

# VERTEILNETZAUSBAU FÜR DIE ENERGIEWENDE

## ELEKTROMOBILITÄT IM FOKUS (TEIL 1)

ABSCHLUSSVERANSTALTUNG EINES  
PROJEKTS FÜR AGORA  
VERKEHRSWENDE, AGORA  
ENERGIEWENDE UND REGULATORY  
ASSISTANCE PROJECT

26. AUGUST 2019

Im Auftrag von:



Navigant in Kooperation mit:



**NAVIGANT**

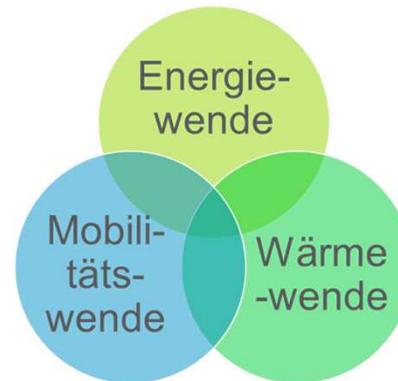


## Wie viel Verteilnetzausbau braucht die Energiewende?



# WELCHE FRAGEN KANN UND SOLLTE EINE STUDIE ADRESSIEREN, UM POLITIKENTWICKLUNG ZU UNTERSTÜTZEN?

## Szenarien

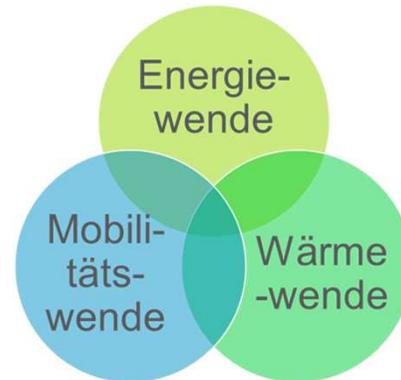


# WELCHE FRAGEN KANN UND SOLLTE EINE STUDIE ADRESSIEREN, UM POLITIKENTWICKLUNG ZU UNTERSTÜTZEN?

Energiemix,  
CO<sub>2</sub> Emissionen

Energiemärkte,  
Investitionen

## Szenarien



Versorgungssicherheit,  
Geschäftsmodelle

Netze,  
Investitionen

# WELCHE FRAGEN KANN UND SOLLTE EINE STUDIE ADRESSIEREN, UM POLITIKENTWICKLUNG ZU UNTERSTÜTZEN?

**BCG** THE BOSTON CONSULTING GROUP  
**prognos** Wir geben Orientierung  
**berylls** STRATEGY ADVISORS  
**Fraunhofer** **IHT** **FGH**

**Klimap**

**berylls** STRATEGY ADVISORS  
München, April 2017  
**Simulation einer urbanen Mobilitätslösung basierend auf autonom fahrenden E-Robotaxi in München**  
Studie von Berylls Strategy Advisors  
Erstellt durch Fares Agua  
in Kooperation mit der TU München

**ACKOUT**  
QUALITÄT SETZT  
TREIBER  
DRUCK

**LVN**  
s Sicht eines

**LADEN2020**  
Schlussbericht

**Energie für Elektromobilität**  
Dr. Thomas König  
21. Mai 2019

**E-Bridge** competence in energy | **IAEW** Institut für und Energie- und Umwelt-Technik

**HTW** Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin  
**SEKTORKOPLUNG DURCH DIE ENERGIEWENDE**  
Anforderungen an den Ausbau erneuerbarer Energien zum Erreich der Pariser Klimaschutzziele unter Berücksichtigung der Sektorkopplung

**Nationale Akademie der Wissenschaften – Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina**  
Union der deutschen Akademien der Wissenschaften

**NAVIGANT**  
Die LEW Verteilnetz GmbH (LVN) ist ein Unternehmen der IWB-Gruppe.

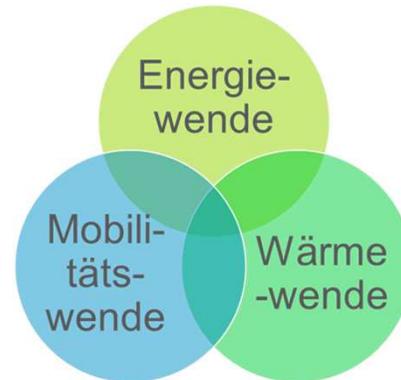
5 / ©2019 NAVIGANT CONSULTING, INC. ALL RIGHTS RESERVED

## WORAUF LIEGT IN DIESER STUDIE DER FOKUS?

Energiemix,  
CO<sub>2</sub> Emissionen

Energiemärkte, Preise,  
Geschäftsmodelle, Investitionen

### Szenarien



Versorgungssicherheit,  
Systemdienstleistungen,  
Geschäftsmodelle

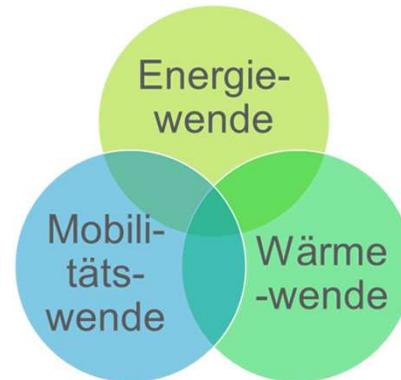
Netze,  
Investitionen

# WORAUF LIEGT IN DIESER STUDIE DER FOKUS?

Energiemix,  
CO<sub>2</sub> Emissionen

Energiemärkte, Preise,  
Geschäftsmodelle, Investitionen

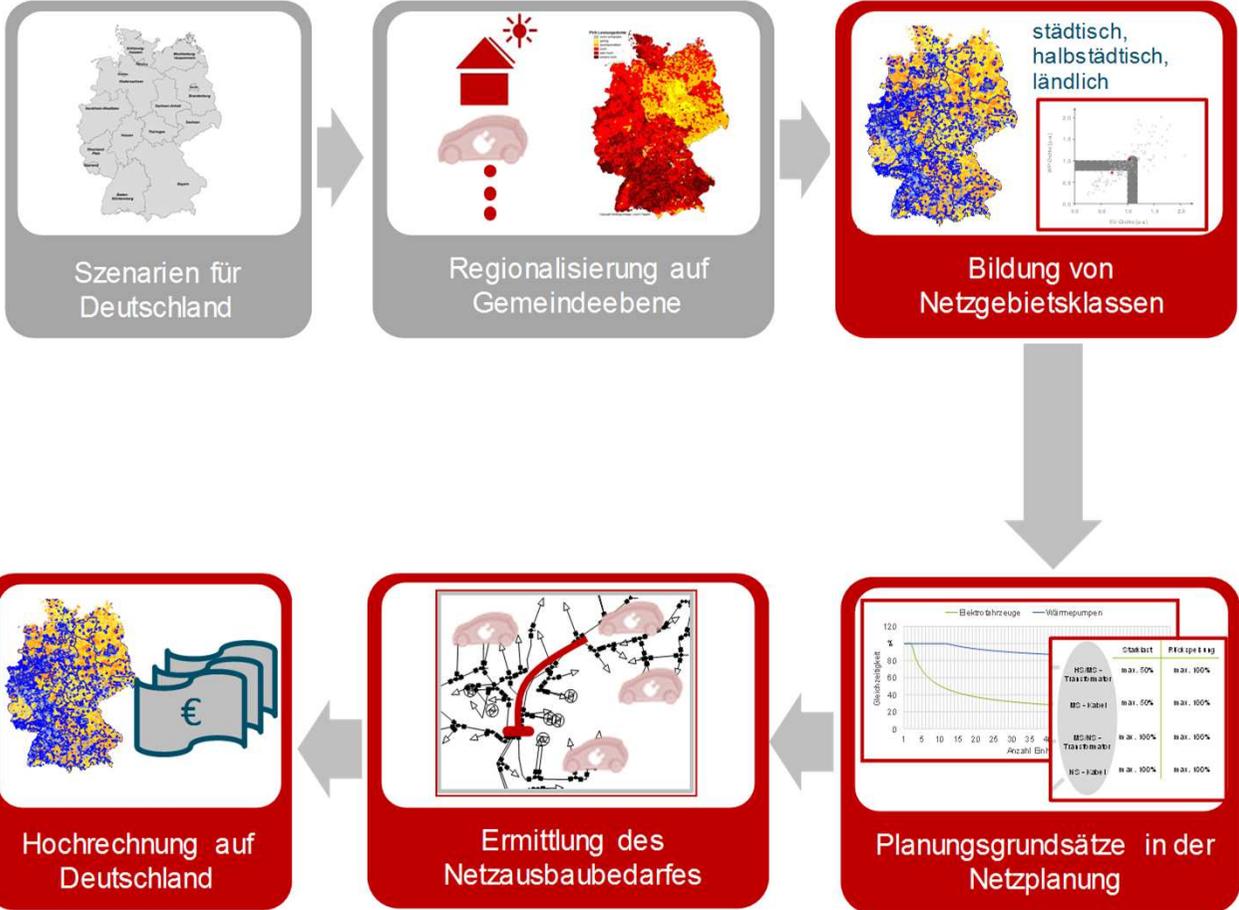
## Szenarien



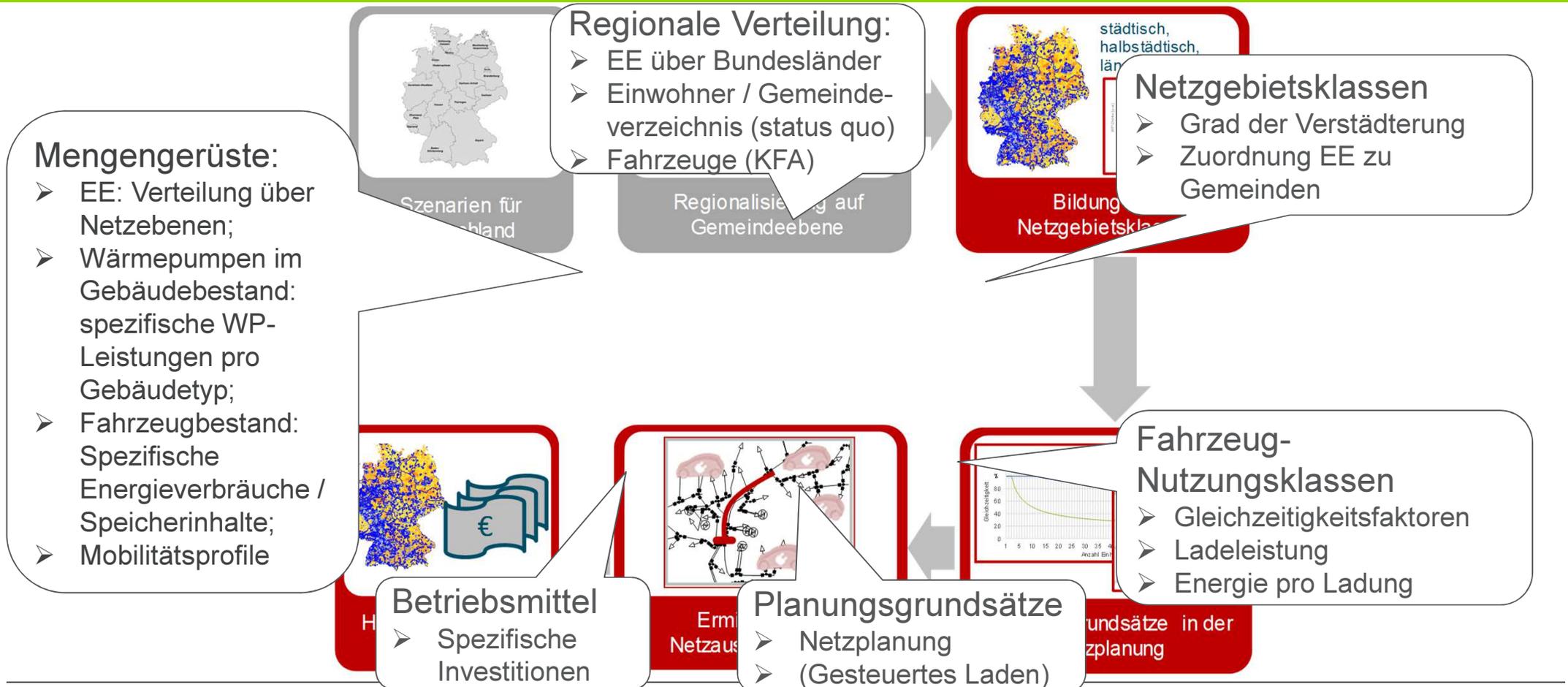
- Nieder- und Mittelspannung
- Fokus auf Infrastruktur- / Netzplanung,
- Netzbetrieb nur begrenzt (gesteuertes Laden)

