

# Verbundvorhaben: "Netzregelung 2.0"

## Komplementäre und asymmetrische Beiträge zur Momentanreserve

Abschlusskonferenz

06.07.2022

Walter Schittek, Johannes Heid






# Agenda

- Momentanreserve als Aspekt der Netzbildung
- Komplementäre Netzbildung per Leistungselektronik
- Beispiele für asymmetrische Beiträge zur Momentanreserve
- Realisierungsbeispiel Virtuelle Synchronmaschine
- Zusammenfassung
- Weiterer Forschungsbedarf






# Momentanreserve als Aspekt der Netzbildung

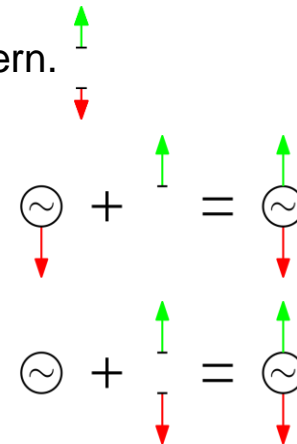
- Herkömmlich: Momentanreserve wird von Einspeisern erwartet, typischerweise Synchron-  
generatoren. Rotoren speichern kinetische Energie ein/aus.
- Zukünftige Beiträge zur Momentanreserve werden von Einspeisern und Speichern erwartet.
- Begriffe: netzbildender Stromrichter (grid-forming converter), Spannungseinprägung.
- Aspekte der Netzbildung hier im Fokus:
  - Einspeisung von Wirkleistung 
  - Pos. Beitrag zur Wirkleistungsbilanz 
  - Neg. Beitrag zur Wirkleistungsbilanz 
- Zukünftig Momentanreservebeiträge von erneuerbaren Einspeisern unerlässlich.
- Ohne Zusatzaufwand können sie ihre Wirkleistung meist nur reduzieren, nicht steigern.





# Komplementäre Netzbildung per Leistungselektronik

- Im Folgenden: Blick auf leistungselektronisch gekoppelte Einspeiser, Speicher und Lasten.
- Lasten können Wirkleistung reduzieren,  manchmal sogar (etwas) steigern.  
- Damit wird komplementäre Netzbildung denkbar:
  - I. Einspeiser reduzieren Wirkleistung, Lasten reduzieren Wirkleistung.  
Gemeinsam: vollständige Netzbildung <sup>1</sup>
  - II. Herkömmliche leistungselektronische Einspeiser (netzstützend, nicht netzbildend): keine Momentanreserve.  
Dazu flexible Lasten, die ihre Wirkleistung reduzieren und steigern können, z.B. Ladevorgänge.  
Gemeinsam: vollständige Netzbildung <sup>1</sup>
- „Spannungsorientierter“ Betrieb von Lasten mit drei- oder auch einphasigem Gleichrichter [Yan2020] [Sul2016] erscheint möglich.



<sup>1</sup> Entsprechend dem hier gewählten Fokus auf Einspeisung von Wirkleistung und Beiträgen zur Wirkleistungsbilanz



# Beispiele für asymmetrische Beiträge zur Momentanreserve

## Unidirektionale Beiträge

wenn Wirkleistung nicht gesteigert werden kann/soll



- PV-Anlage
- Windkraft



- Wärmepumpe
- Pumpe, Strömungsmaschine
- stationärer Antrieb
- Ladevorgang eines E-Mobils
- Oberleitungs-LKW



- Ladevorgang eines E-Mobils mit bidirektionalem Zugriff auf die Batterie

## Bidirektionale und meist asymmetrische Beiträge

wenn Betrieb unterhalb Maximalleistung



- Ladevorgang eines E-Mobils
- Wärmepumpe



- Pumpe, Strömungsmaschine
- Rechenzentrum



- Ladevorgang eines E-Mobils mit bidirektionalem Zugriff auf die Batterie
- Großbatteriespeichers



- PV-Heimspeichers



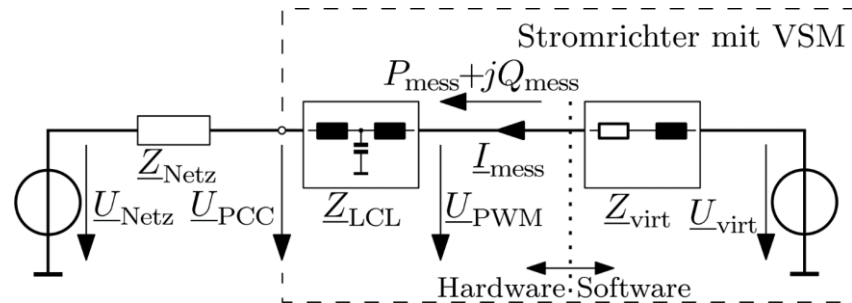
- Ausspeichervorgang eines Großbatteriespeichers
- PV-Heimspeichers



