# Simulation zur ökonomischen Bewertung des Vermarktungspotenzials von Regelleistung durch batterieelektrische Fahrzeuge

INUAS Converence 2019

Housing under Pressure. Dynamics between Centers and Peripherie
FH Campus Vienna, 2019

HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN MÜNCHEN

Universität der Bundeswehr München
Professur für Verkehrstechnik

münchen emobil

INUAS MÜNCHEN·WIEN·ZÜRICH

**Markus Fischer**
Hochschule für angewandte Wissenschaften München, Fakultät für Wirtschaftsingenieurwesen
Lothstraße 64, 80335 München, Deutschland
Tel. +49 89 1265 3936, E-Mail markus.fischer@hm.edu

**Klaus Bogenberger**
Universität der Bundeswehr München, Professur für Verkehrstechnik
Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg, Deutschland
Tel. +49 89 6004 2530, E-Mail klaus.bogenberger@unibw.de

**Jörg Elias**
Hochschule für angewandte Wissenschaften München, Fakultät für Wirtschaftsingenieurwesen
Lothstraße 64, 80335 München, Deutschland
Tel. +49 89 1265 3950, E-Mail joerg.elias@hm.edu

## Zielsetzung

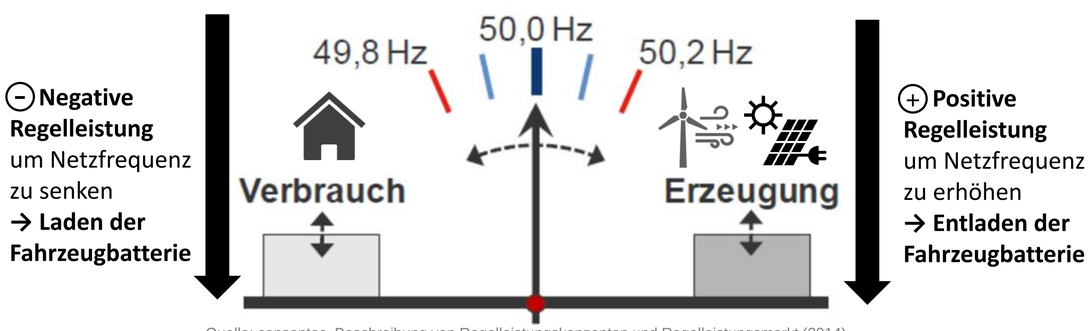
Quantifizierung der monetären Vergütungspotenziale aus der Vermarktung von Regelleistung durch batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) unter Annahme der Energiemarktdaten aus dem Jahr 2017 im hochverdichteten urbanen Raum.

## Methodik

- Erstellung eines Simulationsmodells in MATLAB zur wirtschaftlichen und technologischen Bewertung der Vermarktung von Regelleistung durch Elektrofahrzeuge
- Simulationszeitraum 1 Jahr in 15-Minuten-Intervallen, um Schwankungen im Regelleistungsmarkt und im Mobilitäts- und Ladeverhalten zu berücksichtigen
- Mobilitäts- und Ladeverhalten basiert auf Daten von realen BEVs, die mittels Datenloggern erfasst worden sind.
- Simulation von 8 Fahrzeugen mit den fahrzeugspezifischen Parametern BMW i3 (120 Ah)
- Limitierung der Lade- bzw. Entladeleistung auf mehreren Ebenen
  - Auf Ebene des **einzelnen BEV**: **AC-Ladeleistung Ladepunkt**, **AC-Ladeleistung BEV**, **Aktueller Akkustand BEV**
  - Auf Ebene **mehrerer BEVs**: **Freie Übertragungsleistung Hausanschluss** unter Berücksichtigung des momentanen Leistungsabrufs der Wohnanlage und dem Leistungsabruf der anderen BEVs