Netze,  
Investitionen

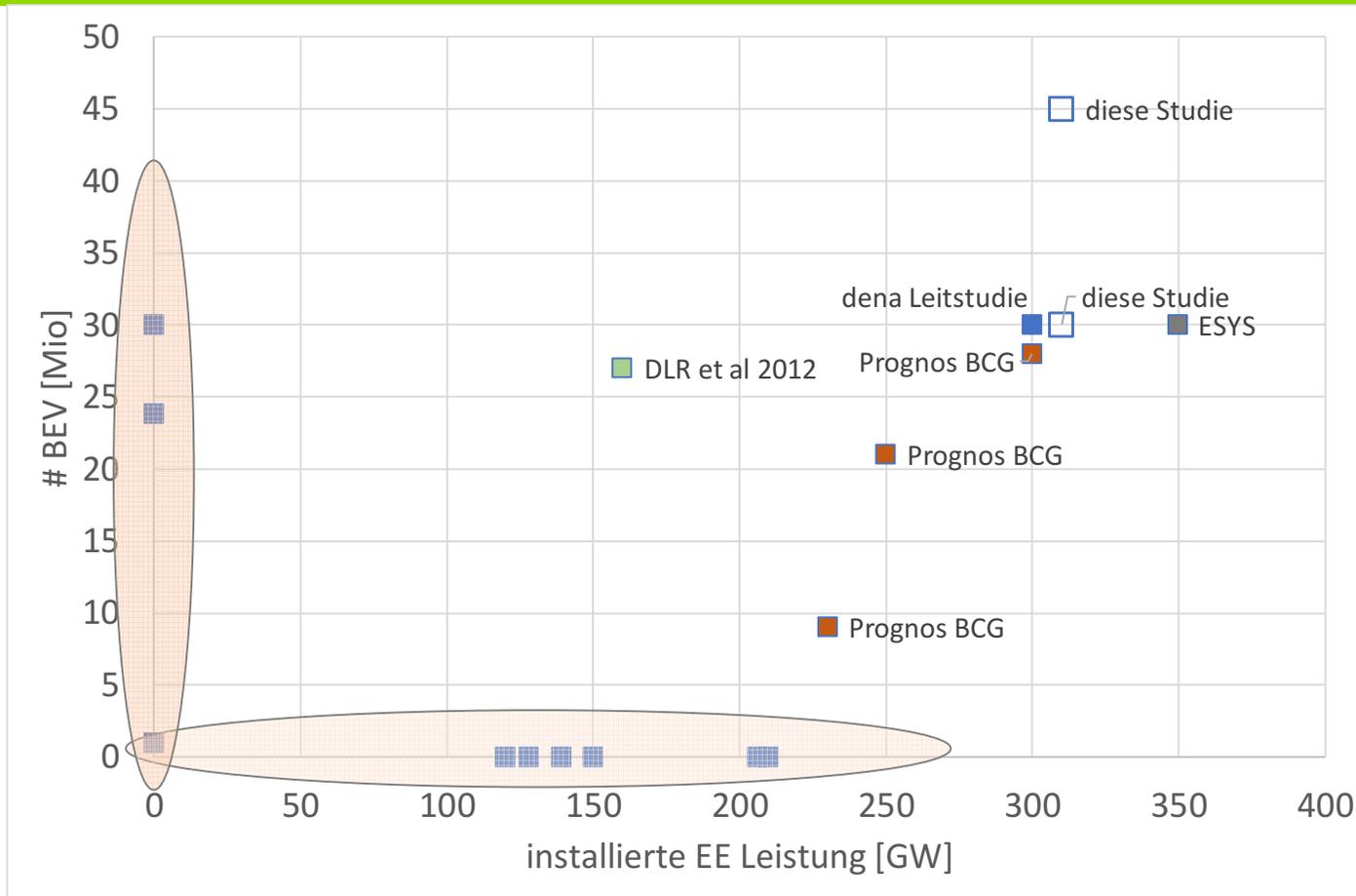
# DER METHODISCHE ANSATZ



# DER METHODISCHE ANSATZ SETZT VIELE EXTERNE ANNAHMEN VORAUS - DIE ERGEBNISBEWERTUNG MUSS WESENTLICHE UNSICHERHEITEN REFLEKTIEREN



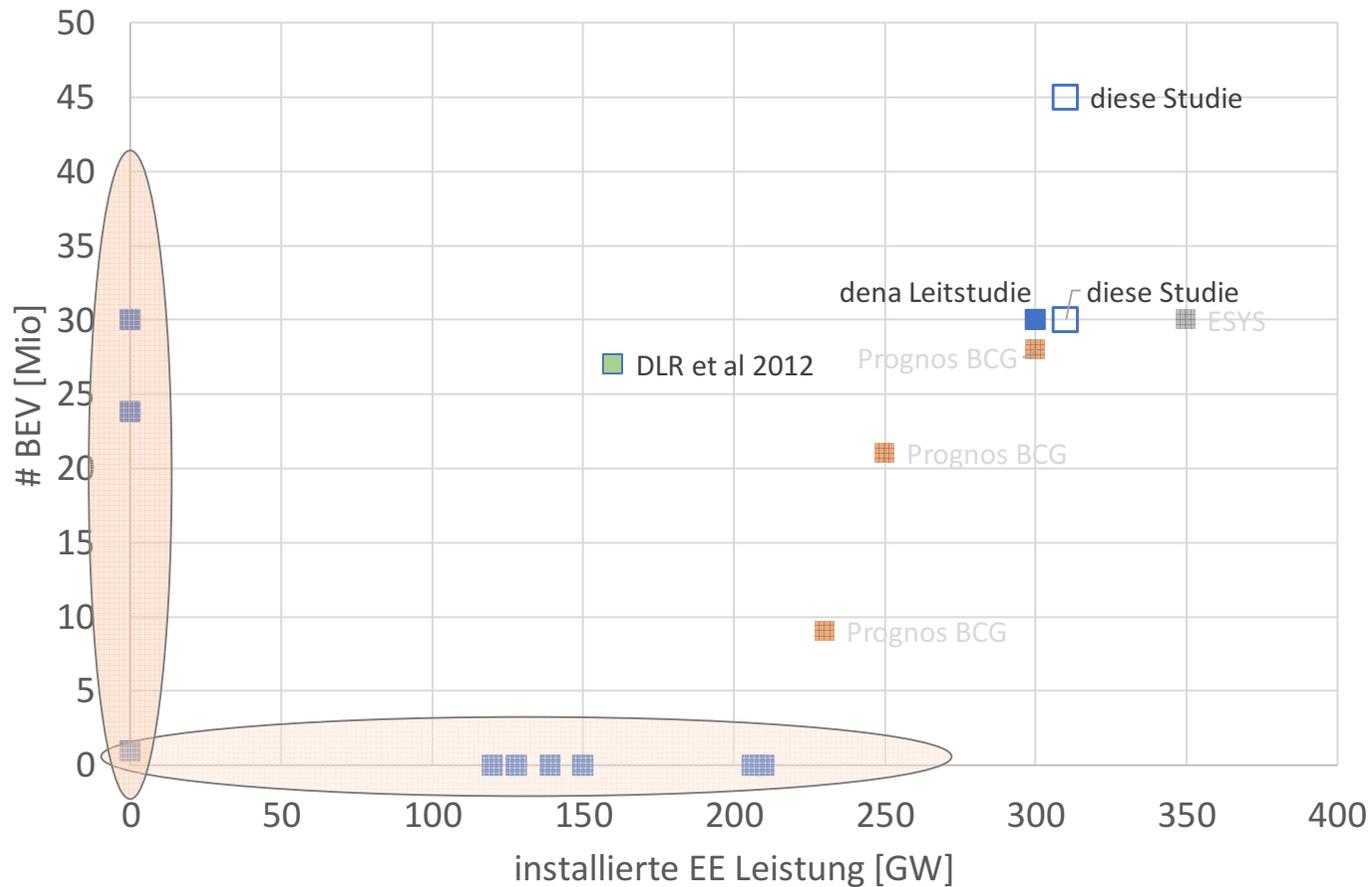
# STUDIENHORIZONT UND REICHWEITE DER ANNAHMEN MOBILITÄT, EE



## Auswahl an Studien

- „Perspektiven von Elektro-/Hybridfahrzeugen...“, DLR, FH ISE, FGH, IFHT, 2012
- „dena Verteilnetzstudie“, dena, 2012
- „Verteilernetzstudie“, e-Bridge, IAEW, OFFIS, 2014
- „Klimapfade für Deutschland“, BCG, Prognos, 2018
- „dena Leitstudie“, dena, EWI, ef-ruhr, 2018
- „Kosten von Ladeinfrastrukturen ...“, Grube et al., IEWT, 2017
- „Laden 2020“, DLR/KIT, 2016
- „Blackout“, Oliver Wyman, TUM, 2018
- „Sektorkopplung“ Acatech Leopoldina Union der D. A. d. W., 2017

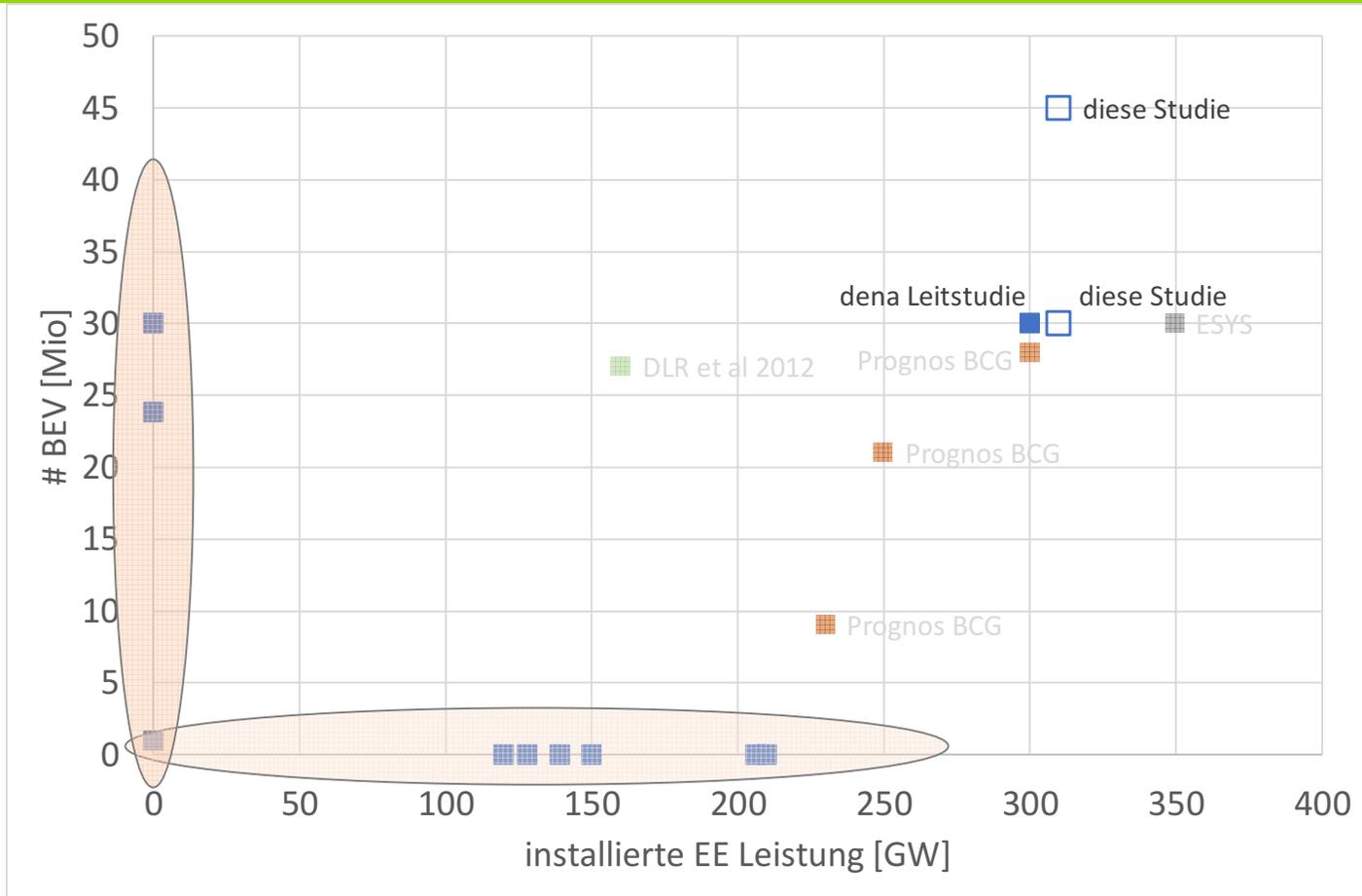
# STUDIENHORIZONT UND REICHWEITE DER ANNAHMEN MOBILITÄT, EE, NETZAUSBAU



## Auswahl an Studien

- „Perspektiven von Elektro-/Hybridfahrzeugen...“, DLR, FH ISE, FGH, IFHT, 2012
- „dena Verteilnetzstudie“, dena, 2012
- „Verteilernetzstudie“, e-Bridge, IAEW, OFFIS, 2014
- „Klimapfade für Deutschland“, BCG, Prognos, 2018
- „dena Leitstudie“, dena, EWI, ef-ruhr, 2018
- „Kosten von Ladeinfrastrukturen ...“, Grube et al., IEWT, 2017
- „Laden 2020“, DLR/KIT, 2016
- „Blackout“, Oliver Wyman, TUM, 2018
- „Sektorkopplung“ Acatech Leopoldina Union der D. A. d. W., 2017

