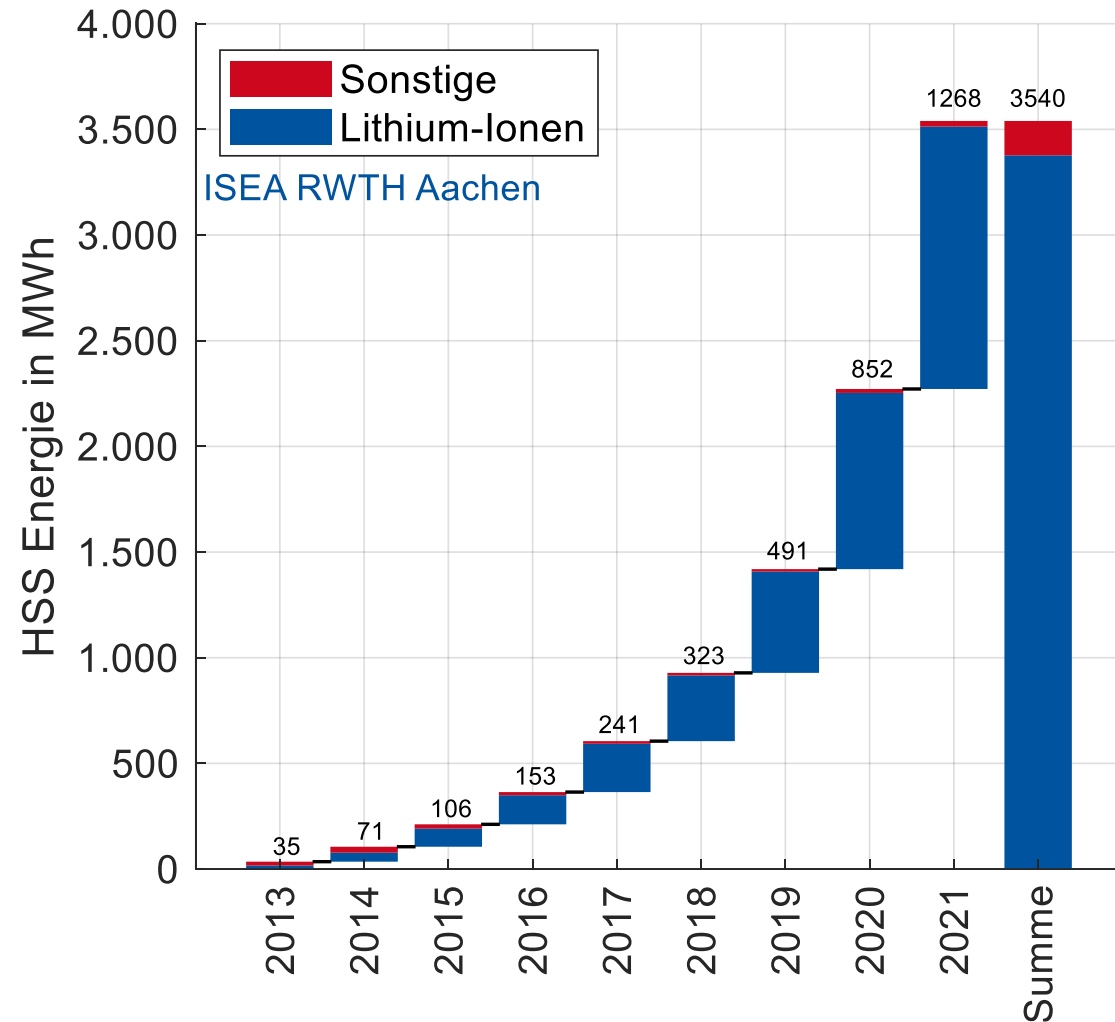
Quelle: „BVES Branchenanalyse 2023“ ([https://bves.de/wp-content/uploads/2023/03/BVES\\_Branchenanalyse-2023.pdf](https://bves.de/wp-content/uploads/2023/03/BVES_Branchenanalyse-2023.pdf))

# Anzahl installierter Heimspeicher in Deutschland (Schätzung)



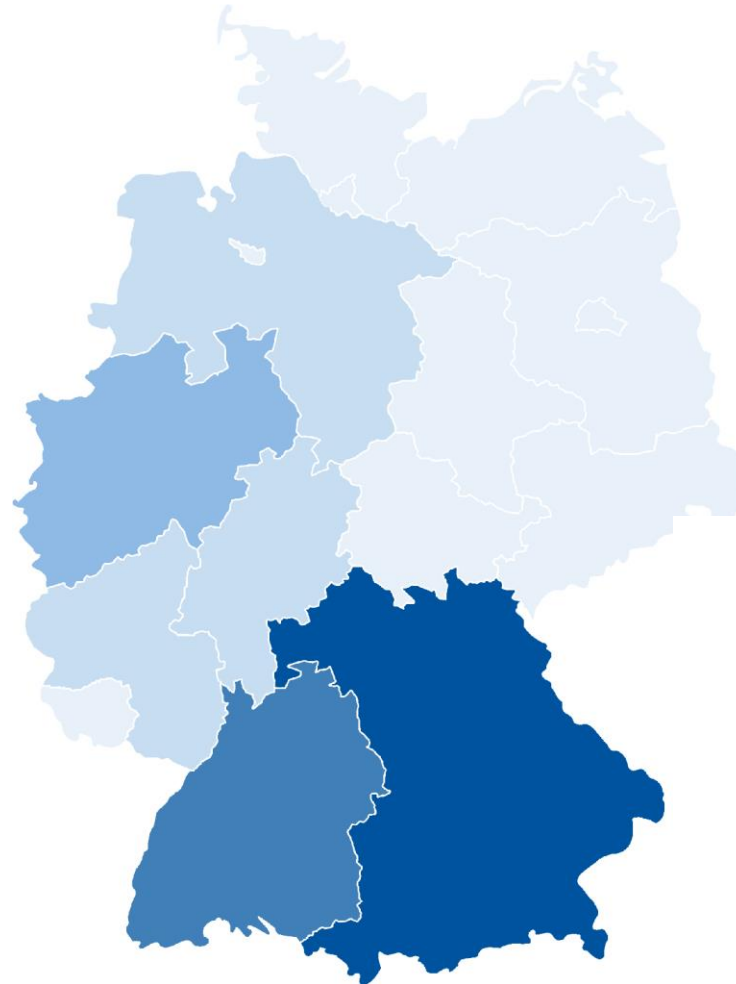
Quelle: in Anlehnung an Figgner, Hecht et al. 2022: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2203/2203.06762.pdf>  
Auswertung für 2019 mit freundlicher Datenbereitstellung der DAA Deutsche Auftragsagentur GmbH (<https://www.solaranlagen-portal.com/>)

# Batterieenergie und Batterieleistung von Heimspeichern in DE (Schätzung)



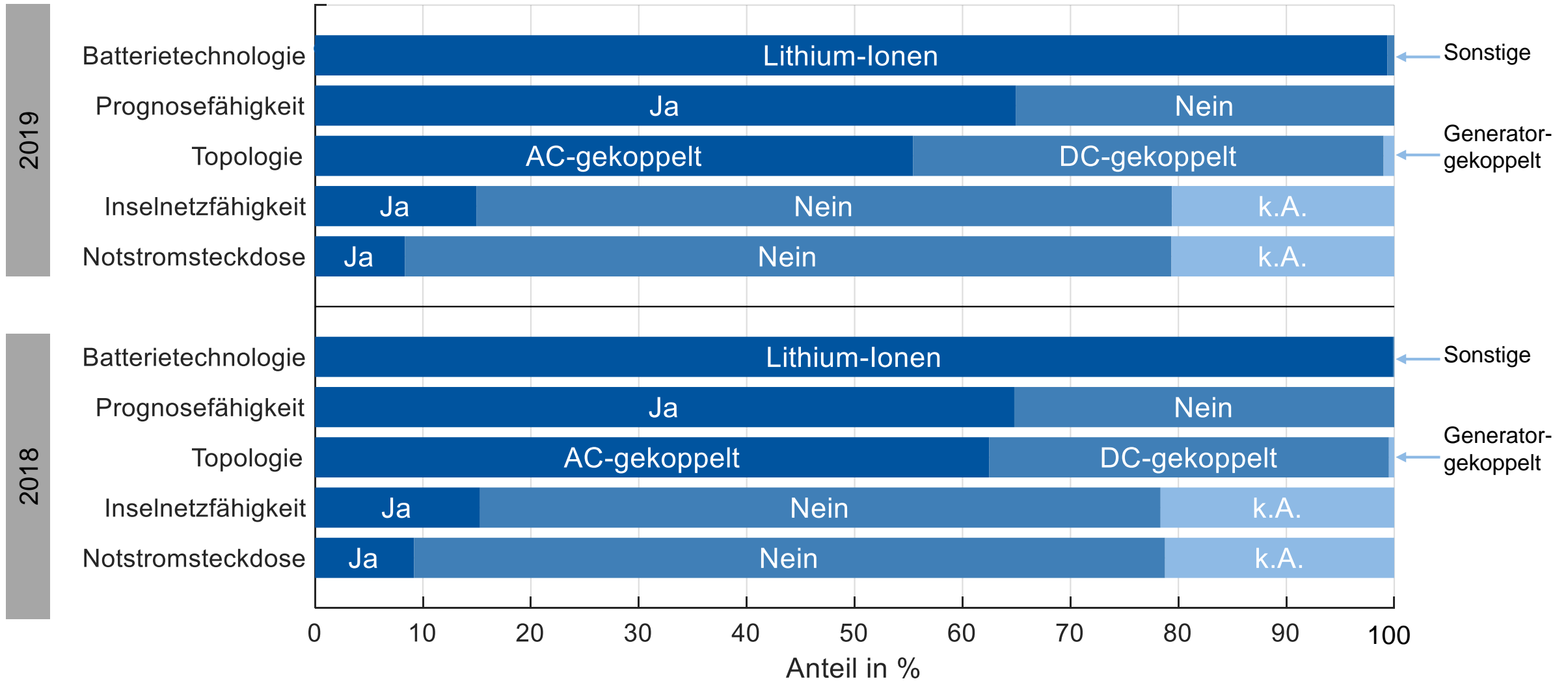
Quelle: in Anlehnung an Figgenger, Hecht et al. 2022: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2203/2203.06762.pdf>