# Ausgangspunkt: Virtuelle Synchronmaschine (VSM)

■ Per Software werden emuliert:

- $\underline{Z}_{virt} = R_{virt} + jX_{virt}$
- $\underline{U}_{virt}$  mit selbstgeführter Frequenz  $f_{virt}$ , Spannungswinkel und Amplitude



■ Leistungsbilanz-basierte (fortlaufende) Synchronisation:

- Beschleunigende Leistung  $\Delta P = P_{soll} - P_{mess}$
- Anlaufzeitkonstante  $T_A$  müsste in eine Richtung kleiner oder gar Null werden.
- Aber  $T_A$  steht im Nenner.



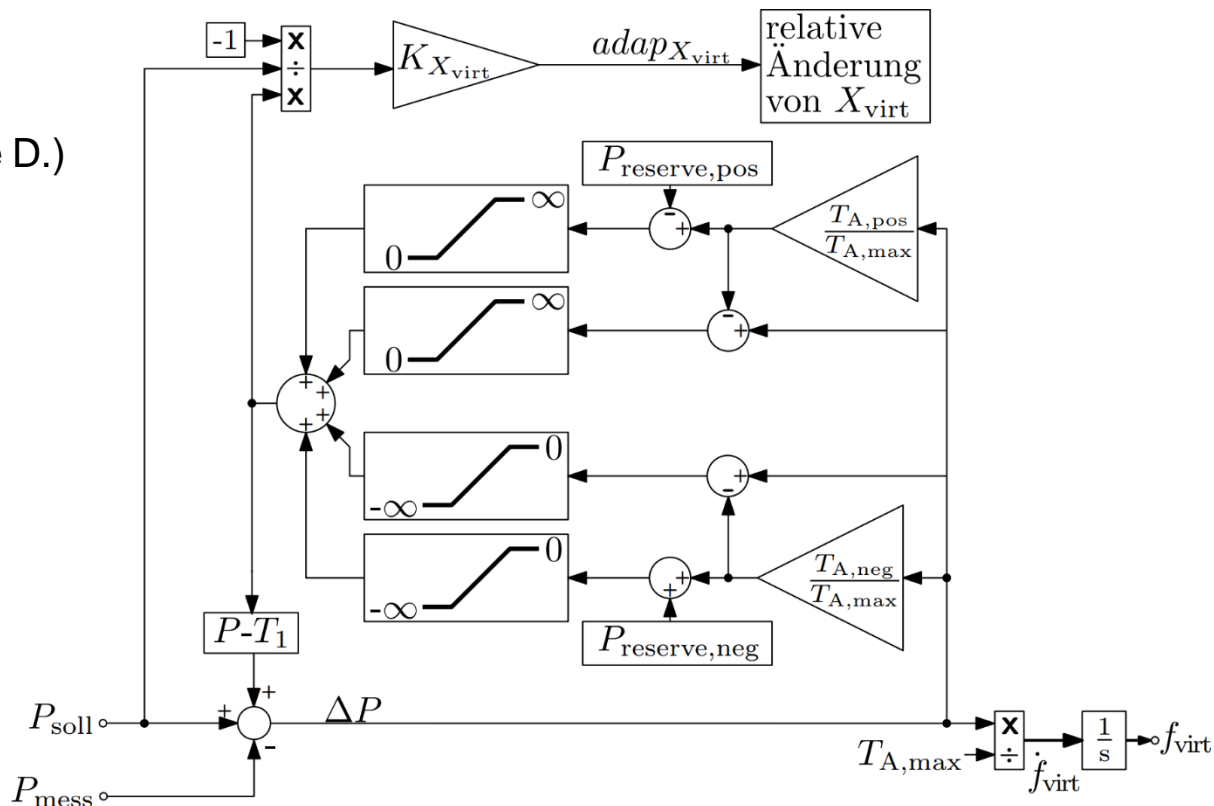


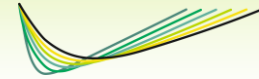
# Beispiel für modifizierten VSM-Betrieb (1)

(Modifikation generische VSM:  
[Heid2022]  
und Poster zu Forschungsfrage D.)