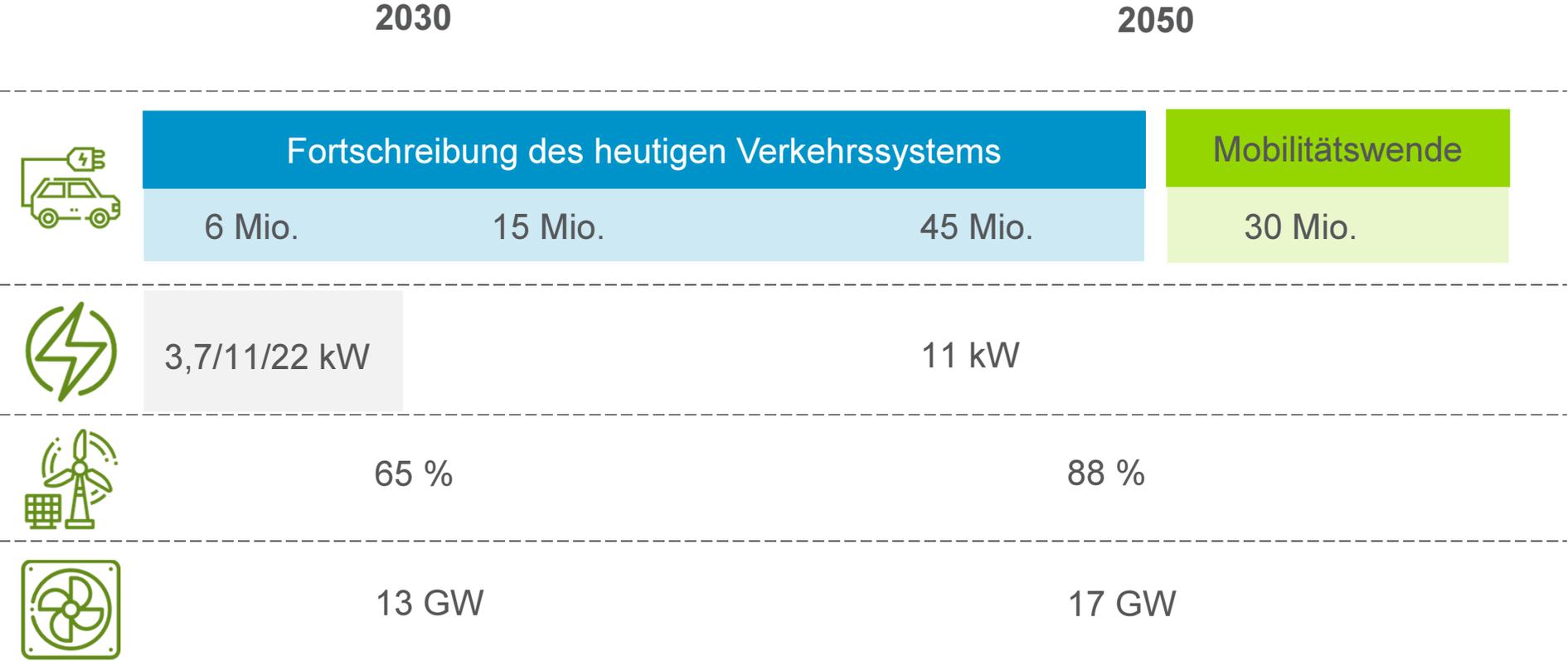
# STUDIENHORIZONT UND REICHWEITE DER ANNAHMEN MOBILITÄT, EE, NETZAUSBAU UND ANDERE NEUE LASTEN



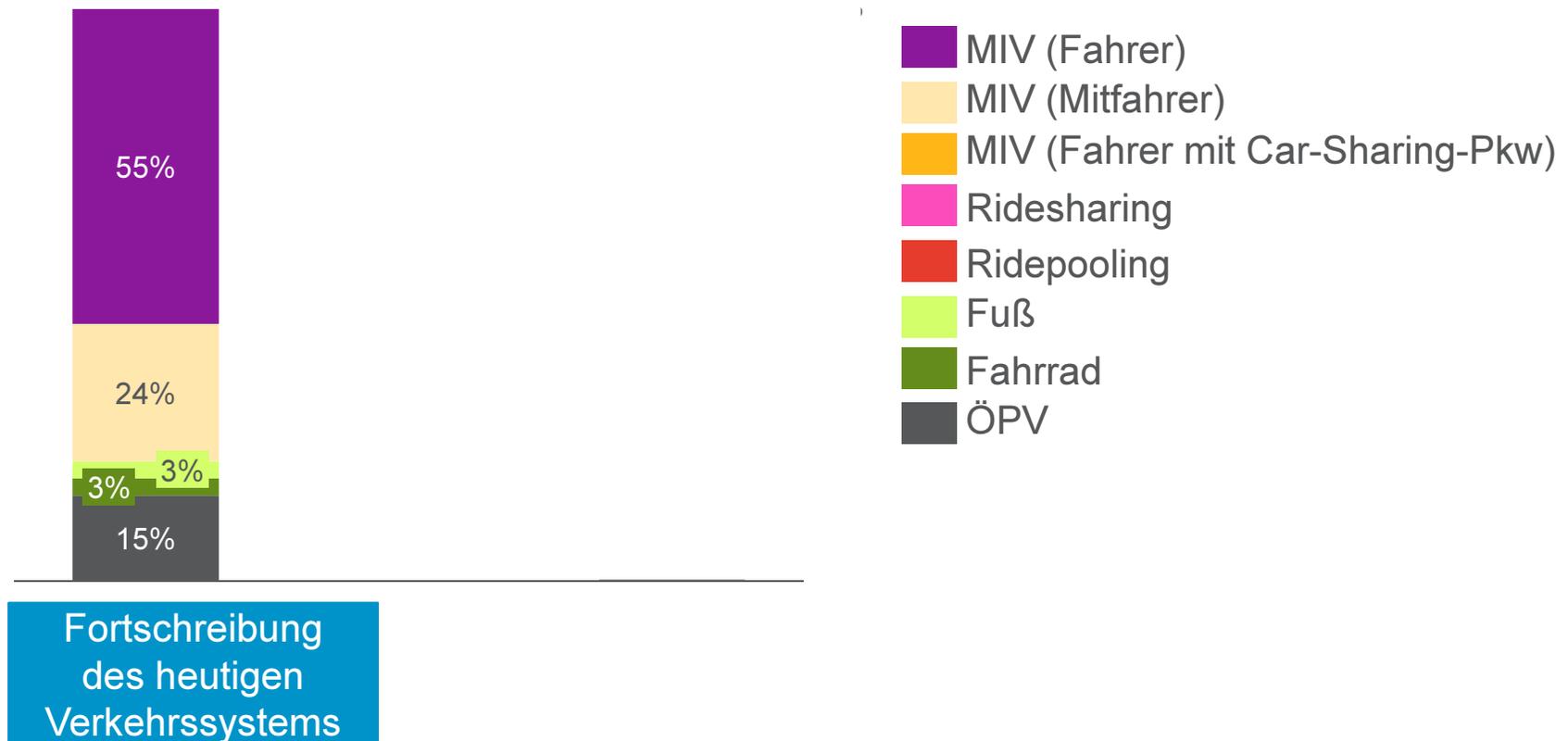
## Auswahl an Studien

- „Perspektiven von Elektro-/Hybridfahrzeugen...“, DLR, FH ISE, FGH, IFHT, 2012
- „dena Verteilnetzstudie“, dena, 2012
- „Verteilernetzstudie“, e-Bridge, IAEW, OFFIS, 2014
- „Klimapfade für Deutschland“, BCG, Prognos, 2018
- „dena Leitstudie“, dena, EWI, ef-ruhr, 2018
- „Kosten von Ladeinfrastrukturen ...“, Grube et al., IEWT, 2017
- „Laden 2020“, DLR/KIT, 2016
- „Blackout“, Oliver Wyman, TUM, 2018
- „Sektorkopplung“ Acatech Leopoldina Union der D. A. d. W., 2017