# Regionalverteilung der Heimspeicher in Deutschland Ende 2021 (Schätzung)

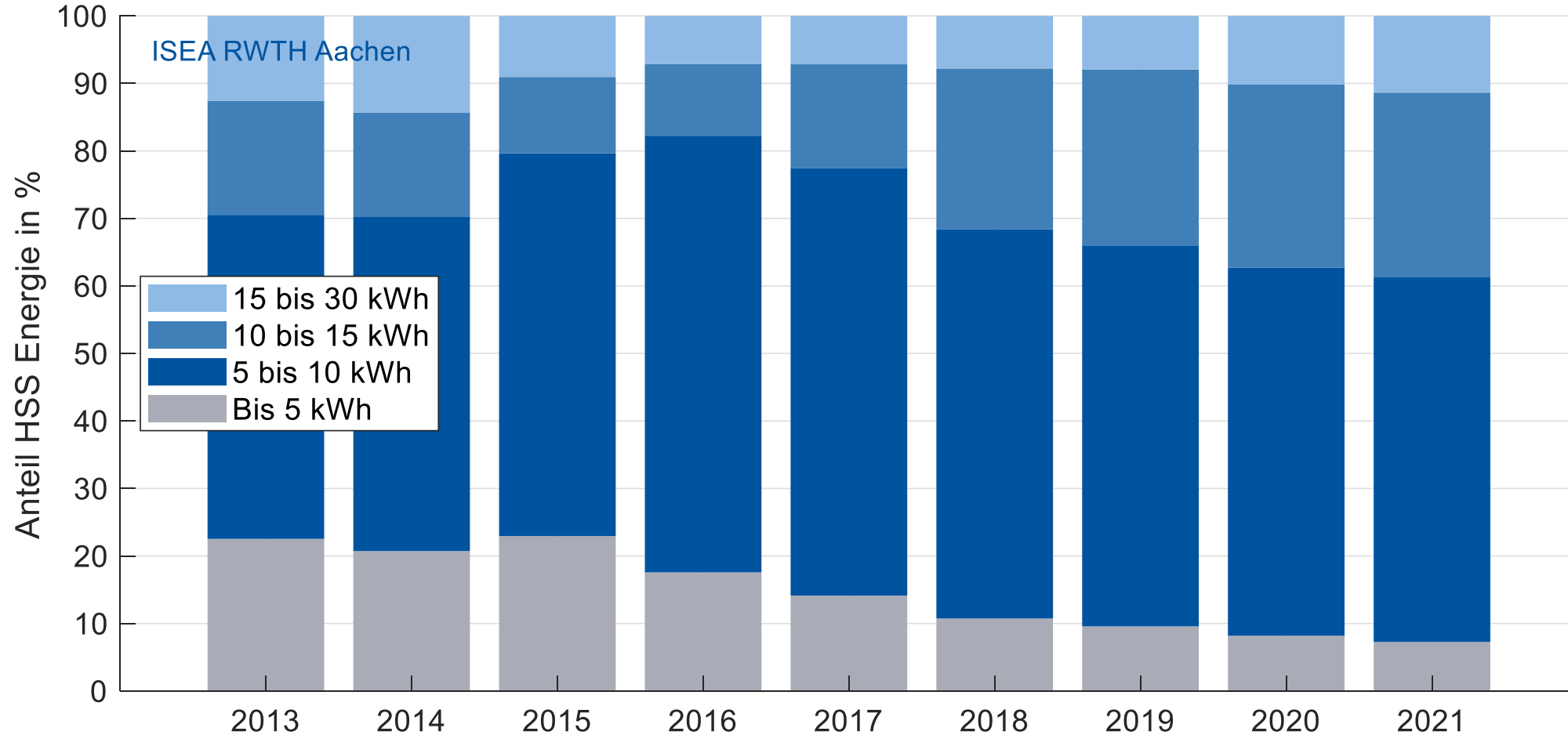


Quelle: in Anlehnung an Figgner et al. 2021: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X2031817X>

# Systemdesign der PV-Speicher (Daten aus BW)



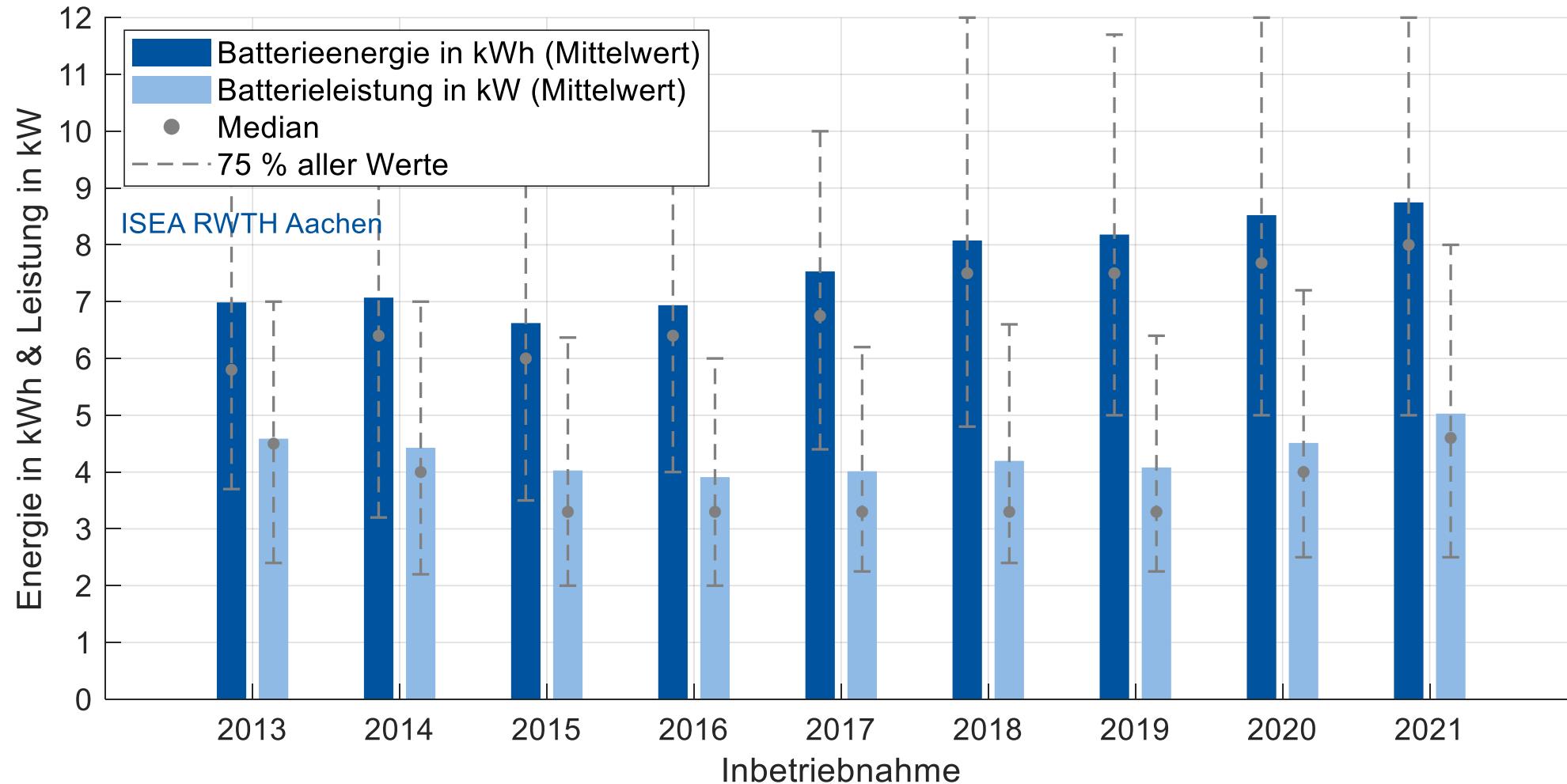
# Verteilung der Heimspeicher-Größe



Daten der Bundesnetzagentur (<https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR>)