## Beispiel: Wärmepumpe

- Betrieben mit 50 %  $P_{\text{nenn}}$ .
- Mindestleistung 20 %  $P_{\text{nenn}}$ .
- $P_{\text{reserve,pos}} = 50 \% P_{\text{nenn}}$
- $P_{\text{reserve,neg}} = 30 \% P_{\text{nenn}}$
- $T_{A,\text{pos}} = 10 \text{ s} = T_{A,\text{max}}$
- $T_{A,\text{neg}} = 6 \text{ s}$
- Ausgelegt für RoCoF (rate of change of frequency)  
-2,5...+2,5 Hz/s.

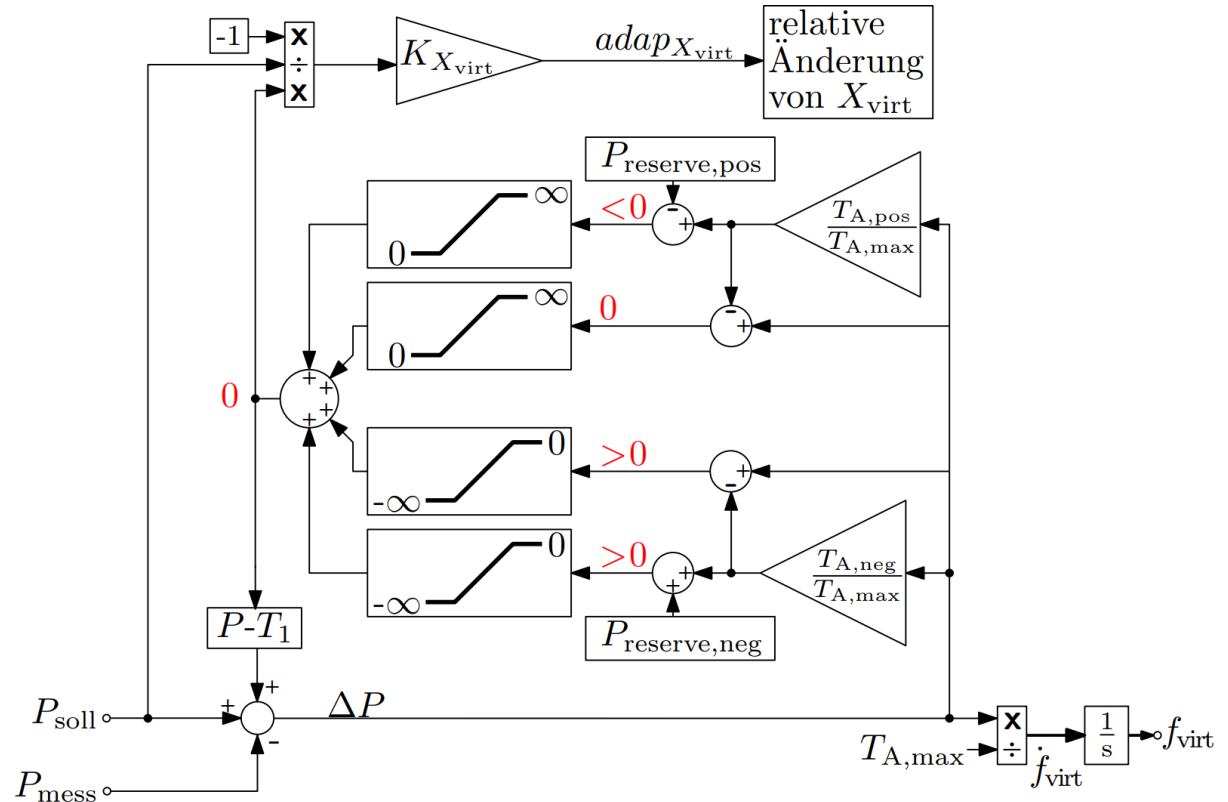