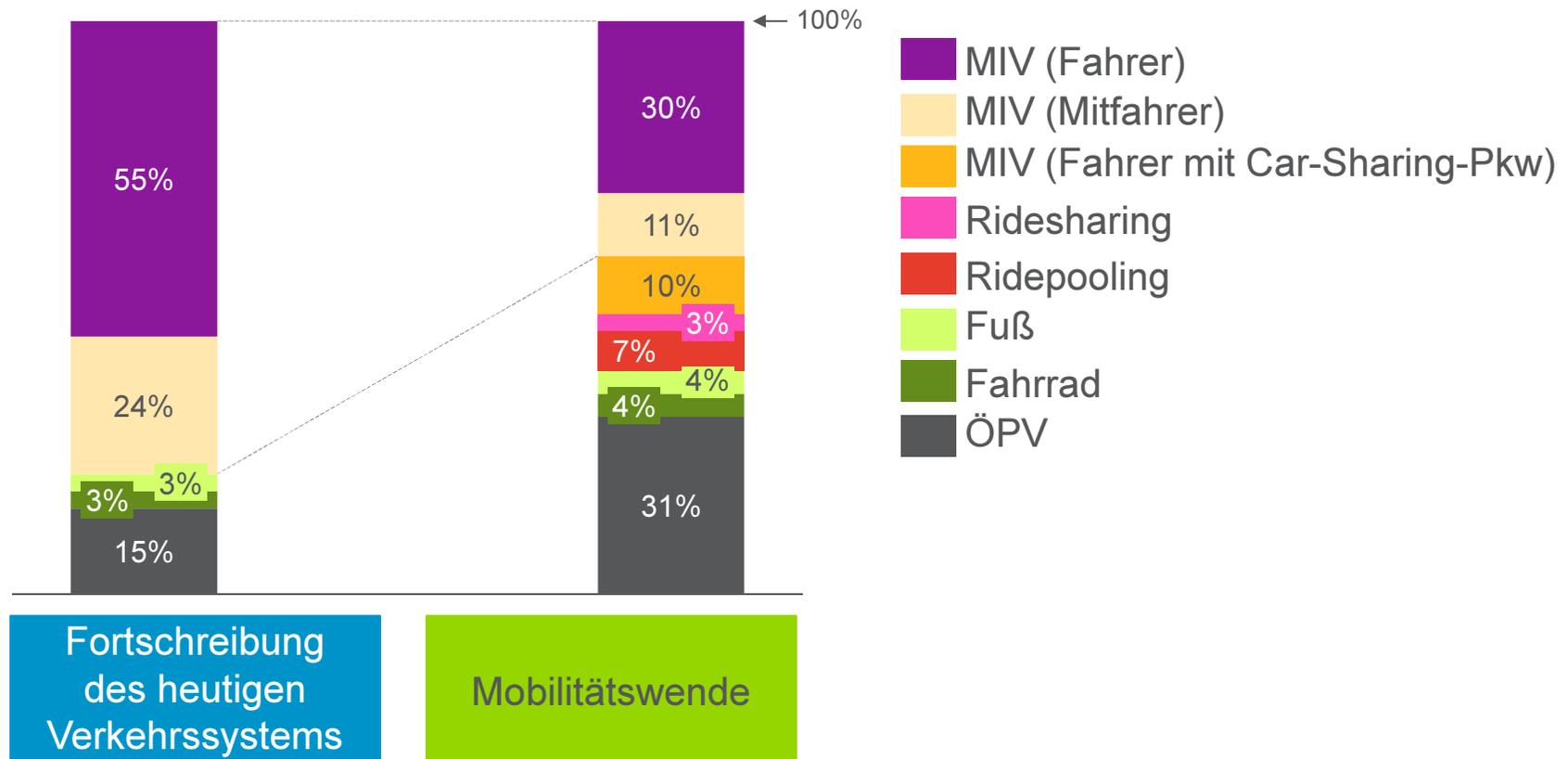
# SZENARIEN ZU ELEKTROMOBILITÄT UND VERTEILNETZAUSBAU



# VERTEILUNG DER VERKEHRSMITTEL UND DEREN VERÄNDERUNG



# VERTEILUNG DER VERKEHRSMITTEL UND DEREN VERÄNDERUNG



# LADEKONZEPTE IM MODELL

## Ungesteuertes Laden



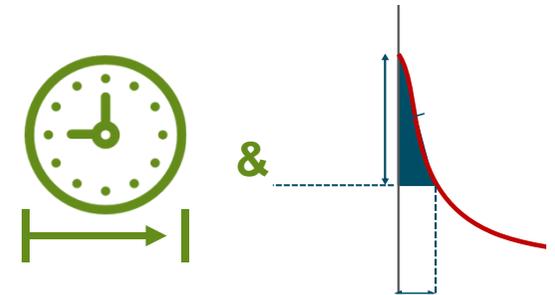
Ladevorgänge finden statt, sobald ein Elektro-Pkw an die Ladestation angeschlossen wird.

## Gesteuertes Laden



Der Ladezeitraum kann vom Verteilnetzbetreiber (VNB) frei zwischen der Ankunfts- und Abfahrtszeit verschoben werden.

## Gesteuertes Laden +

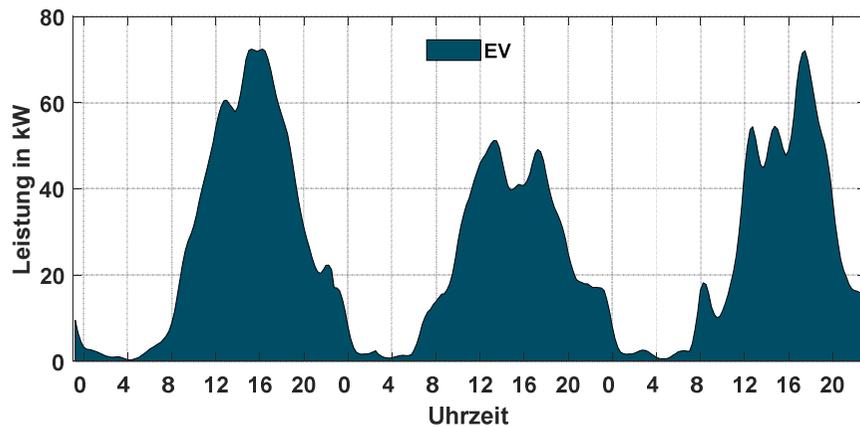


Der VNB kann den Ladezeitraum ebenfalls frei verschieben, hat aber zusätzlich die Möglichkeit, max. 3% der jährlich geforderten Energie nicht zu liefern.

*In der Praxis vermeiden regulative Anreize, dass dies zu Komforteinbußen führt.*

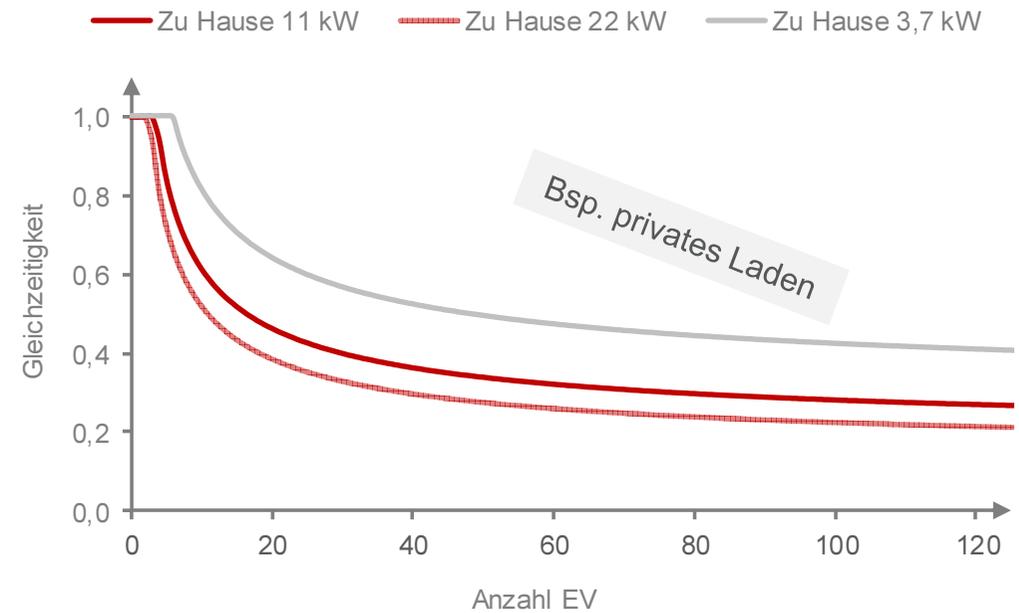
# MODELLBASIERTE ERMITTLUNG VON GLEICHZEITIGKEITEN ALS WICHTIGE GRUNDLAGE IN DER NETZPLANUNG

## Zeitreihen in einem Netzgebiet



- Ankunftszeiten
- Abfahrtszeiten
- Fahrtstrecken
- Komfortgrenzen der Nutzer

## Gleichzeitigkeiten



# KOMBINATION VON ZEITREIHENANALYSE UND KONVENTIONELLEN PLANUNGSGRUNDSÄTZEN

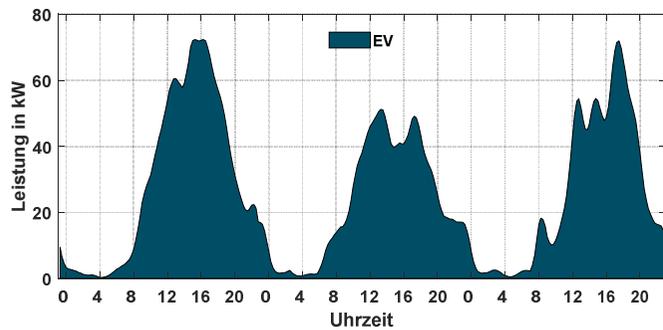
Zeitreihenanalyse



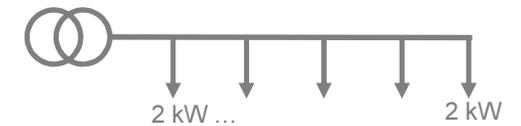
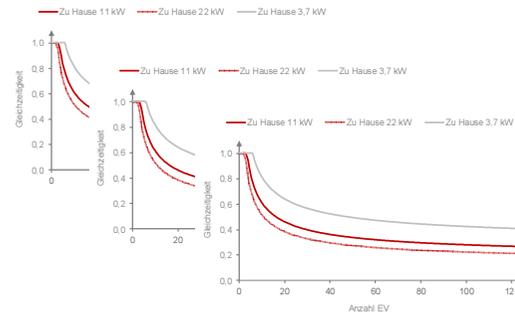
Gleichzeitigkeiten



Planung konventionell



➤ Getrennte Zeitreihenbetrachtung



# KOMBINATION VON ZEITREIHENANALYSE UND KONVENTIONELLEN PLANUNGSGRUNDSÄTZEN

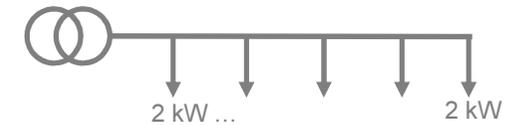
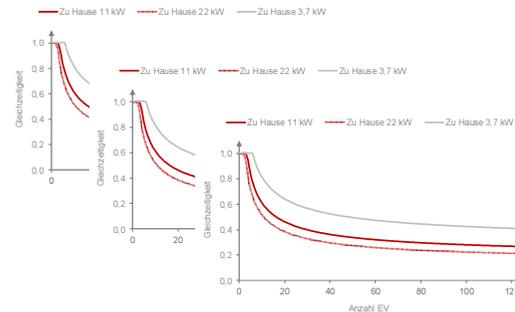
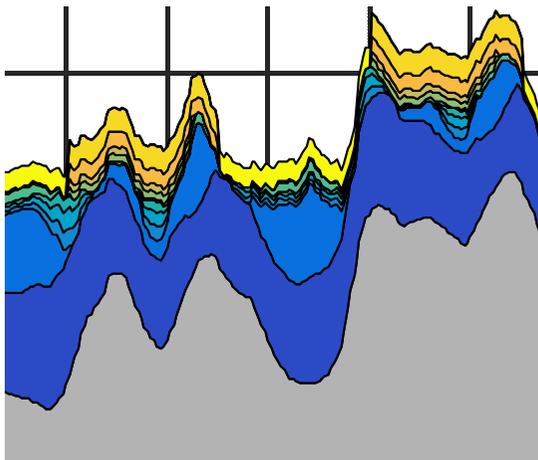
Reduktionsfaktor



Gleichzeitigkeiten



Planung konventionell

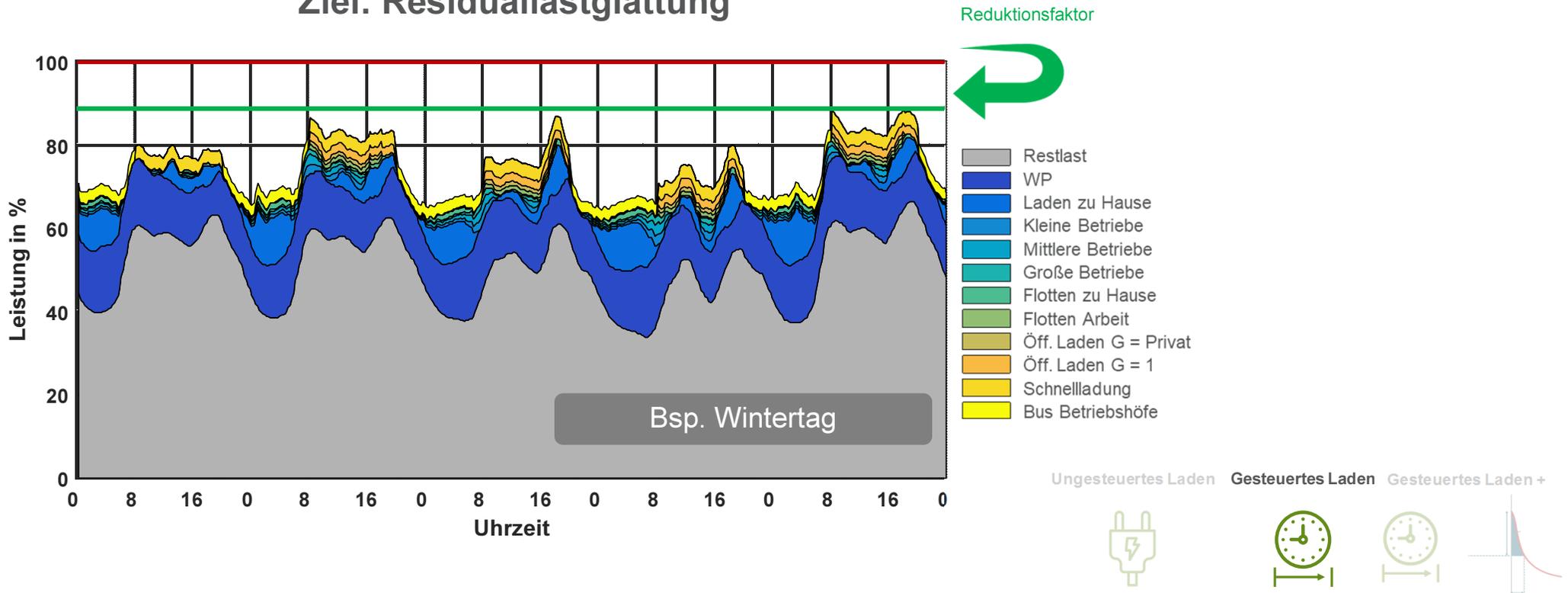


- Gemeinsame Betrachtung von Lasten, EE, Elektro-Pkw, WP
- Vollständige Flexibilisierung