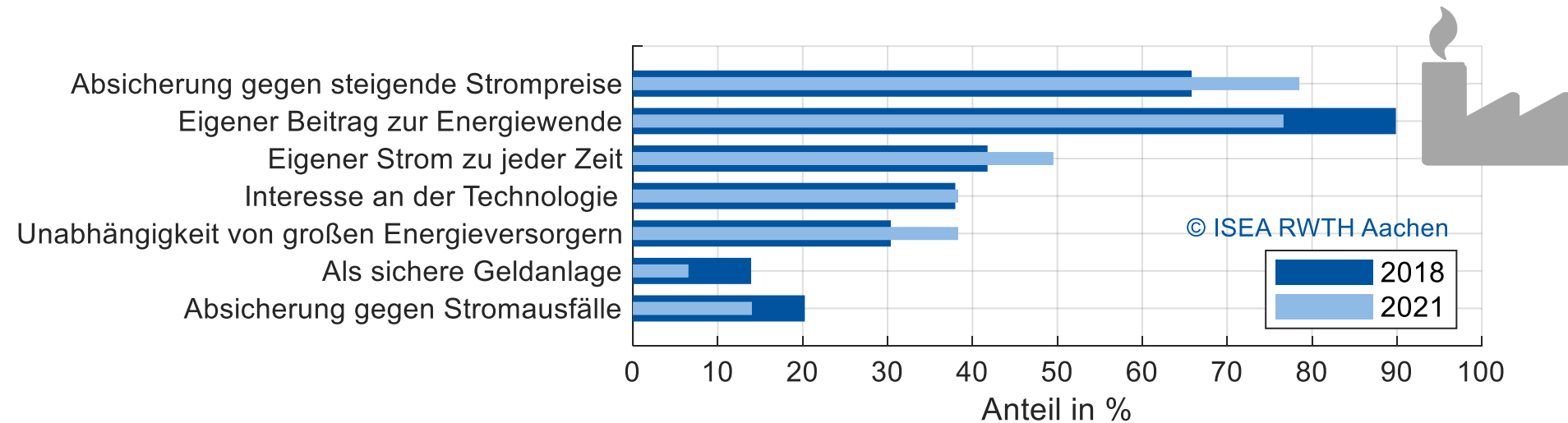
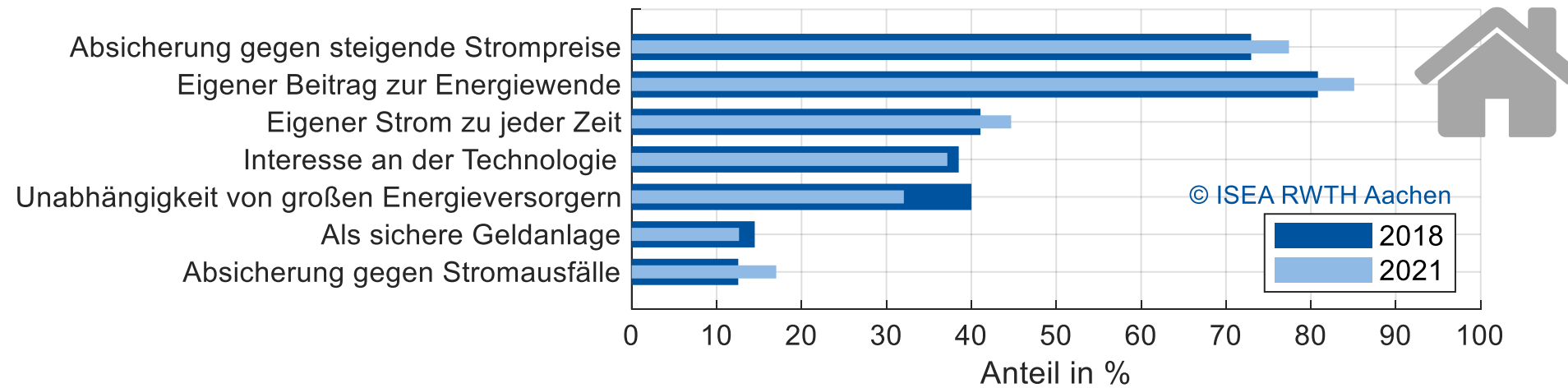


# Entwicklung der Energie und Leistung von Heimspeichern

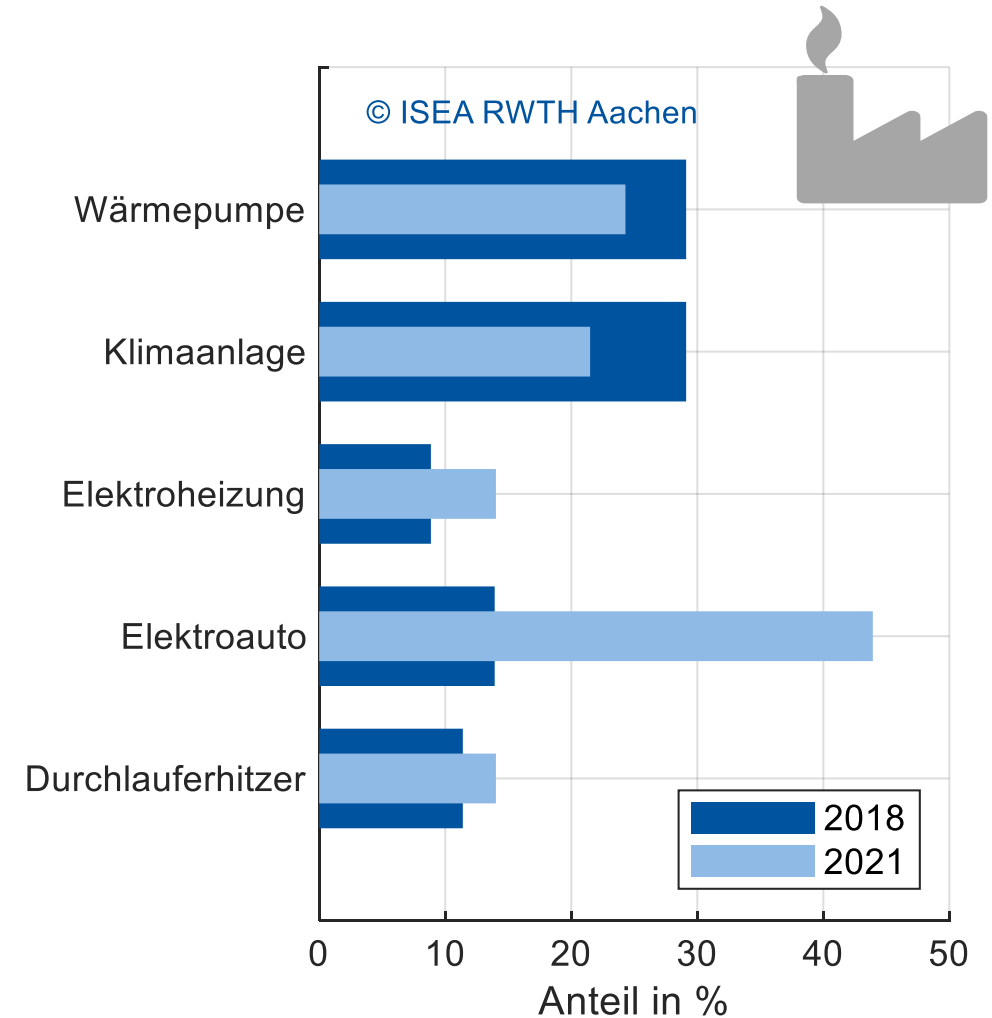
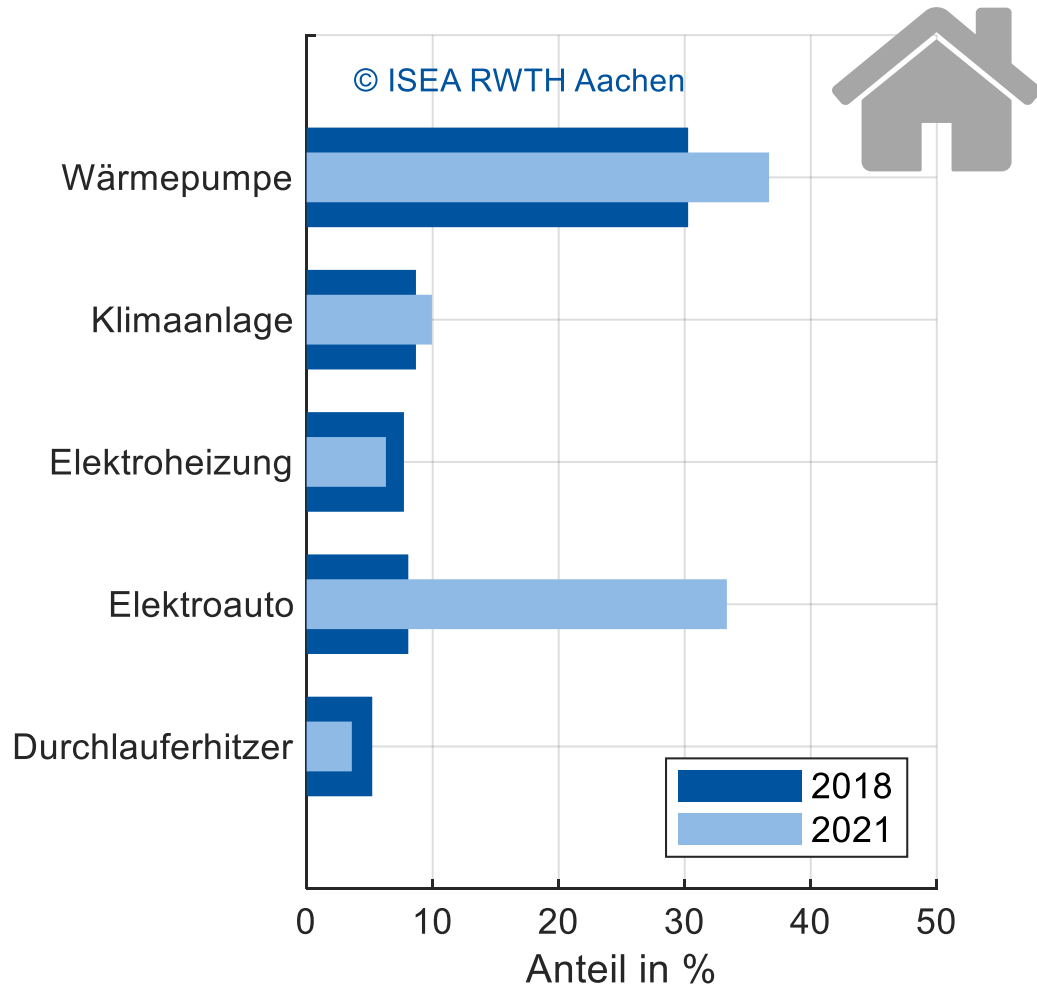