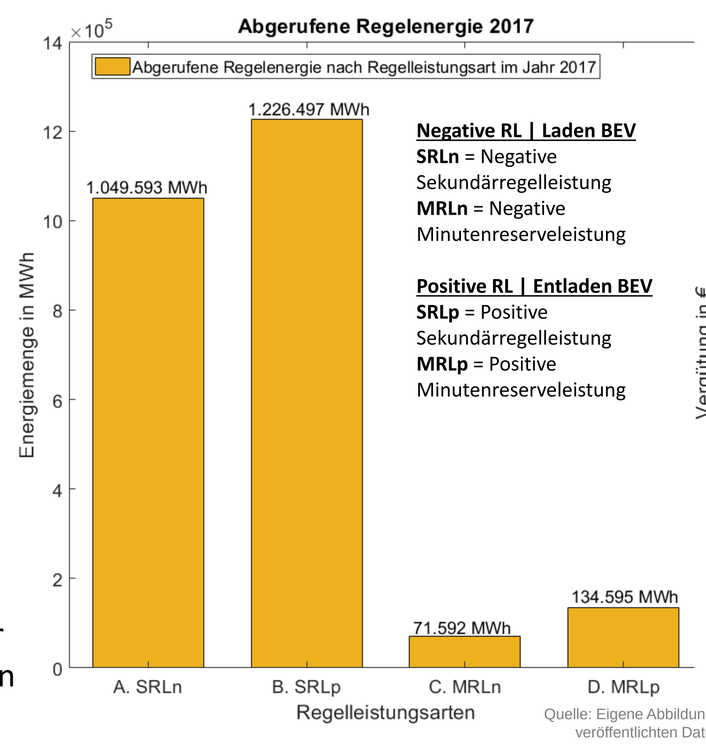
## Regelleistung

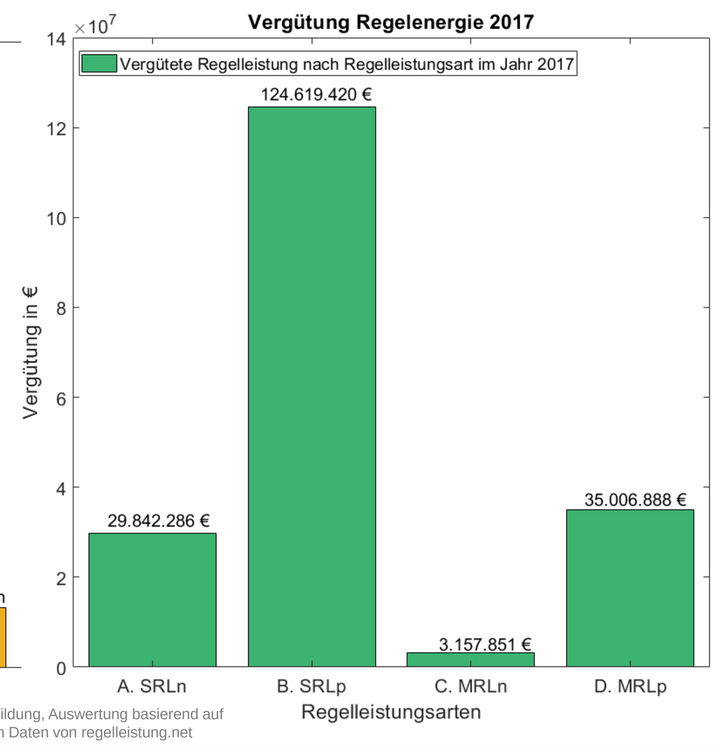
- Regelleistung ist notwendig, um das Energienetz im Gleichgewicht zu halten (Netzfrequenz mit Nominalwert 50 Hz als Messkriterium) und somit Schwankungen zwischen Verbrauch und Erzeugung **(Ausbau erneuerbare Energien)** auszugleichen




Quelle: consentec, Beschreibung von Regelleistungskonzepten und Regelleistungsmarkt (2014)

- Volumen Regelleistungsmarkt 2017 > **190 Mio. €**
- Batterieelektrische Fahrzeuge können während der Verbindungsdauer mit der Ladeinfrastruktur am Regelleistungsmarkt partizipieren, um die Betriebskosten und damit die Wirtschaftlichkeit von BEVs und LIS zu verbessern

