

Projektinformation

PROJEKT SWARM – Storage with Amply Redundant Megawatt

Mit intelligenter Vernetzung beschäftigte sich disziplinübergreifend das Projekt SWARM. Die Photovoltaik-Batteriespeicher von 65 in ganz Mittelfranken verteilten Haushalten wurden zu einem „virtuellen Großspeicher“ mit einer Gesamtleistung von mehr als 1 MW vernetzt. Neben der Maximierung des Eigenverbrauchs kann ein solcher Speicherverbund auch Primärregelleistung am Markt anbieten. Er speichert Strom bei einem Überangebot im Netz und speist umgekehrt bei Strombedarf wieder Strom in das Netz ein. Solche Kleinstspeicherverbünde im Verteilnetzbereich können ein Schlüssel für eine zuverlässige Versorgung mit erneuerbaren Energien in der Zukunft sein.

Projektzeitraum: 2015 – 2017

Zielsetzung:

Ziel des Gesamtprojektes war es, disziplinübergreifend sowohl aus technischer, ökonomischer wie auch verhaltenswissenschaftlicher Perspektive verschiedene Fragestellungen zu untersuchen, die sich mit der wirtschaftlichen und netzverträglichen Betriebsweise eines verteilten Schwarms von Energiespeichern in der Niederspannungsebene beschäftigen.

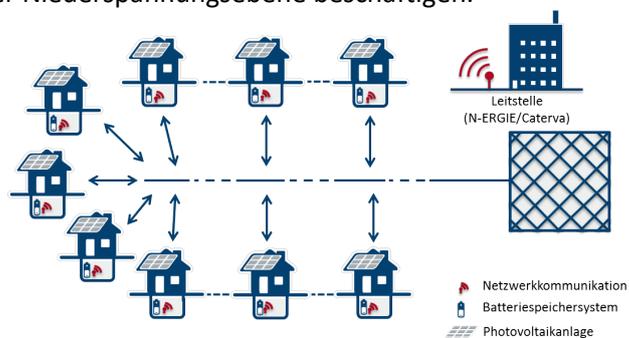


Abbildung: Integration von Haushaltsspeichersystemen im elektrischen Netz als Speicherverbund

Forschungsfragen:

- Wie wirken die Speicher auf den stationären Betrieb der Verteilnetze sowie auf die Frequenzregelung in Übertragungsnetzen?
- Welchen ökonomischen Nutzen ergeben sich aus Sicht des Netzbetreibers bzw. der Privathaushalte?
- Unter welchen Bedingungen investieren Privathaushalte in innovative Stromspeicher?

Beteiligte Wissenschaftler:

Drei Lehrstühle der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg arbeiteten im Rahmen des EnCN in diesem Projekt zusammen.

- Lehrstuhl für Elektrische Energiesysteme mit Prof. Dr. Matthias Luther
- Lehrstuhl für Informatik 7 mit Prof. Dr. Reinhard German
- Lehrstuhl für Volkswirtschaftslehre insbesondere Wirtschaftstheorie mit Prof. Dr. Veronika Grimm

Simulationsentwicklung:

Der Lehrstuhl für Informatik 7 entwickelte ein Simulationsmodell für intelligente Energiesysteme, welches das Zusammenspiel von verschiedenen Erzeugern, Verbrauchern und Speichern durch Informations- und Kommunikationstechnik in Verteil- und Übertragungsnetzen, abbildet. Das Modell ermittelt die technischen Auswirkungen der Speicher auf die Netze und zum anderen den ökonomischen Nutzen für die Haushalte und die Investitionsbereitschaft der Nutzer.

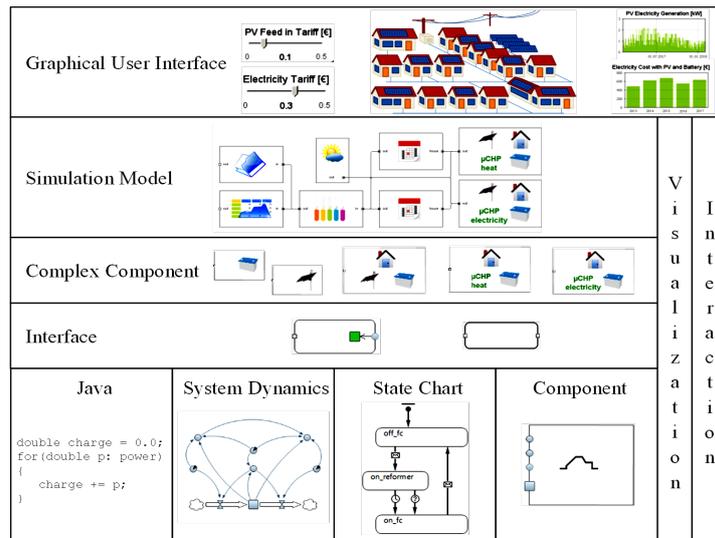


Abbildung: Die Softwarearchitektur des Simulationsbaukastens i7-AnyEnergy für die Simulation hybrider Energiesysteme