# Beispiel für modifizierten VSM-Betrieb (2)

Wärmepumpe Fall 1:  
RoCoF +1 Hz/s

- $\Delta P > 0$
- Rückkopplung: 0
- Regulärer VSM-Betrieb mit  $T_A = 10$  s



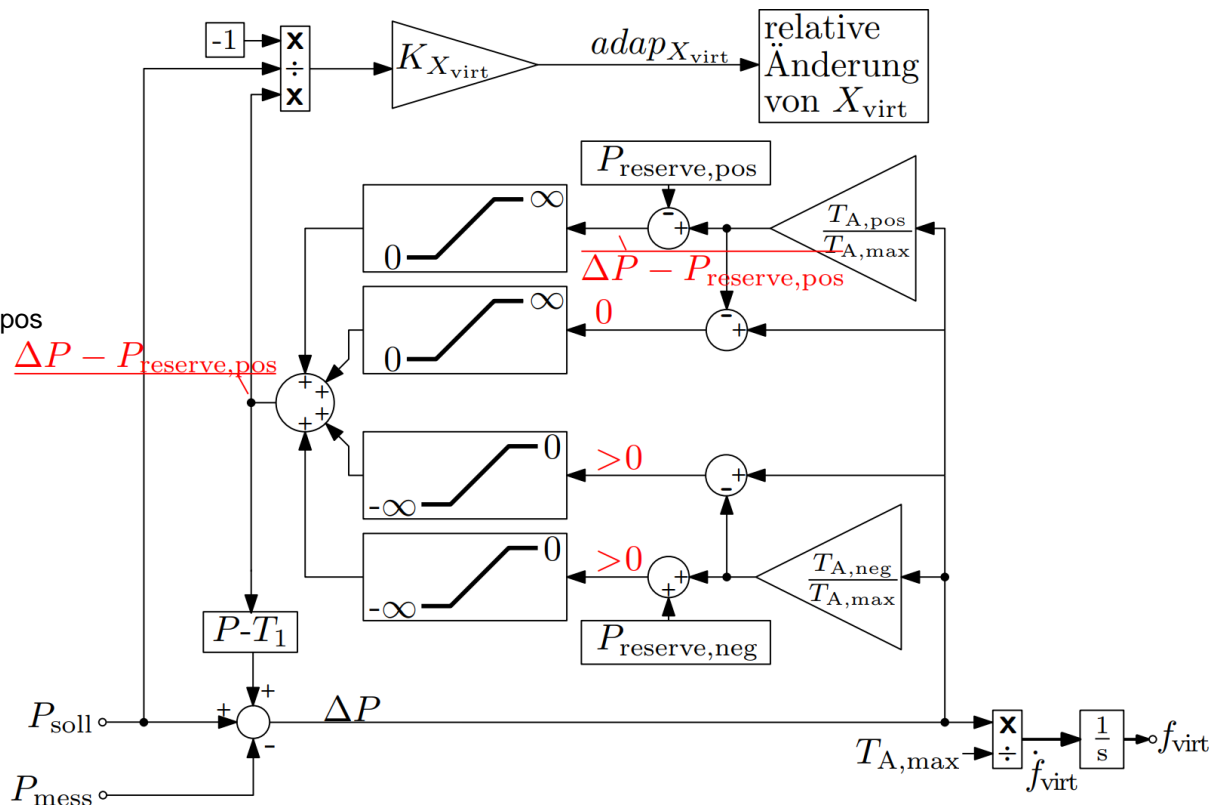




# Beispiel für modifizierten VSM-Betrieb (3)

Wärmepumpe Fall 2:  
RoCoF +3 Hz/s

- $\Delta P > 0$
- $\Delta P > P_{reserve,pos}$
- Rückkopplung:  $\Delta P - P_{reserve,pos}$
- VSM steigert den Leistungseinsatz jenseits von RoCoF +2,5 Hz/s nicht mehr.