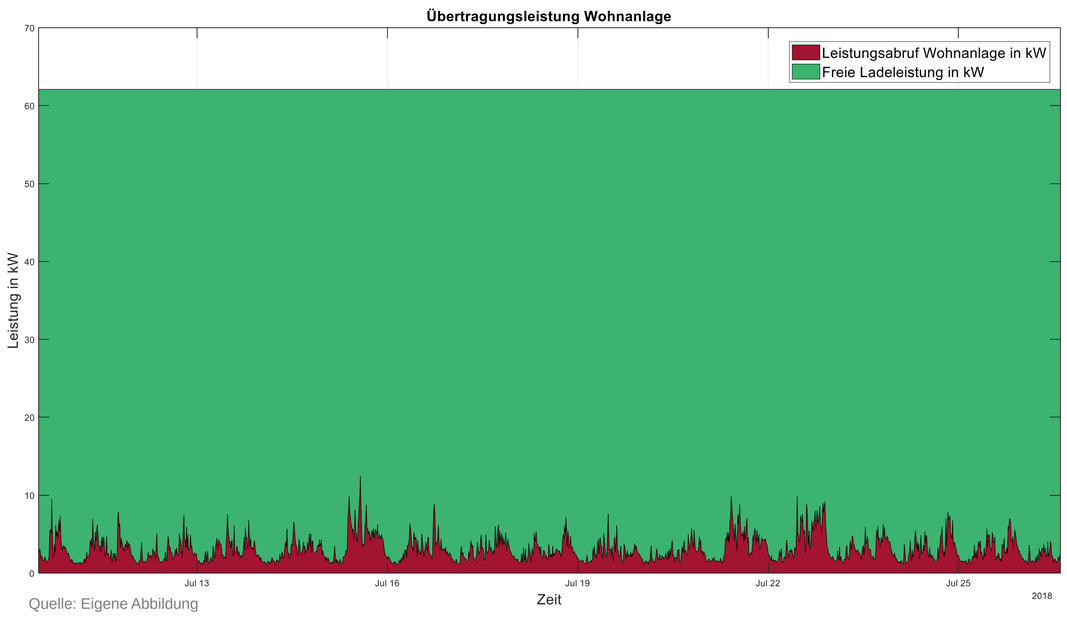



Quelle: Eigene Abbildung, Auswertung basierend auf veröffentlichten Daten von regelleistung.net

## Übertragungsleistung im hochverdichteten urbanen Raum

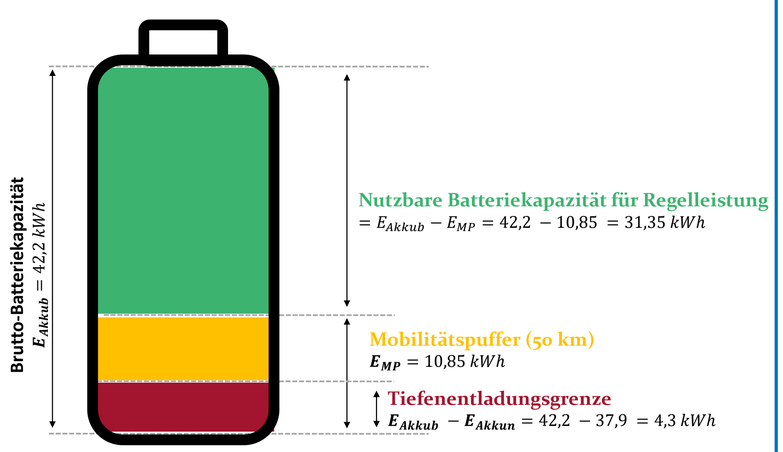
- Verwendung des Lastprofils einer Wohnanlage mit 14 Wohneinheiten und 18 Tiefgaragenstellplätzen (Jahresverbrauch 34.350 kWh)




Quelle: Eigene Abbildung

## Simulationslogik

- Für jedes 15-Minuten-Intervall wird die Lade- bzw. Entlademethode gewählt, aus welcher der höchste Gewinn bzw. der geringste Verlust für die BEV Besitzer resultiert
- Zusätzliche Alterungseffekte der Batterie durch die Vermarktung von Regelleistung, werden durch eine Kostenfunktion monetär bewertet
- Berücksichtigung eines **Mobilitätspuffer** als Energiemenge die zur Fortbewegung **mindestens** in der Batterie verbleiben soll
- Wenn Mobilitätspuffer unterschritten wird, muss sofort geladen werden
- Falls keine negative RL abgerufen wird, wird „normal“ geladen