# WAS IST DER REDUKTIONSFAKTOR?

## Ziel: Residuallastglättung



# KOMBINATION VON ZEITREIHENANALYSE UND KONVENTIONELLEN PLANUNGSGRUNDSÄTZEN

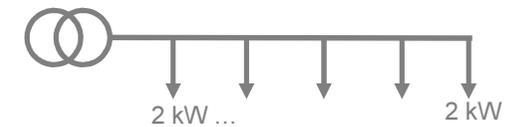
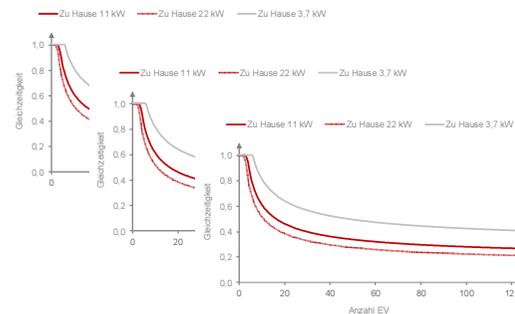
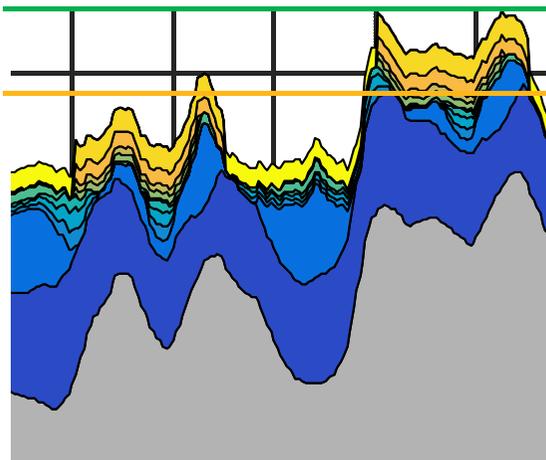
Reduktionsfaktor



Gleichzeitigkeiten



Planung konventionell

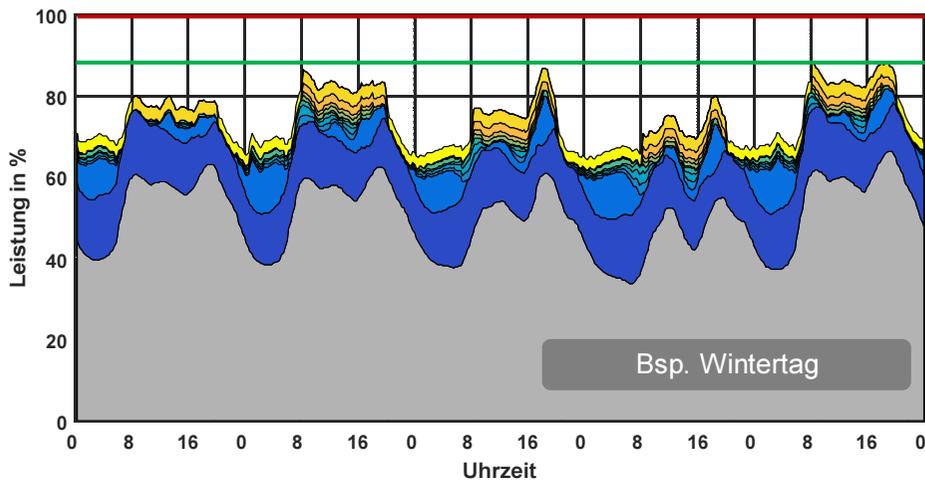


- Gemeinsame Betrachtung von Lasten, EE, Elektro-Pkw, WP
- Vollständige Flexibilisierung
- **Jahresenergie**



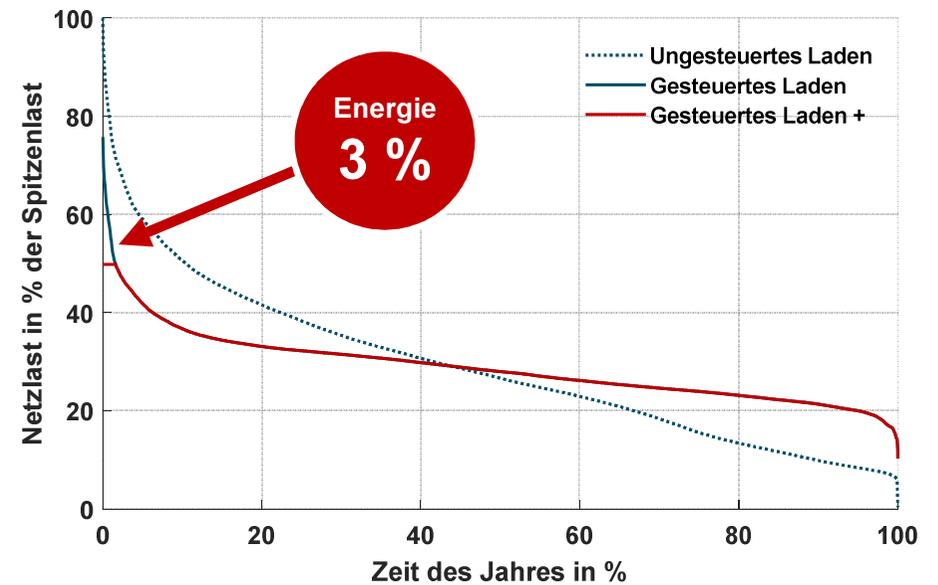
# WELCHE AUSWIRKUNGEN HAT GESTEUERTES LADEN + IN DER NIEDERSPANNUNG?

## Zusätzliche Reduktion von Lastspitzen

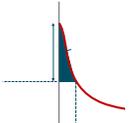


+

## Jahresdauerlinie in einem Netzgebiet

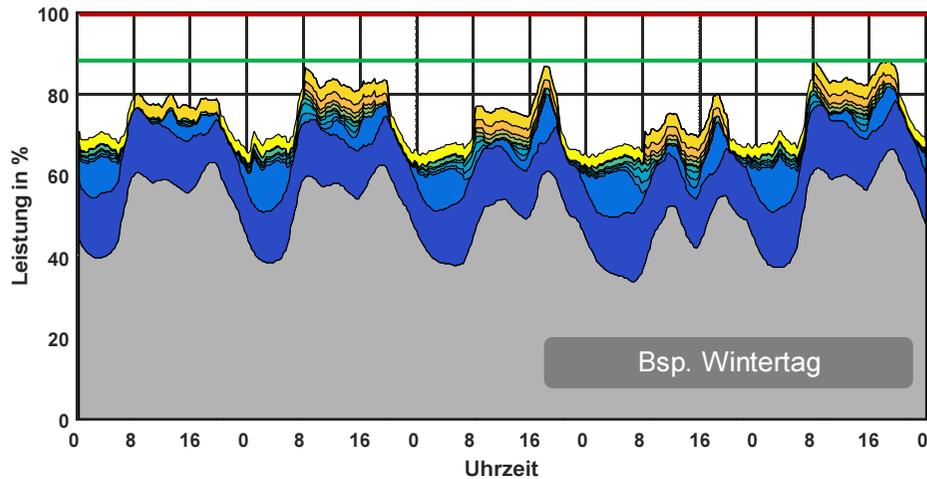


Ungesteuertes Laden Gesteuertes Laden Gesteuertes Laden +



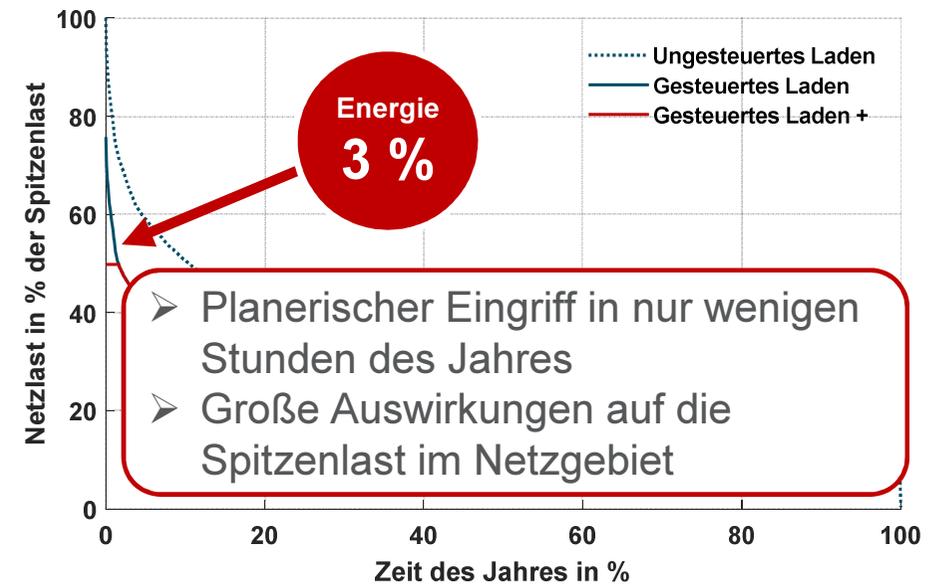
# WELCHE AUSWIRKUNGEN HAT GESTEUERTES LADEN + IN DER NIEDERSPANNUNG?

## Zusätzliche Reduktion von Lastspitzen

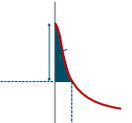


+

## Jahresdauerlinie in einem Netzgebiet

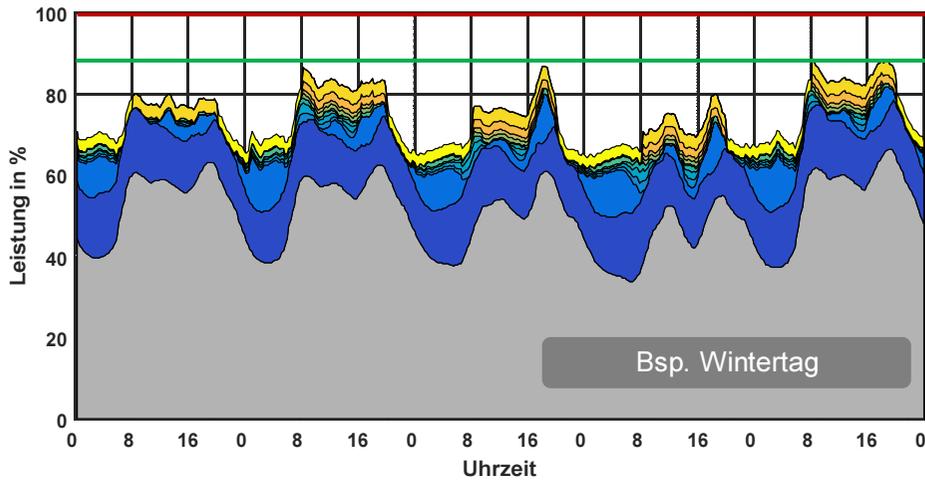


Ungesteuertes Laden Gesteuertes Laden Gesteuertes Laden +



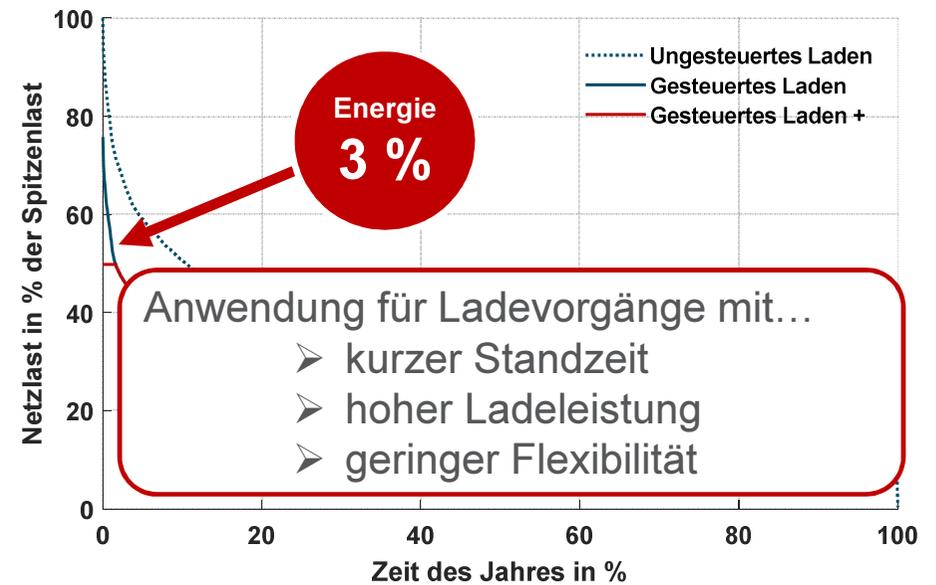
# WELCHE AUSWIRKUNGEN HAT GESTEUERTES LADEN + IN DER NIEDERSPANNUNG?