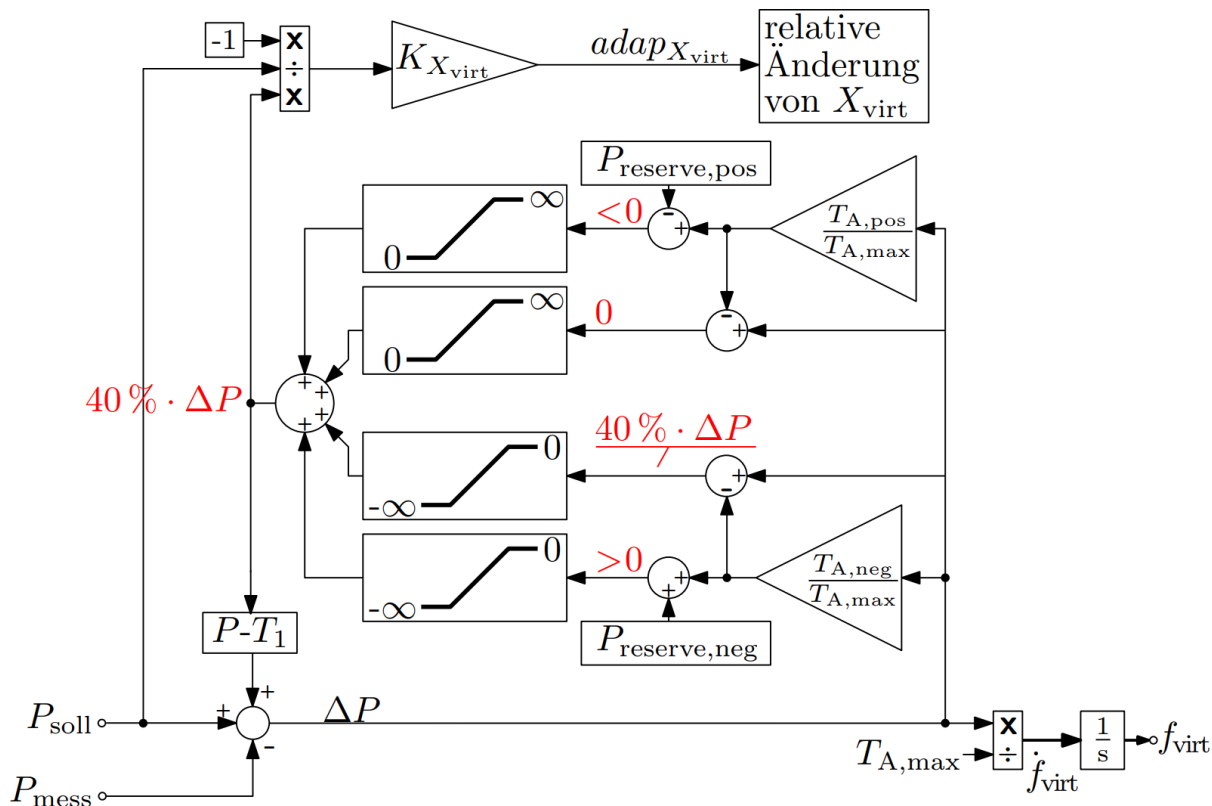




# Beispiel für modifizierten VSM-Betrieb (4)

Wärmepumpe Fall 3:  
RoCoF -1 Hz/s

- $\Delta P < 0$
- Rückkopplung:  $40\% \cdot \Delta P$
- VSM-Betrieb mit effektivem  $T_A = 6$  s