Daten der Bundesnetzagentur (<https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR>), Stand 1. Mai 2020

# Kaufmotivation für Heimspeicher (Förderprogramm BW)



# Große elektrische Verbraucher in Eigenheim und Gewerbe



Figgner et al., 2022, [https://www.researchgate.net/publication/362861071\\_Speichermonitoring\\_BW\\_20\\_Schlussbericht\\_inhaltlicher\\_Teil](https://www.researchgate.net/publication/362861071_Speichermonitoring_BW_20_Schlussbericht_inhaltlicher_Teil)

# Agenda

---

Überblick Marktentwicklung

Fokus Elektromobilität

**Fokus Heimspeicher**

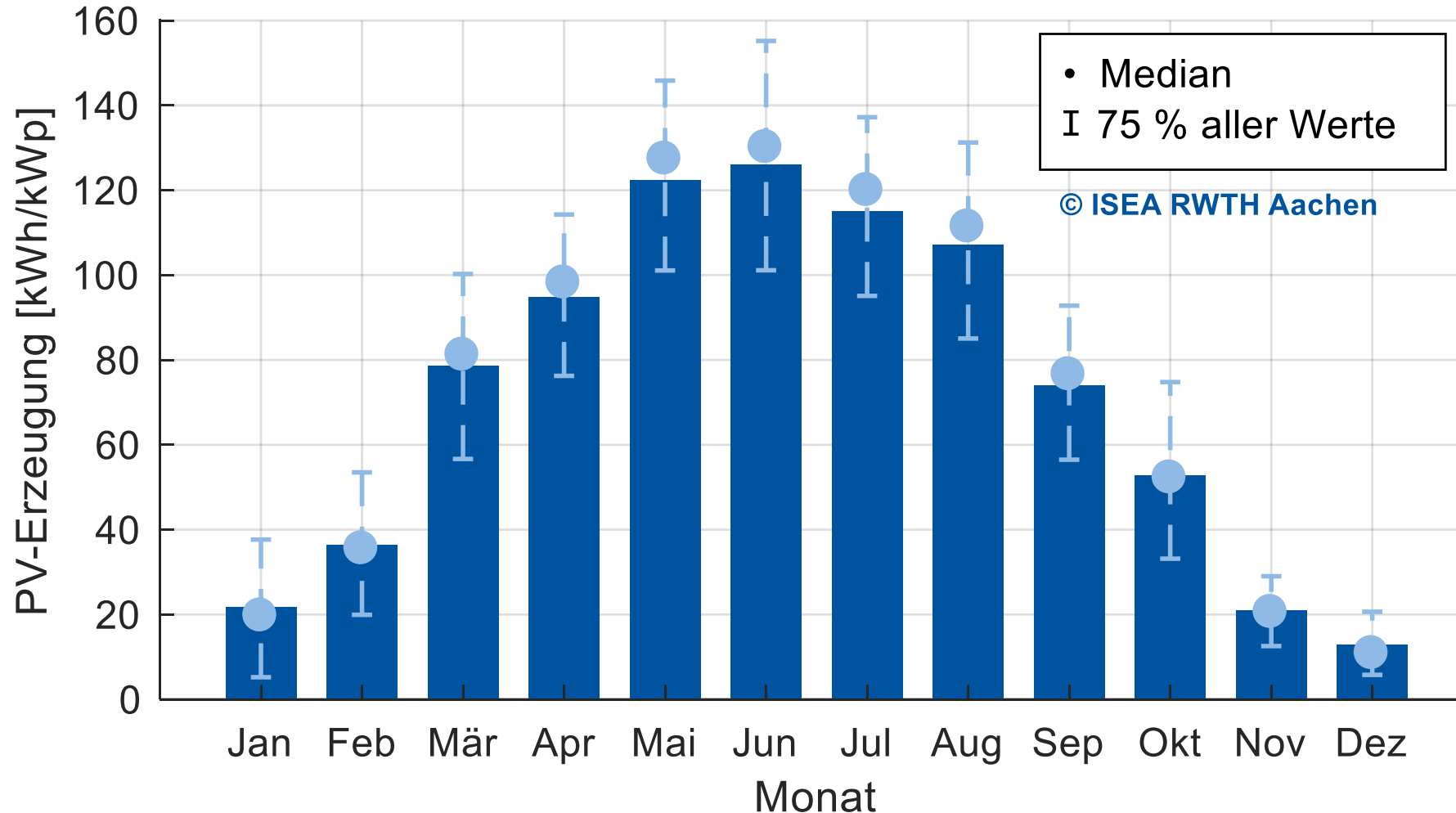
**Betriebsdaten**

Batteriespeicher zur Lastminderung

Intelligente Systeme

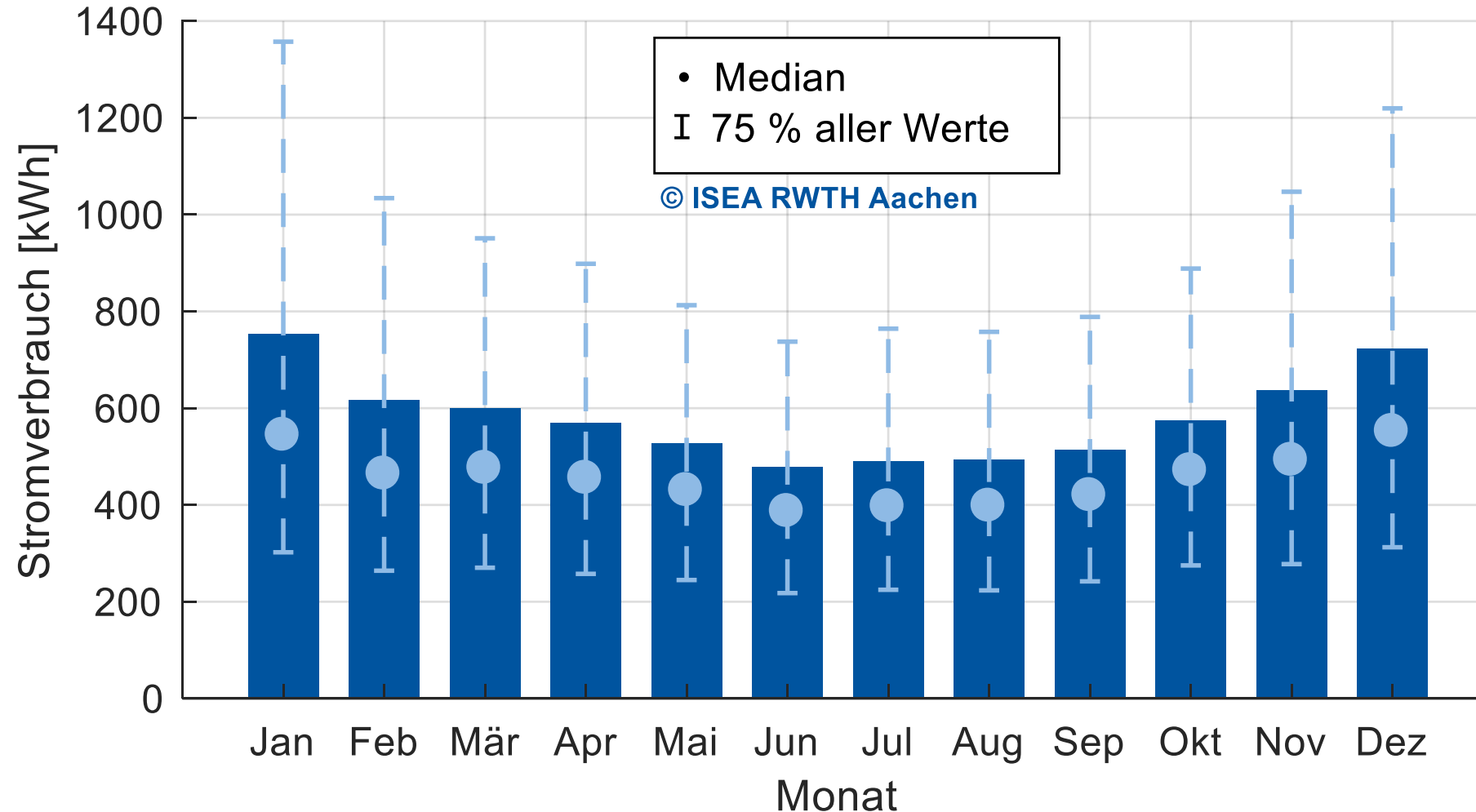
# Monatliche PV-Erzeugung

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)