Quelle: Eigene Abbildung

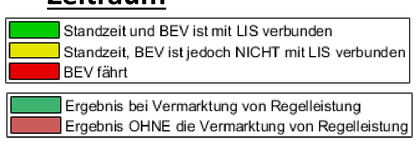
## Fixe Eingangsparameter

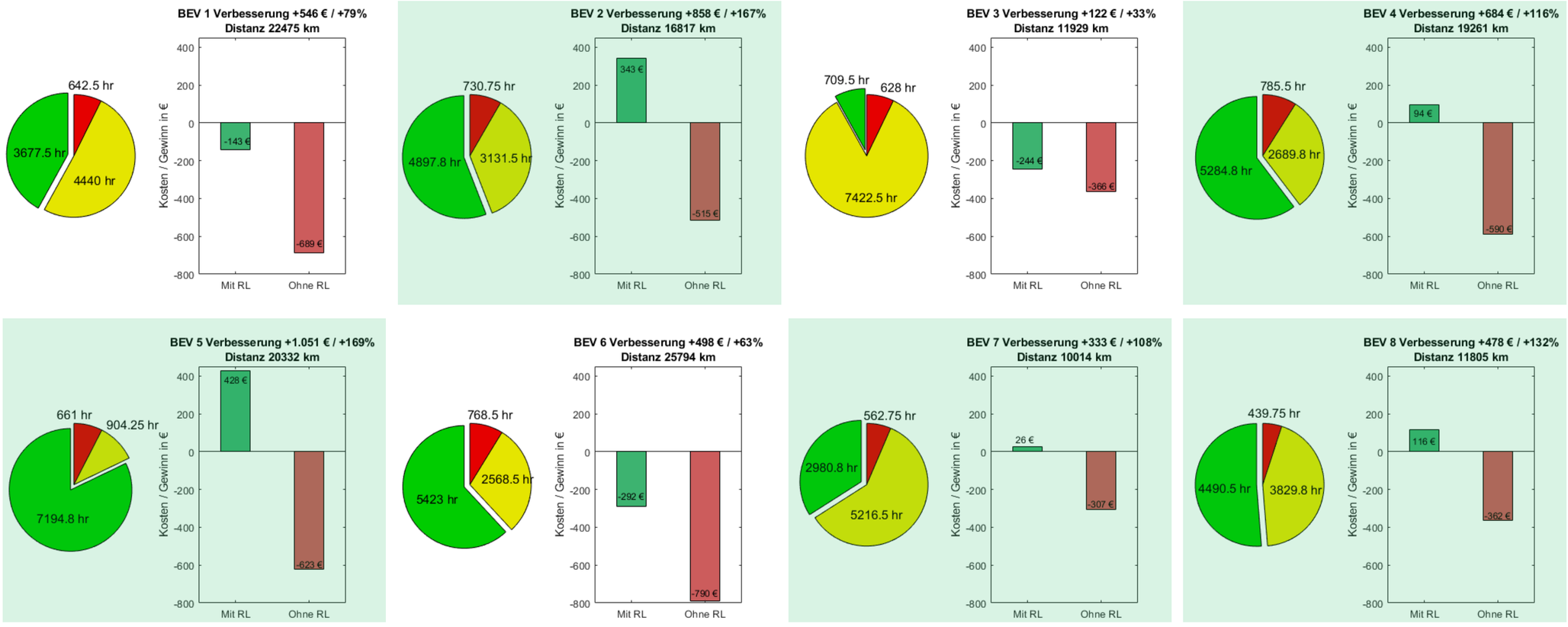
Quelle: Distanz Mobilitätspuffer basierend auf Schleiffer, Geschäftsmodelle für die Ladeinfrastruktur (2015) | Fahrzeugspezifische Parameter, BMW Group, Technische Daten BMW i3 120 Ah (2018) | Material- und Montagekosten, telefonische Auskunft BMW Group Kundenservice (2019) | Ladetarif, Polarstern für steuerbare Verbrauchseinrichtung (2019) | Wirkungsgrad, Noel, Vehicle-to-Grid. A Sociotechnical Transition Beyond Electric Mobility (2019) | Zyklenfestigkeit Batterie basierend auf Lima, Samsung SDI 94 Ah battery cell specification (2015)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distanz Mobilitätspuffer | 50 km | AC-Ladeleistung Ladepunkt | 22 kW | Ladetarif "normales Laden" | 0,20 €/kWh | Max. Übertragungsleistung Hausanschluss | 62,1 kW |
| Brutto-Batteriekapazität | 42,2 kWh | AC-Ladeleistung BEV | 11 kW | Wirkungsgrad BEV | 90% | Verbrauch BEV | 13,1 kWh/100 km |
| Netto-Batteriekapazität | 37,9 kWh | Materialkosten neuer Akku | 226 €/kWh | Wirkungsgrad LIS | 95% | Zyklenfestigkeit Fahrzeugbatterie | 5.000 |
| Servicegebühr Aggregator | 5% | Montagekosten neuer Akku | 1.920 € | Wirkungsgrad Verteilnetz | 90% | | |

## Ergebnisse

- Durch die Vermarktung von Regelleistung können deutliche Einsparungen erzielt werden
- 5 von 8 BEVs konnten kostenneutral laden und darüber hinaus einen Gewinn erwirtschaften
- In dem simulierten Geschäftsmodell wird ein hoher Verbindungsanteil zwischen BEV und LIS finanziell „belohnt“ und somit ein netzdienliches Ladeverhalten gefördert → **Regelmäßiges „Nachladen“ (mit geringer Leistung) über einen längeren Zeitraum**




Quelle: Eigene Abbildung