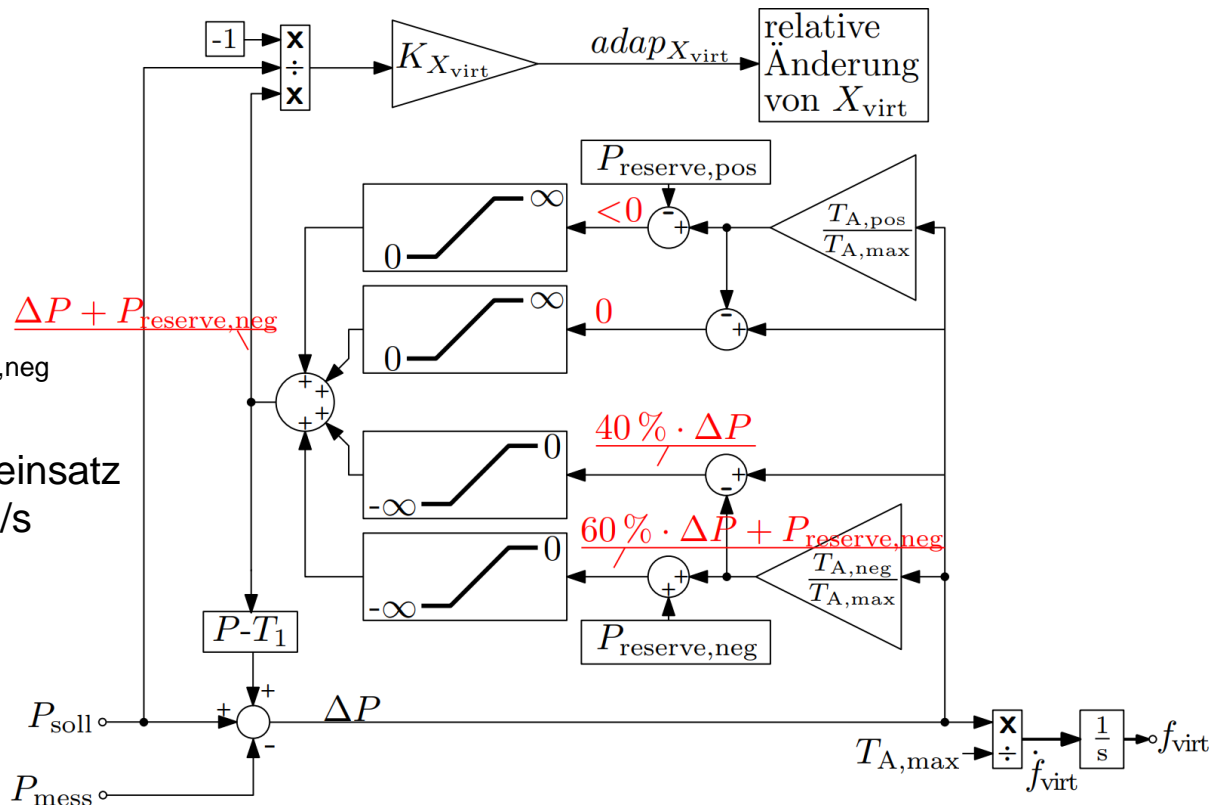




# Beispiel für modifizierten VSM-Betrieb (5)

Wärmepumpe Fall 4:  
RoCoF -3 Hz/s

- $\Delta P < 0$
- $|\Delta P| > P_{\text{reserve,neg}}$
- Rückkopplung:  
 $40\% \cdot \Delta P + 60\% \cdot \Delta P + P_{\text{reserve,neg}}$   
 $= \Delta P + P_{\text{reserve,neg}}$
- VSM steigert den Leistungseinsatz jenseits von RoCoF -2,5 Hz/s nicht mehr.





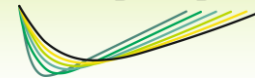
# Zusammenfassung

- Modifizierte Regelung ermöglicht asymmetrische Beiträge zur Momentanreserve.
- Durch komplementäre Netzbildung kann das volle Potenzial an Beiträgen zur Momentanreserve erschlossen werden, nicht nur von Einspeisern und Speichern, sondern auch von Lasten.



## Weiterer Forschungsbedarf

- Wenn jegliche Leistungsvariation immer passend begrenzt wird, was ist dann insgesamt vorteilhafter:
  - $T_A$ - Werte arbeitspunktabhängig verändern, oder
  - immer mit festen (ggf. asymmetrischen)  $T_A$ - Werten je Erbringer arbeiten?
- Lebensdauerverkürzung (bei Speichern, Motoren) durch Teilnahme an ständigen geringen Wirkleistungsänderungen? VSM-Modifikation lässt sich ggf. um RoCoF-abhängiges Einsatzschema erweitern.



# Konsortium Netzregelung 2.0



Budget: ca. 10.5 Mio. €  
 Laufzeit: 12/2017-08/2022  
 Koordination: Fraunhofer IEE  
 Dr. Philipp Strauß, Dr. Thomas Degner  
 netzregelung-2.0@iee.fraunhofer.de



Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter den Förderkennzeichen 0350023A-G gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren und spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Projektkonsortiums Netzregelung 2.0 wider.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# Literatur

- **Heid2022:** J. Heid, W. Schitteck, C. Hachmann, M. Braun: „Unsymmetrische Beiträge zur Momentanreserve durch Erzeugung, Verbrauch und Speicher“, Tagung Zukünftige Stromnetze 2022, 26.-27.1.2022. [doi:10.17170/kobra-202202015686](https://doi.org/10.17170/kobra-202202015686)
- **Suul2016:** J. A. Suul, S. D’Arco, G. Guidi: “Virtual Synchronous Machine-Based Control of a Single-Phase BiDirectional Battery Charger for Providing Vehicle-to-Grid Services,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 52, no. 4, S. 3234–3244, 2016. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7447747>
- **Yan2020:** X. Yan, F. Qin, J. Jia, Z. Zhang, X. Li, Y. Sun: “Virtual synchronous motor based control of Vienna rectifier”, Energy Reports, vol. 6, S. 953–963, 2020. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484720315237>