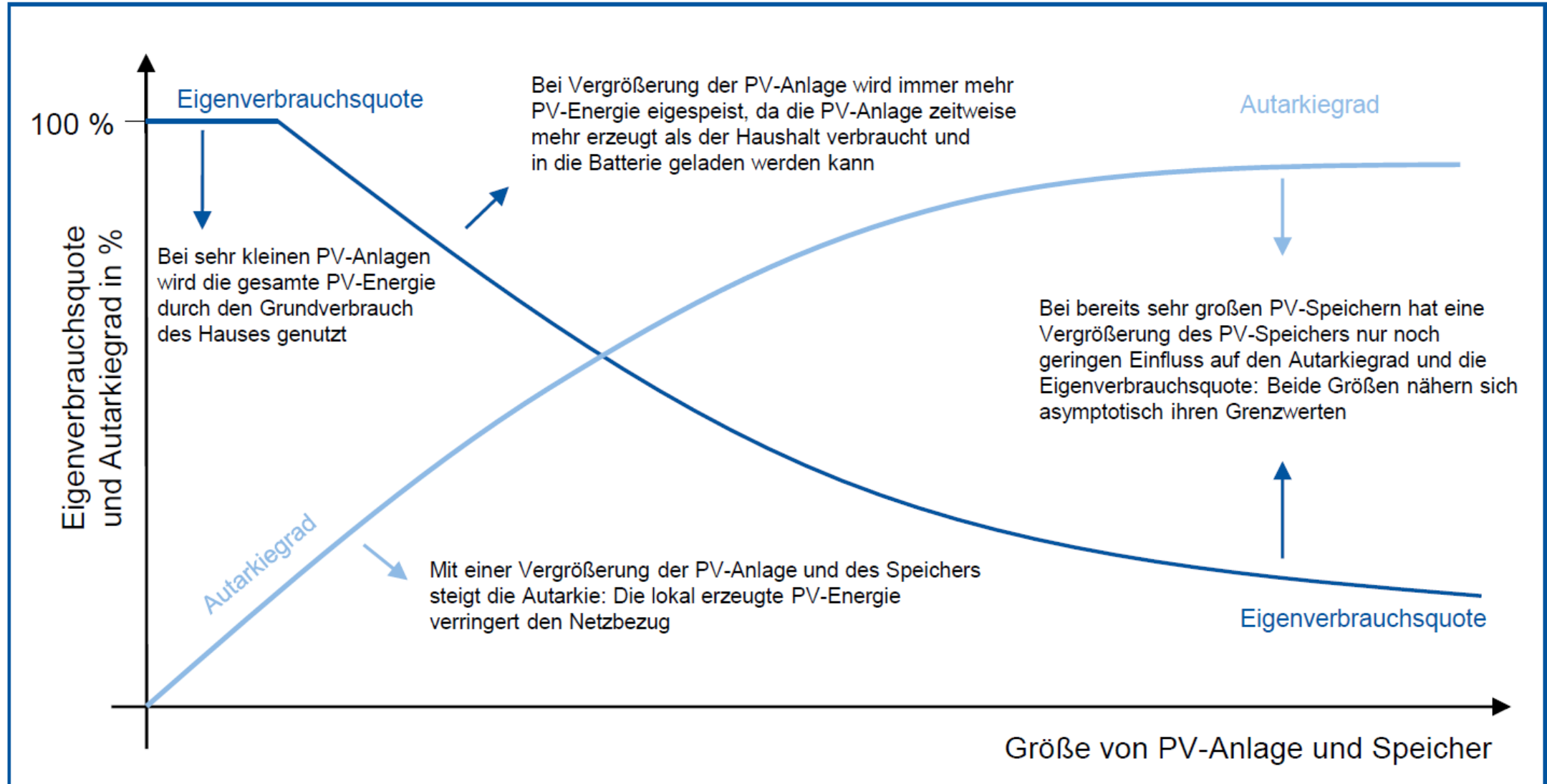


# Monatlicher Stromverbrauch

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

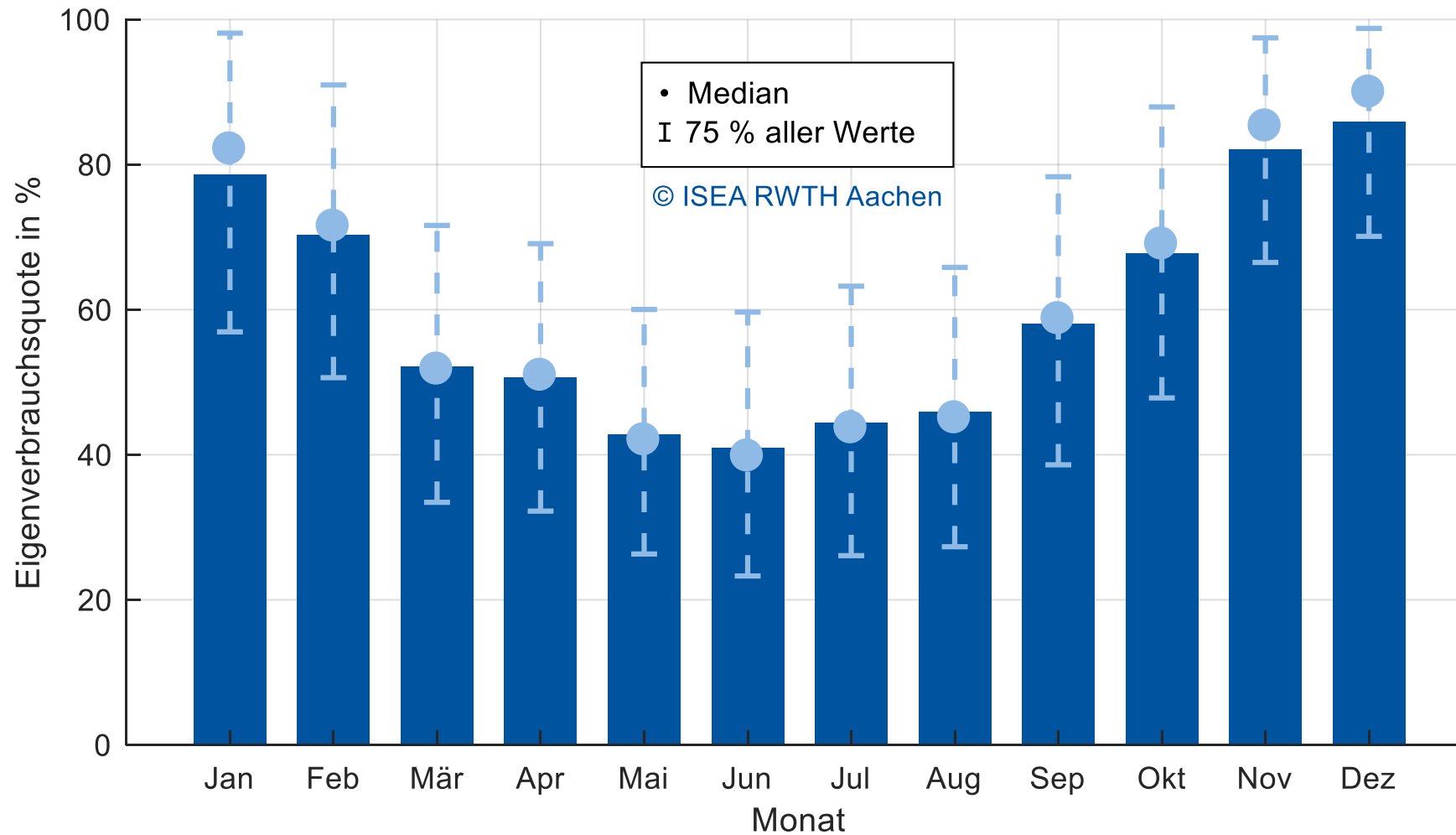


# Erklärung Eigenverbrauch und Autarkie



# Verlauf der Eigenverbrauchsquoten im Jahr 2017

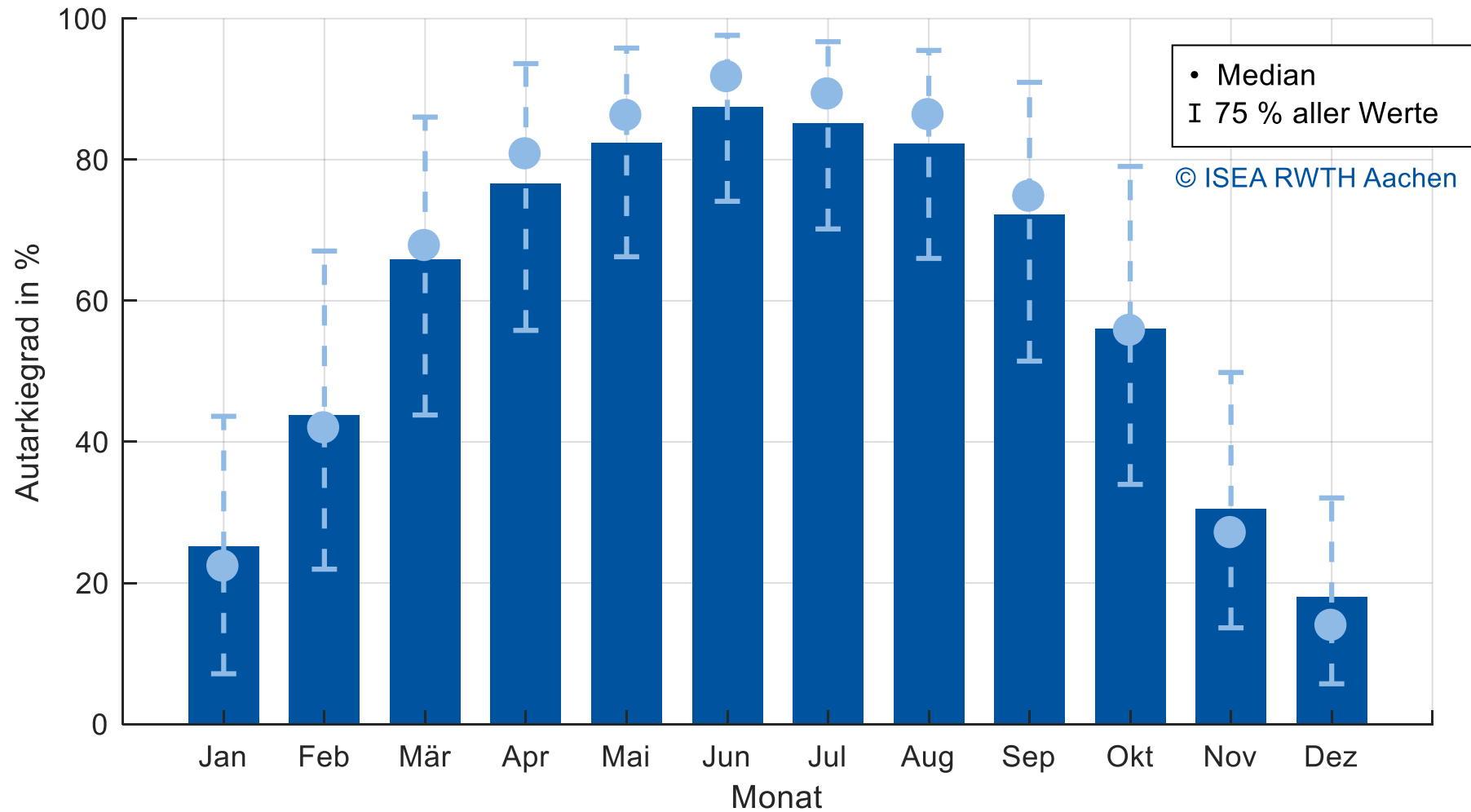
Über das Jahr wird etwa 50 % der PV-Energie lokal verbraucht.