## Zusätzliche Reduktion von Lastspitzen

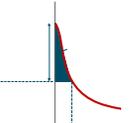


+

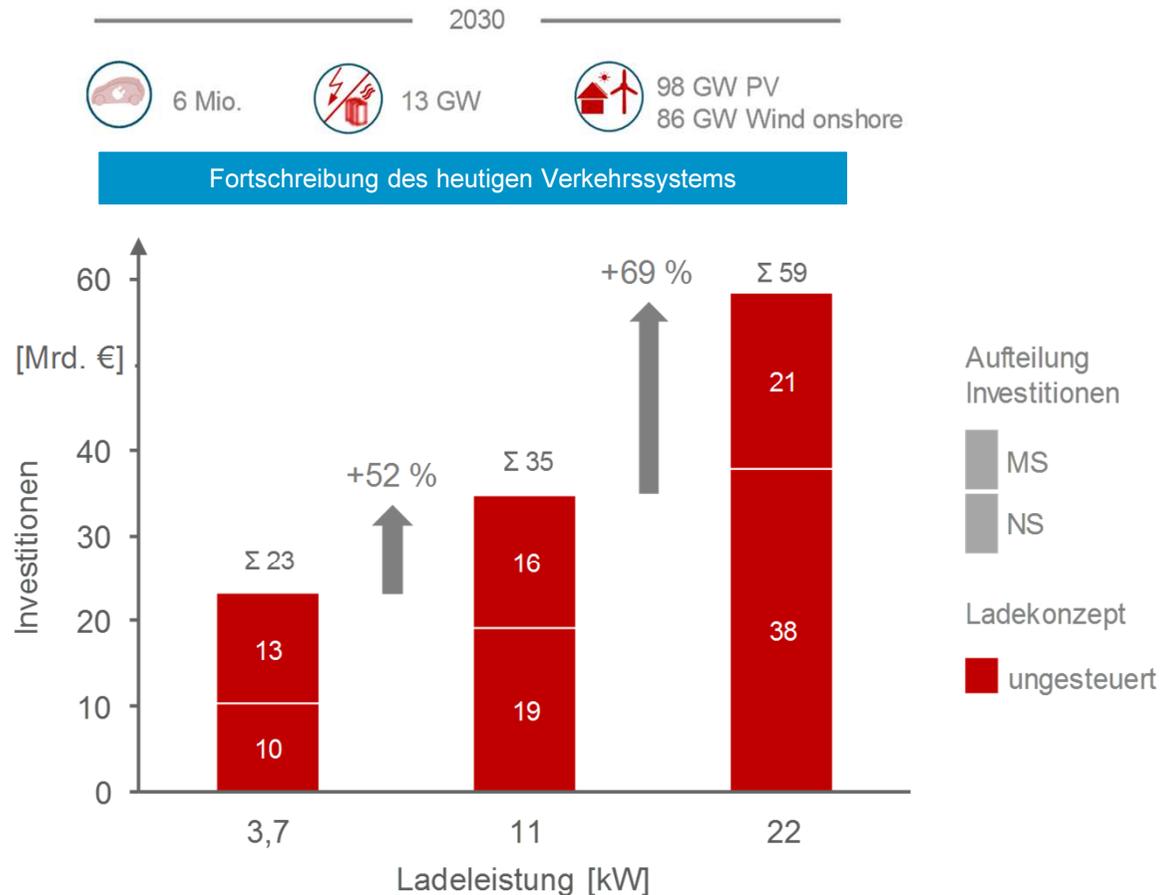
## Jahresdauerlinie in einem Netzgebiet



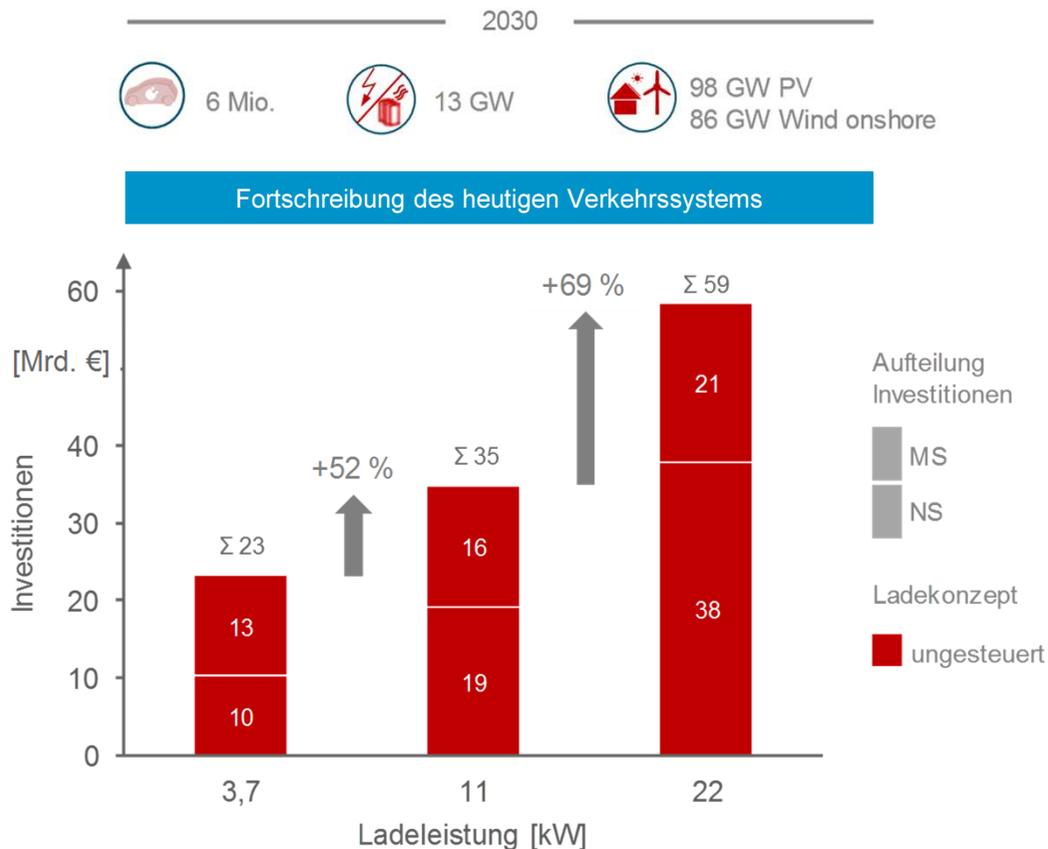
Ungesteuertes Laden Gesteuertes Laden Gesteuertes Laden +



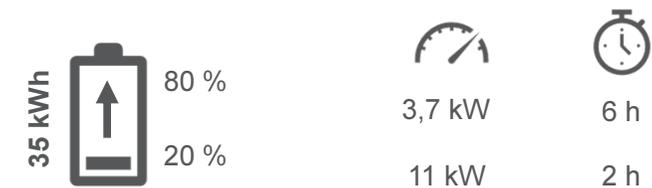
# ERGEBNISSE: MIT WELCHEN INVESTITIONEN IST MITTELFRISTIG OHNE STEUERUNG ZU RECHNEN?



# ERGEBNISSE: MIT WELCHEN INVESTITIONEN IST MITTELFRISTIG OHNE STEUERUNG ZU RECHNEN?

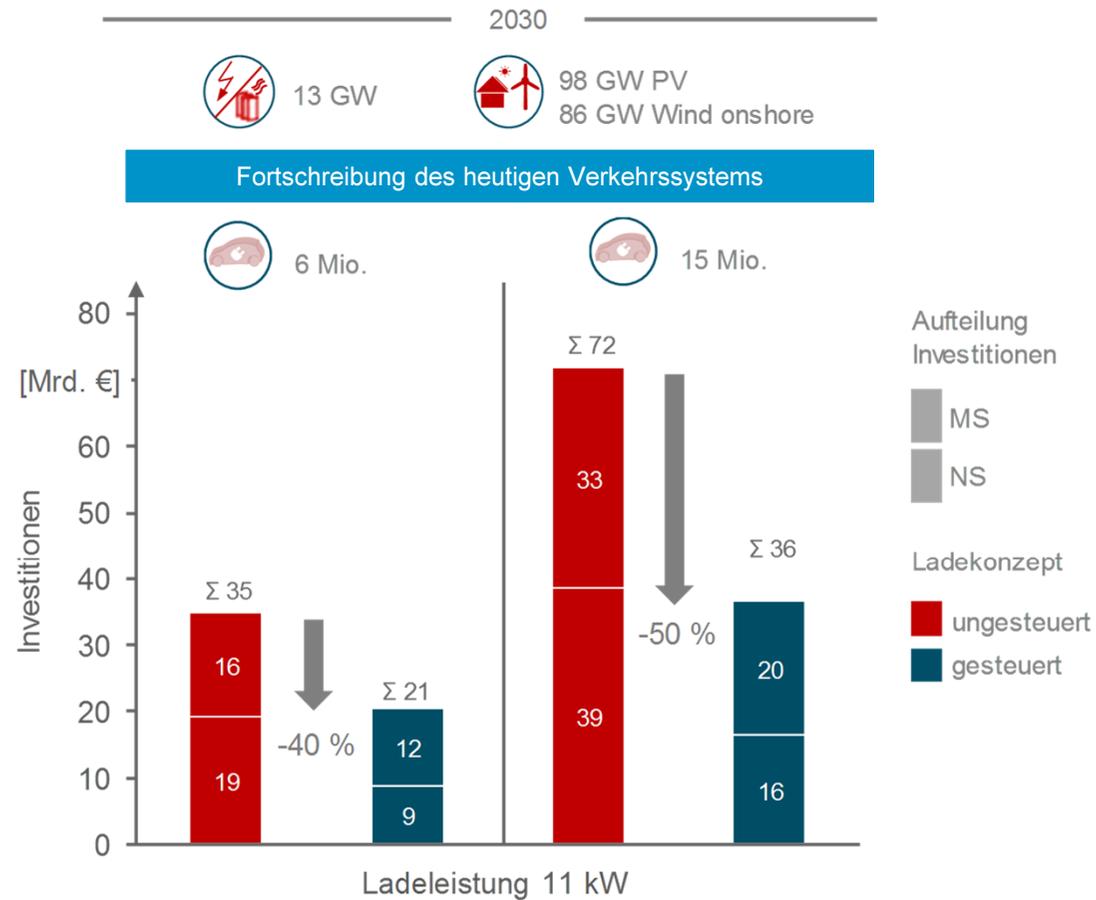


- Investitionen liegen in einem unteren bis mittleren zweistelligen Milliardenbereich
- Steigerung der Investitionen erfolgt nicht proportional zur Erhöhung der Ladeleistung
- Höherer Investitionsbedarf steht deutlichem Komfortgewinn gegenüber