# Verlauf der Autarkiegrade im Jahr 2017

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



# Agenda

---

Überblick Marktentwicklung

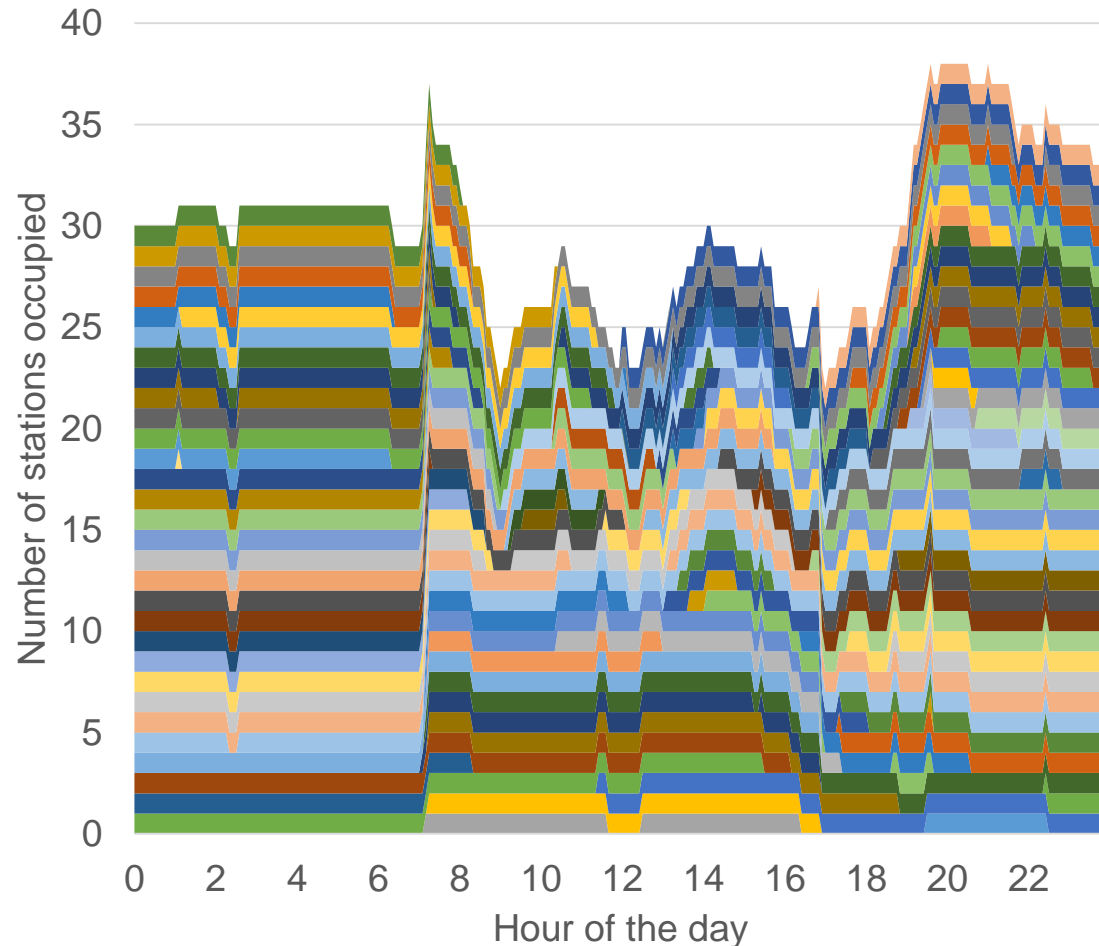
Fokus Elektromobilität

Fokus Heimspeicher

**Batteriespeicher zur Lastminderung**

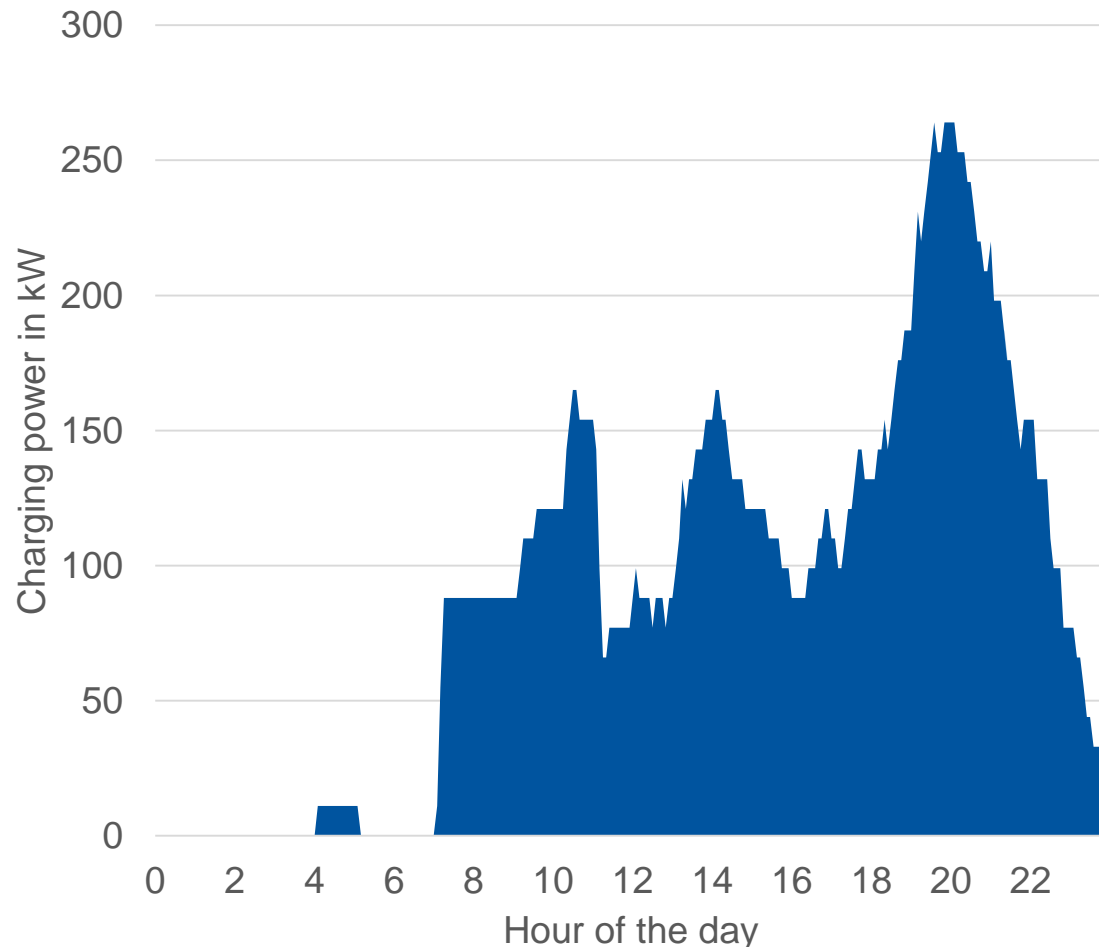
Intelligente Systeme

# Beispieldaten für 80 Stationen-Tage



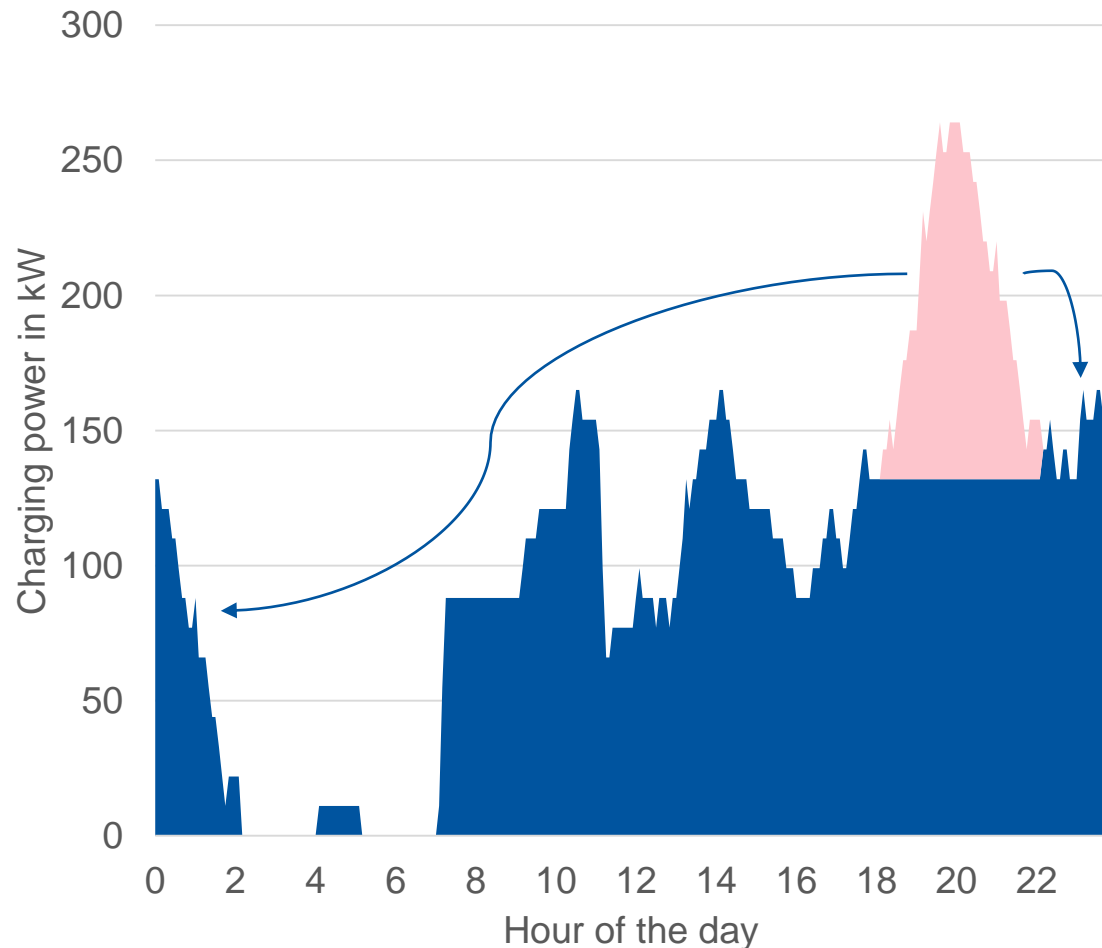
- Die nebenstehende Grafik zeigt Tage an mehreren Stationen in der Dortmunder Innenstadt. Jede Linie repräsentiert die Belegung einer Station an einem bestimmten Tag.
- Auf den ersten Blick sieht das Lademuster recht gleichmäßig aus

# Die tatsächliche Ladung ist inhomogener als die Belegung vermuten lässt



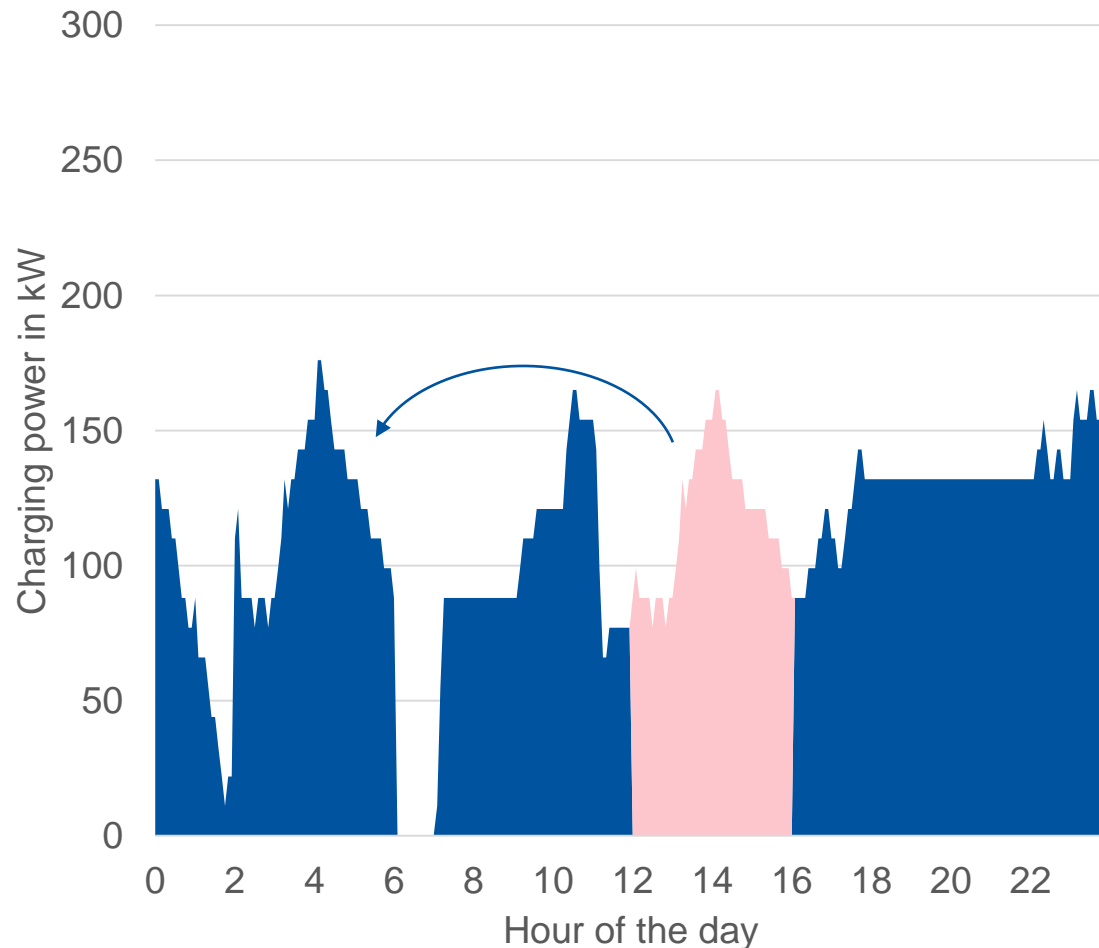
- In der linken Grafik werden nur die ersten 4 Stunden der Belegung mit einer Leistung von 11kW angezeigt, was einer realistischen tatsächlichen Ladung entspricht.
- Es zeigen sich deutliche Lastspitzen und -gradienten. Die größte Spitze in den frühen Nachtstunden kann effektiv durch Verschiebung der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

# Begriffsdefinition

	Smart Charging	Vehicle-to-home	Vehicle-to-grid
			
Ziel	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Systemschonendes Laden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analog zu PV-Heimspeichern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Systemdienliches (Ent-)Laden</li> </ul>
Bidirektional	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nein</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ja</li> </ul>
Smart Meter notwendig	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ja, außer bei PV-Laden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nein</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ja</li> </ul>



# Warum Vehicle-to-Grid und Smart Charging? (1/2)

---

Energieversorgung

## Netzagentur warnt vor Stromausfällen durch E-Autos und Wärmepumpen

Die Zeit, 14.1.2023

## Mit immer mehr E-Autos zum Blackout?

Alle reden über E-Autos, was sie können, wie viel sie kosten, wo ihre Vor- und Nachteile liegen. Vernachlässigt wird dabei oft der Blick auf sichere und bezahlbare Stromversorgung. Wenn es künftig mehr E-Autos gibt, werden Spitzenlasten zum Problem.

Bayrischer Rundfunk, 21.5.2022

## Das Märchen von der Elektromobilität

Auf Deutschlands Straßen sollen bald Millionen E-Autos fahren - dabei ist das Stromnetz längst nicht darauf ausgerichtet, es droht der Blackout.

Spiegel, 26.10.2017

**ELEKTROAUTOS WERDEN IMMER BELIEBTER**

## Droht nun der Stromnetz-Kollaps?

Bild, 09.06.2019

# Warum Vehicle-to-Grid und Smart Charging? (1/2)

## Intelligente Systeme bieten Lösungen

Eine Lösung für die Herausforderung könnte das sogenannte netzdienliche Laden sein: Die Bild, 09.06.2019

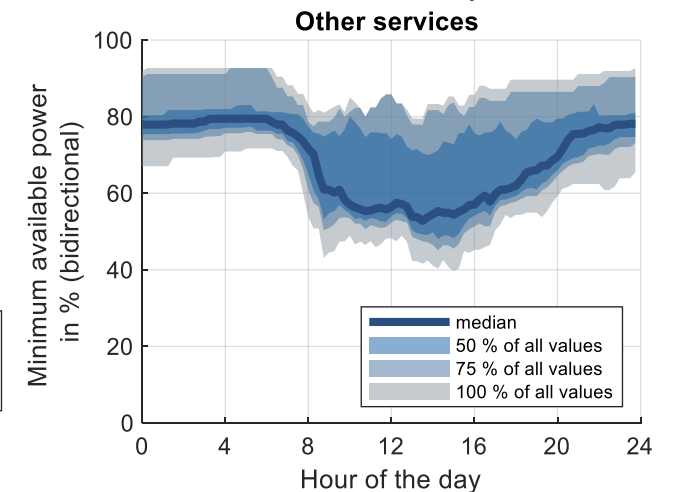
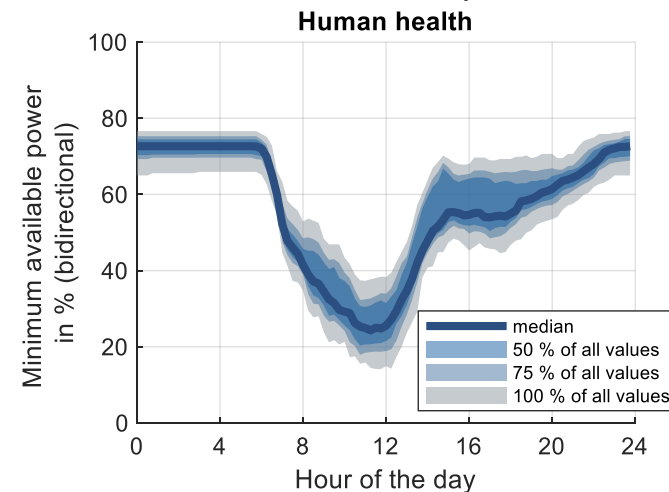
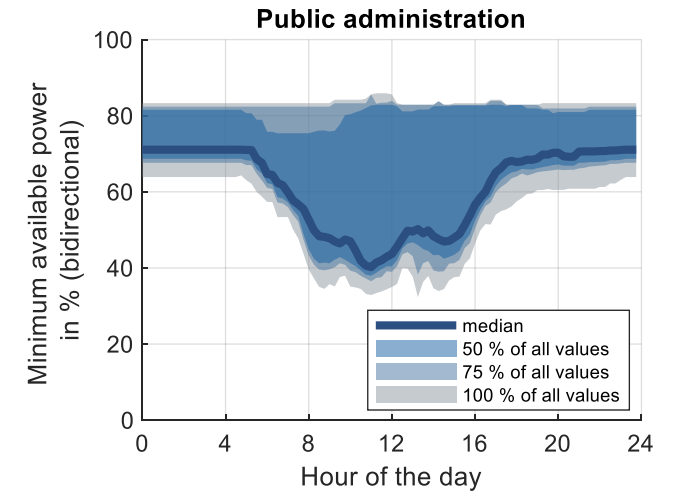
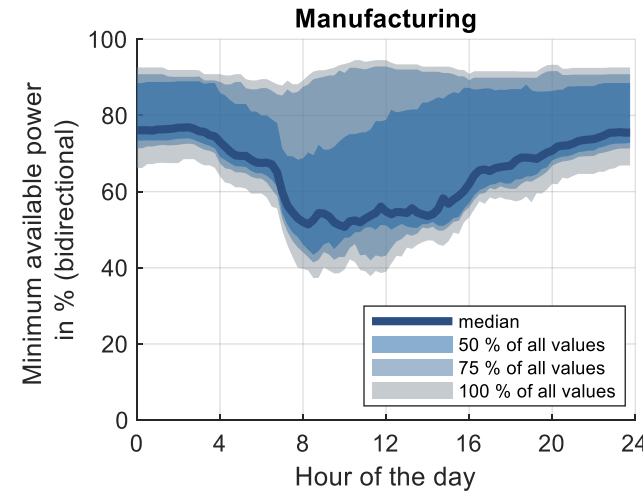
Smart-Meter-Gesetz

## Bundestag beschließt Einbau moderner Stromzähler

Spiegel, 20.04.2023

# Leistungsverfügbarkeiten verschiedener Gewerbeflotten

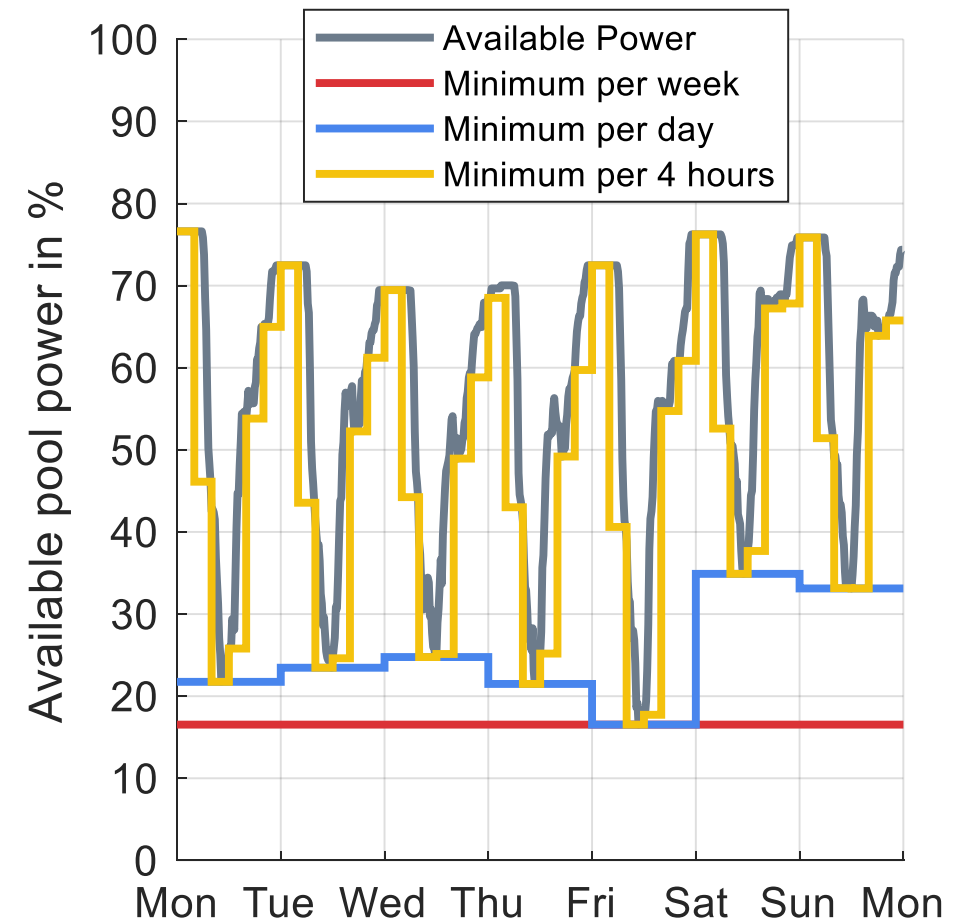
- Unterschiedliche Nutzungsprofile sorgen dafür, dass über den Tag verteilt unterschiedliche Anteile der Fahrzeugleistung verfügbar sind
- Gegebenenfalls macht hier auch eine Kombination von Flotten Sinn.



Source: Figgner et al., 2021, <https://arxiv.org/abs/2107.03489>




# Kürzere Zeiträume erlauben mehr Flexibilität

- Die Nutzungsprofile von e-PKW sind sehr unterschiedlich
- Je dynamischer das System, desto besser können Assets ausgelastet werden
- Smartes unidirektionales Laden und bidirektionales Laden werden immer relevanter



Source: Figgner et al., 2021, <https://arxiv.org/abs/2107.03489>

# Wie weit sind wir?

	Smart Charging	Vehicle-to-home	Vehicle-to-grid
			
Marktreife	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ist erreicht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>In ein bis zwei Jahren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nach Vehicle-to-home, Abhängig von Regulatorik</li> </ul>
Geschätztes Erlöspotential*	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bis zu 300 € pro Fahrzeug und Jahr **</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>200 bis 500 € pro Fahrzeug und Jahr ***</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>200 bis 800 € pro Fahrzeug und Jahr ****</li> </ul>
Batterialterung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stark reduziert relativ zu Vollladung nach Ankunft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduziert relativ zu Vollladung nach Ankunft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduziert relativ zu Vollladung nach Ankunft</li> </ul>

\* 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

# 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/>

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

## Kontakt

**Christopher Hecht**

Tel.: +49 241 80-49366

Christopher.Hecht@isea.rwth-aachen.de

<https://benutzlasa.de/> ; <https://www.mobility-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](http://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

schau fenster  
**elektromobilität**  
Eine Initiative der Bundesregierung

**e-on**

SMART / LAB HUBJECT

**ISEA**

**IAEW**



E.ON Energy Research Center  
FCN | Institute for Future Energy  
Consumer Needs and Behavior

**RWTH AACHEN  
UNIVERSITY**





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

# Sektorenkopplung im Wohngebäude

## Strom, Wärme und Mobilität

### Heimspeicher und Elektromobilität

Düsseldorf

31.08.2023

Christopher Hecht, Jan Figgner, Dirk Uwe Sauer

Lehrstuhl für Elektrochemische Energie-  
wandlung und Speichersystemtechnik