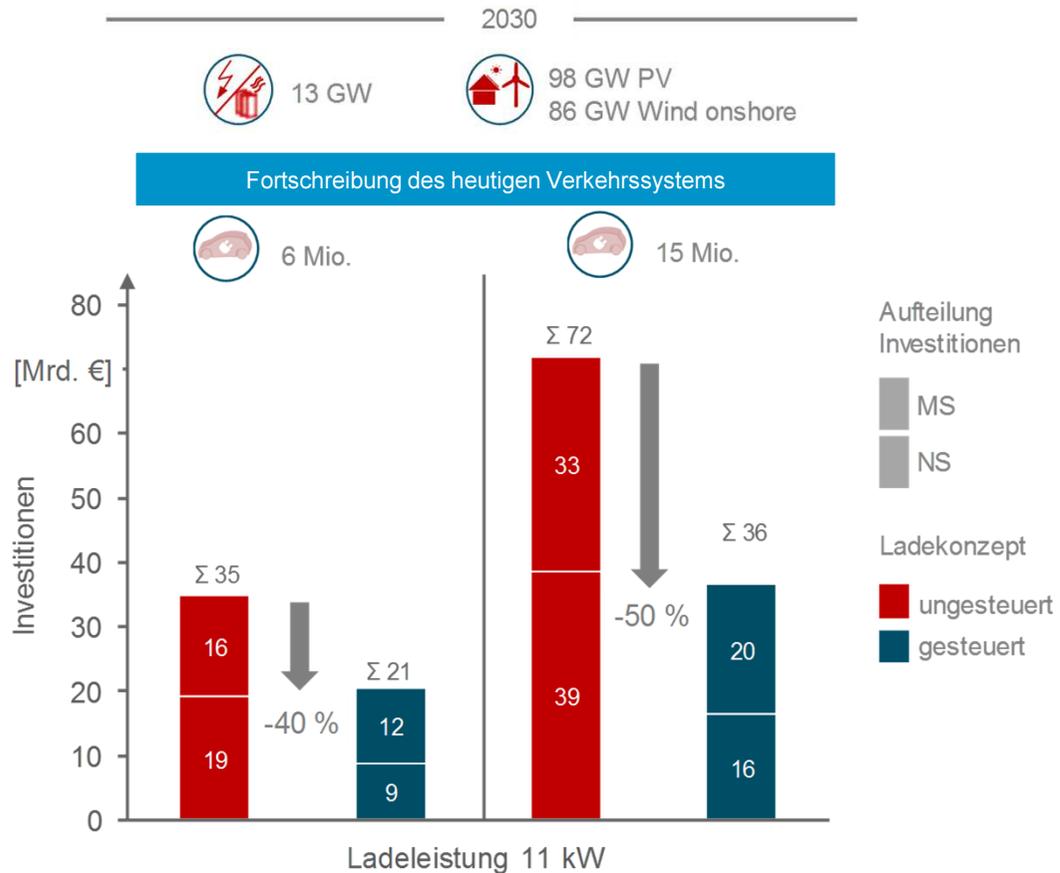


- Mit einer Erhöhung der Ladeleistung steigt der Investitionsbedarf in der Niederspannung stark an
- Dies ist insbesondere bei 22 kW ungesteuert der Fall

# ERGEBNISSE: MIT WELCHEN INVESTITIONEN IST MITTELFRISTIG MIT STEUERUNG ZU RECHNEN?

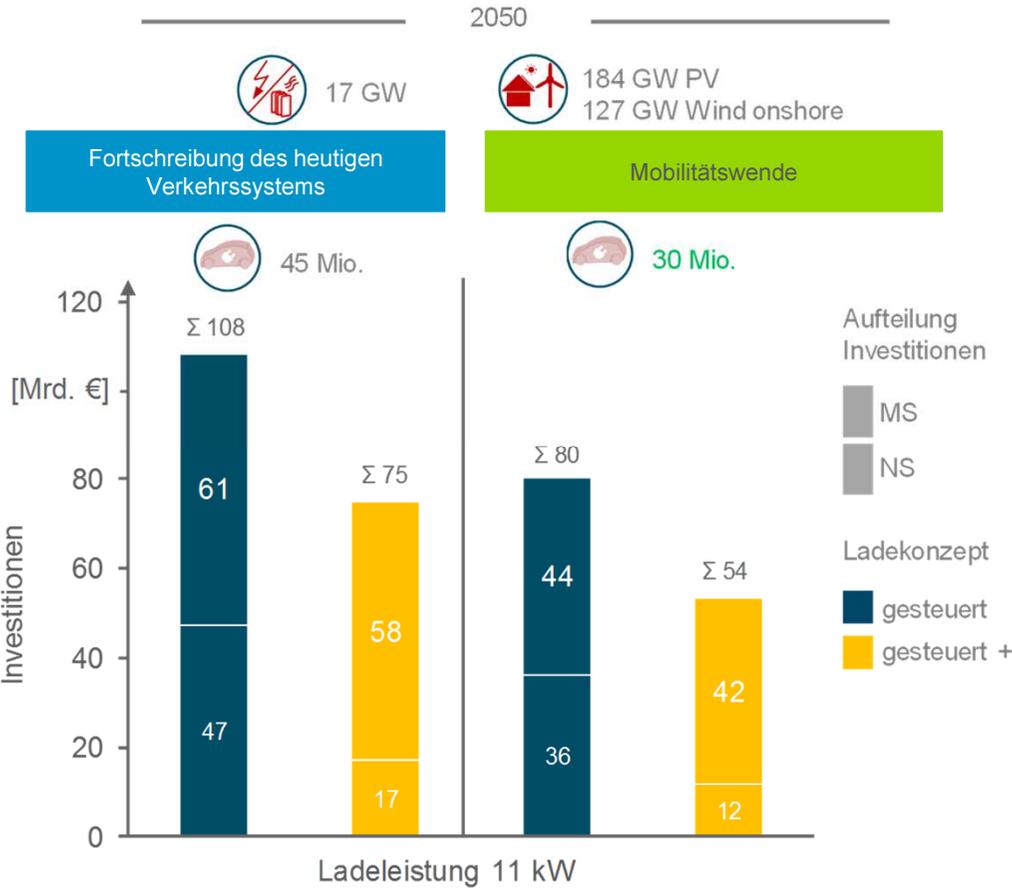


# ERGEBNISSE: MIT WELCHEN INVESTITIONEN IST MITTELFRISTIG MIT STEUERUNG ZU RECHNEN?

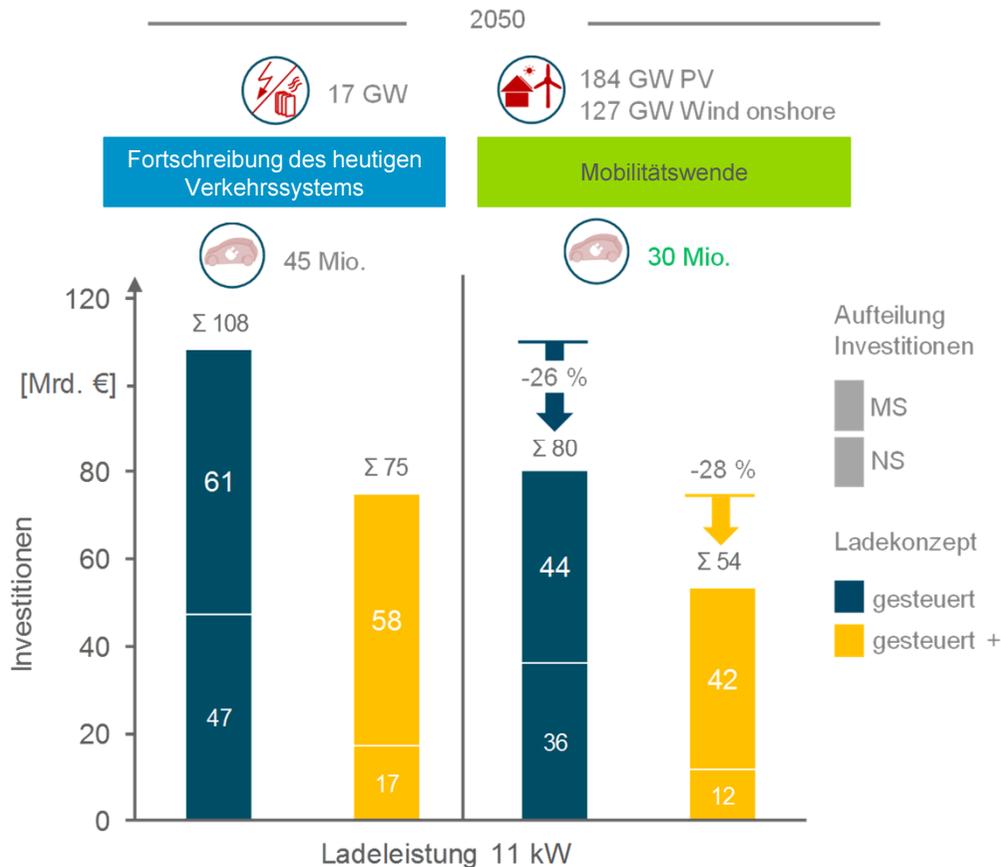


- Ein ungesteuertes Laden führt bei 15 Mio. Elektro-Pkw bereits zu Investitionen von ca. 70 Mrd. €
- Eine Steuerung von Ladevorgängen ohne Eingriff in den Komfort des Netznutzer spart bis zu 50 % der erforderlichen Investitionen ein
- Auswirkungen in der Niederspannung sind deutlicher, da hier mehr flexible Ladeinfrastrukturen vorhanden sind

# ERGEBNISSE: WELCHE INVESTITIONEN SIND BEI EINER VOLLELEKTRIFIZIERUNG ZU ERWARTEN?



# ERGEBNISSE: WELCHE INVESTITIONEN SIND BEI EINER VOLLELEKTRIFIZIERUNG ZU ERWARTEN?



- Durch die Umstellung auf Elektromobilität sind im Falle des gesteuerten Ladens Investitionen in einem knapp dreistelligen Milliardenbereich bis 2050 zu erwarten
- Durch das planerische Konzept gesteuertes Laden + können diese Investitionen um ca. 30 % gesenkt werden; dies betrifft insbesondere die Niederspannungsebene
- Ohne eine solche Steuerung der Ladevorgänge wäre ein Netzausbau in der Höhe der heutigen NS-Leitungslänge notwendig
- In der MS-Ebene ist die kumulative Gleichzeitigkeit eine Herausforderung in der Netzplanung
- Eine Mobilitätswende mit einer entsprechenden Steuerung reduziert den erforderlichen Investitionsbedarf um weitere ca. 30 %
- Investition in der NS-Ebene liegen im Bereich von 3,7 kW für 6 Mio. E-Pkw im ungesteuerten Fall

# ERGEBNISSE: INVESTITIONSBEDARF IM VERGLEICH ZU HISTORISCHEN INVESTITIONEN



- Die jährlich zu erwartenden Investitionen liegen im Bereich von 1,4 Mrd. € bis 2,4 Mrd. € bei einer linearen Verteilung über die Jahre
- Enthalten sind hierbei die Investitionen für die NS-Ebene und MS-Ebene für die Umstellung des Verkehrssystems auf Elektromobilität + Wärmepumpen + Erneuerbare Energien
- Historische Gesamtinvestitionen (HS+MS+NS) liegen zwischen 2,4 Mrd. € bis 3,8 Mrd. €
- Netzausbaustudien weisen einen mittleren zweistelligen Milliardenbetrag zusätzlich für die HS-Ebene aus

# STEUERUNG UND MOBILITÄTSWENDE REDUZIEREN DEN INVESTITIONSBEDARF FÜR DEN VERTEILNETZAUSBAU

**Der Verteilnetz-  
Investitionsbedarf steigt mit  
höheren Anschlussleistungen  
und Anzahl an Elektro-Pkw**



**Gesteuerte Ladekonzepte  
reduzieren den Verteilnetz-  
Investitionsbedarf**



**Die Mobilitätswende reduziert  
den Investitionsbedarf in das  
Verteilnetz**



**Wie kann die Steuerung  
ausgestaltet und umgesetzt  
werden?**

# FRAGEN & ANTWORTEN



# VERTEILNETZAUSBAU FÜR DIE ENERGIEWENDE

## ELEKTROMOBILITÄT IM FOKUS (TEIL 2)

ABSCHLUSSVERANSTALTUNG EINES  
PROJEKTS FÜR AGORA  
VERKEHRSWENDE, AGORA  
ENERGIEWENDE UND REGULATORY  
ASSISTANCE PROJECT

26. AUGUST 2019

Im Auftrag von:



Navigant in Kooperation mit:



# NAVIGANT

# ELEKTROFAHRZEUGE FALLEN HEUTE IN DEN ANWENDUNGSBEREICH DES §14a EnWG, DER JEDOCH ANGEPASST WERDEN MUSS

## §14a EnWG im Status quo

- Reduziertes Netzentgelt (11-83%) im Gegenzug zu Steuerungseingriff des Netzbetreibers
- V.a. Einsatz von Rundsteuertechnik oder Zeitschaltuhren, künftig iMSys vorgeschrieben
- V.a. Steuerung von Nachtspeicherheizungen und Wärmepumpen nach statischen Profilen, energiewirtschaftlicher Kontext der Vergangenheit
- Keine Regulierung von Ausmaß der Reduktion oder Umfang der Steuerung
- Theoretisch für Elektrofahrzeuge anwendbar, aber keine praktische Relevanz der Regelung



## In künftigen Regelungen zu klärende Fragen

- **Steuerbarkeit als Voraussetzung:** Wie wird erreicht, dass Elektro-Pkw steuerbar sind?
- **Anreize:** Inwieweit sollte über Preisanreize das Ladeverhalten gesteuert werden und inwieweit sollte auf Elektro-Pkw direkt steuernd eingegriffen werden?
- **Eingriffe bei Grenzwertverletzungen:** Wann sollte im Fall der Fälle kurativ gesteuert werden?
- **Zuteilung von Kapazitäten:** Nach welchem Schema sollten Netzkapazitäten zugeteilt werden?

# DREI EINZELMAßNAHMEN ERSCHEINEN IN ALLEN DISKUTIERTEN ANSÄTZEN ALS “KLEINSTER GEMEINSAMER NENNER”

## Elektro-Fahrzeuge an Netzausbaukosten beteiligen



Baukostenzuschüsse (BKZ) für  
Anschlüsse unter 30 kW

## Steuerbarkeit finanziell attraktiv machen



Reduzierte Netzentgelte für  
steuerbare Lasten  
Reduzierter BKZ möglich  
Verpflichtungen als letztes Mittel

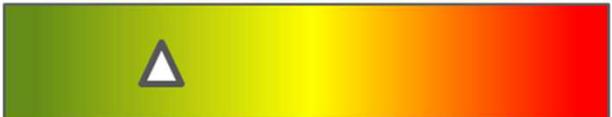
## Notwendige Informations- und Kommunikations- technologie (IKT) verbreiten



Steuerbox  
Lastprognosen  
Intelligente Messsysteme  
(iMSys)

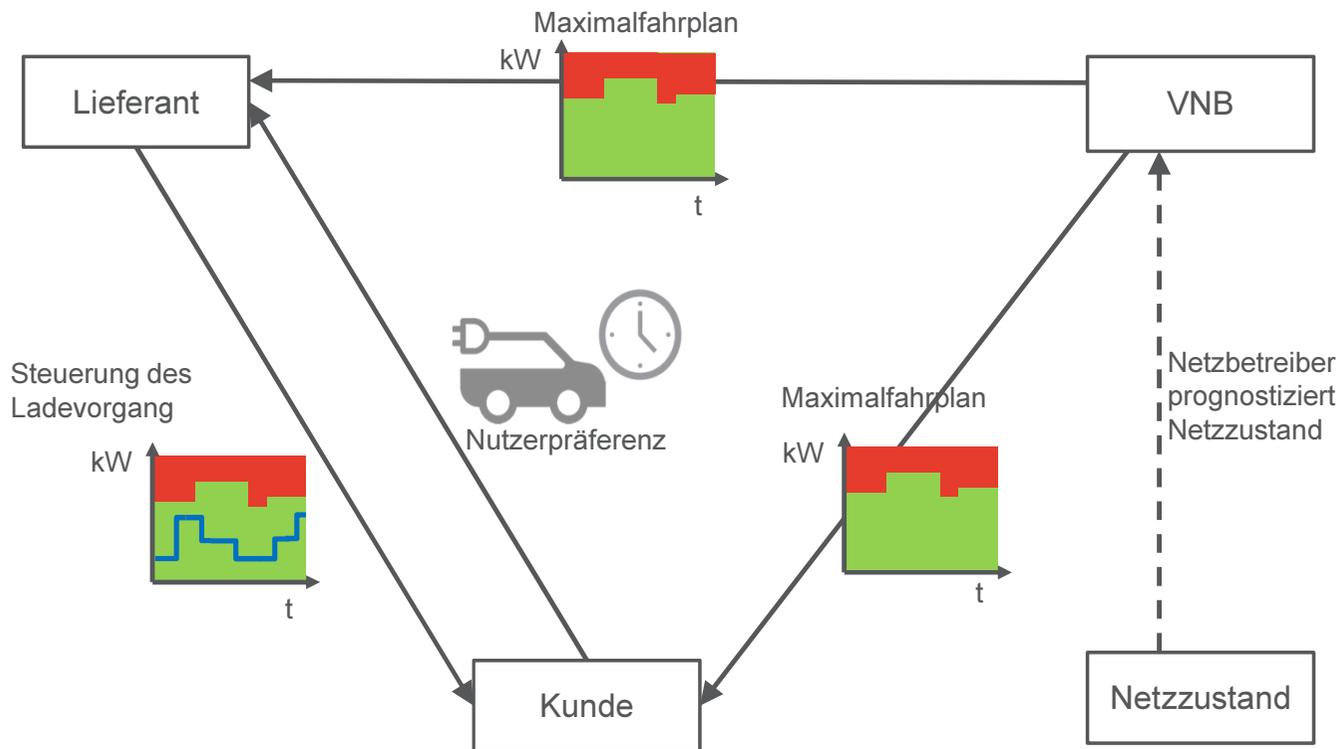
# DERZEIT BEFINDEN SICH VERSCHIEDENE ANSÄTZE ZUR ZUTEILUNG VON NETZKAPAZITÄTEN IN DER DISKUSSION

## Einordnung von derzeit diskutierten Steuerungsansätzen in Phasen der Netzampel

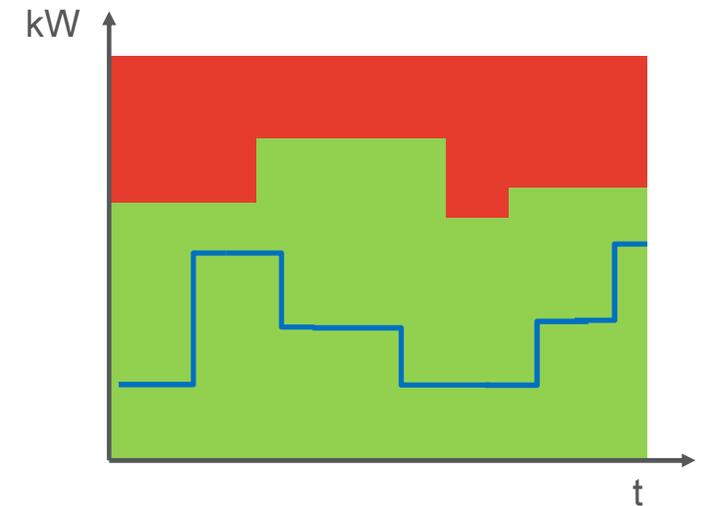
	Mechanismus	Kurativ/ präventiv	Eingriffs- intensität	Status	Einordnung in BDEW-Ampelkonzept
	Direkte, physische Steuerung zur Einhaltung der Kapazitätsgrenze (Schaltung) durch den VNB bei drohendem Netzengpass	Kurativ	Hoch	Aktuell in Diskussion um Ausgestaltung §14a	
<b>Status quo</b>	Direkte, physische Steuerung (Schaltung) durch den VNB nach ex ante festgelegtem Zeitplan (bspw. Tag/Nacht, Sperrzeiten)	Präventiv	Hoch	§14a im Status quo für Nachtspeicherheizungen, Wärmepumpen	
	Allokation von Netzkapazitäten & Pönale bei Überschreitung der zugeordneten Kapazitätsgrenze (täglich definierter Preisanreiz)	Präventiv	Mittel	Flexfenster/ Maximalfahrplan aktuell in Diskussion um Ausgestaltung §14a	
	Stündlich variabler Preisanreiz (Lenkung)	Präventiv	Niedrig	Zeitlich variable Netzentgelte, in der wissenschaftlichen Diskussion	

# EIN MAXIMALFAHRPLAN ERMÖGLICHT EINE NETZVERTRÄGLICHE OPTIMIERUNG

Der VNB prognostiziert und kommuniziert die verfügbare Netzkapazität auf Basis einer Netzprognose



Innerhalb des Maximalfahrplans können sich Elektro-Pkw optimieren



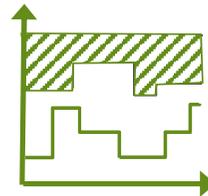
# EIN GEEIGNETER REGULATORISCHER RAHMEN LÖST NETZENGÄSSE SOWOHL PRÄVENTIV ALS AUCH KURATIV

## Netzengpässe vermeiden „präventiv“



Zeitvariable Netzentgelte

- Ermöglichen bessere Koordination mit Marktprozessen
- Erfordern eine Prognose von Netzengpässen
- Wirkung ist indirekter und schwächer
- Feldversuche in Deutschland erforderlich



Flexfenster, Maximalfahrplan

- Wirkt durch starken Anreiz (Pönale) zielgerichteter
- Notwendiger Aufwand und mögliche Granularität muss praxiserprobt werden

## Netzengpässe beheben „kurativ“



Eingriffe bei kritischen  
Netzzuständen

- Als „backup“ bei präventiven Ansätzen sinnvoll
- Als „stand alone“ bessere Netzauslastung, aber schlechtere Koordination mit Markt und kritische Nutzerakzeptanz

# REGULATORISCHER RAHMEN FÜR GESTEUERTES LADEN

## HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN



**Flächendeckende Steuerbarkeit** von Elektro-Fahrzeugen anreizen (z.B. BKZ, reduziertes Netzentgelt, ggfs. Verpflichtungen).



**Informations- und Kommunikationstechnik** für Sensorik und Aktorik verbessern, Prognosetools weiterentwickeln, Übergangsszenario bis zum Rollout von iMSys entwickeln



**Preissignale für netzdienliches Laden** zur Vermeidung von Netzengpässen setzen wo dies technisch und wirtschaftlich sinnvoll ist (z.B. durch zeitvariable Netzentgelte, oder Maximalfahrplänen und Pönalen zur Einhaltung). Hierzu sind die z.T. laufenden Feldversuche (SINTEG etc.) auszuwerten



**Kurative Maßnahmen** minimieren. Als „backup“ bei der Steuerung durch Preissignale implementieren; als alleiniges Instrument nur einsetzen, wenn sich Preissignale als nicht technisch/wirtschaftlich umsetzbar erweisen.

# FRAGEN & ANTWORTEN



# KONTAKTDATEN

## **KORINNA JÖRLING**

Korinna.Joerling@Navigant.com

## **DR.-ING. MARCO GREVE**

M.greve@energieforschung.ruhr

## **DR. CHRISTIAN NABE**

Christian.Nabe@Navigant.com

## **DR.-ING. KARSTEN BURGES**

info@re-xpertise.de

## QUELLEN ZU FOLIEN 11, 12, 13

- „Perspektiven von Elektro-/Hybridfahrzeugen in einem Versorgungssystem mit hohem Anteil dezentraler und erneuerbarer Energiequellen“ – Schlussbericht, BMWi – FKZ 0328005 A-C, DLR, FH ISE, IFHT, FGH, 2012
- „Ausbau- und Innovationsbedarf der Stromverteilnetze in Deutschland bis 2030. (dena-Verteilnetzstudie)“ Endbericht, dena, 2012
- „Moderne Verteilernetze für Deutschland“(Verteilernetzstudie), e-Bridge, IAEW, OFFIS, 2014
- LADEN2020 - Schlussbericht, Konzept zum Aufbau einer bedarfsgerechten Ladeinfrastruktur in Deutschland von heute bis 2020, Institut für Verkehrsforschung Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Fahrzeugkonzepte Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Verkehrswesen, Karlsruher Institut für Technologie, 15.12.2016
- »Sektorkopplung« – Optionen für die nächste Phase der Energiewende, Leopoldina, acatech, Union der Deutschen Akademien der Wissenschaften, November 2017
- „dena-Leitstudie Integrierte Energiewende - Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050“, dena, EWI, ef ruhr, 2018
- „Klimapfade für Deutschland“, BCG, Prognos, 2018
- „Blackout - E-Mobilität setzt Netzbetreiber unter Druck“, Oliver Wyman, TU München, 2018