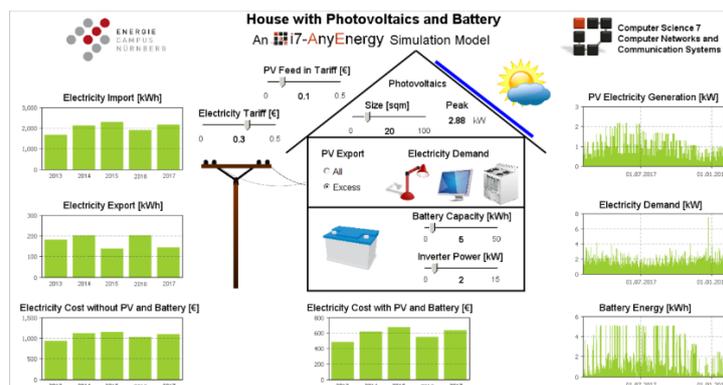


Abbildung: Interaktives Hausmodell erstellt mit i7-AnyEnergy

Ansprechpartner:

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl für Informatik 7 | Rechnernetze und Kommunikationssysteme
Prof. Dr. Reinhard German
 Martensstr. 3
 91058 Erlangen
 Tel: +49 9131 85-27916
 Email: Reinhard.German@fau.de

Wie wirken die Speicher auf den stationären Betrieb der Verteilnetze sowie auf die Frequenzregelung in Übertragungsnetzen?

Angesichts der zunehmenden installierten Leistung von erneuerbaren Energieanlagen werden die heutigen und zukünftigen elektrischen Energiesysteme vor große Herausforderungen gestellt. Künftig werden nicht nur konventionelle Großkraftwerke zur Frequenzregelung beitragen, sondern zunehmend auch Kleinspeicherverbunde. Das bedeutet, dass Batteriespeichersysteme (BSS) zukünftig in die Bereitstellung von Primärregelleistung eingebunden werden.

Forschungsgegenstand:

Für die N-ERGIE AG und Caterva GmbH wurde das Zusammenspiel zwischen Energiesystemen und Speichern hinsichtlich des stationären und dynamischen Betriebsverhaltens in Verteilnetzen und der Frequenzstabilität in Übertragungsnetzen untersucht. Mittels Netzberechnungen wurden dabei die Wechselwirkungen zwischen Speichern und Stromnetz simuliert und anhand von Messungen überprüft. Es wurde untersucht, in welchem Maße sich der Einsatz von Speichersystemen auf den künftigen Umfang von Netzausbaumaßnahmen in Verteil- und Übertragungsnetzen auswirken.

Das Hauptaugenmerk der Untersuchungen lag sowohl auf den Betriebs- und Planungsaspekten von Verteilnetzen als auch auf dem Frequenzregelverhalten in Übertragungsnetzen. Einerseits wurde das Zusammenspiel zwischen PV, Speichersystemen und Verteilnetzen der Main-Donau-Netzagentur (MDN) analysiert; andererseits standen die Analysen zur Auswirkung von Verbundspeichern auf die Frequenzregelung in heutigen und zukünftigen Energiesystemen bei den Simulationen in Übertragungsnetzen im Fokus.

Ergebnisse:

- Anhand der Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass Speicher das Frequenzverhalten in positiver Weise beeinflussen. In den Versuchen hinsichtlich eines relativen Lastsprungs von 50 MW konnte die dynamische sowie die stationäre Frequenzabweichung mit steigender Speichergröße deutlich reduziert werden. Durch den Einsatz eines 35 MW-Speichers verringerte sich die Frequenzabweichung um bis zu 15%.
- Ebenso nimmt die benötigte Regelleistung durch konventionelle Kraftwerke ab, je mehr Leistung durch das Speichersystem bereitgestellt wird. Aufgrund der geringen Reaktionszeit (ca. 1,5 s) des Speichers wird das Leistungsungleichgewicht zudem schneller ausgeglichen, als ohne Einsatz von Speichern. Diese können mit Hilfe eines BSS um ca. 7% gesenkt werden.

Ansprechpartner:

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Lehrstuhl für Elektrische Energiesysteme

Prof. Dr.-Ing. Matthias Luther

Cauerstr. 4 | Haus 1

91058 Erlangen

Tel: +49 9131 85-67540

Email: Matthias.Luther@fau.de

Welchen ökonomischen Nutzen ergeben sich aus Sicht des Netzbetreibers bzw. der Privathaushalte und unter welchen Bedingungen investieren Privathaushalte in innovative Stromspeicher?

Dieses Projekt befasst sich mit der Investitionsbereitschaft privater Haushalte in Kleinspeicheranlagen. Durch verhaltensökonomische und experimentale Methoden wurden im Rahmen einer mehrstufigen Panelbefragung umfangreiche Umfragedaten gewonnen. Mit der Zuhilfenahme von korrelationsbasierten Clusteralgorithmen konnten dabei vier Kundentypen mit unterschiedlichen Anspruchshaltungen identifiziert werden: finanziell, sicherheits-, idealistisch und multilateral orientierte Speicherkunden. Die Ergebnisse verschiedener Random-Forest-Analysen deuten zudem darauf hin, dass Investitionsbereitschaft und -treiber in den vier Gruppen divergieren und zielgruppenspezifische Fördermaßnahmen die vermehrte Nutzung von Kleinspeicheranlagen unterstützen können. Dabei wurden folgenden Fragestellungen nachgegangen.

- Welche Faktoren treiben die Akzeptanz, Adoption und Diffusion vernetzter Stromspeicher unter potenziellen Investoren?
- Unterscheiden sich Anwender systematisch hinsichtlich ihrer Anforderungen an einen Batteriespeicher?

Ergebnisse:

- Im Prozess der Entscheidungsfindung sind finanzielle Aspekte besonders betont – vor allem die Möglichkeit zur Senkung der eigenen Stromkosten.
- Potenzielle Investoren unterscheiden sich systematisch hinsichtlich ihrer Erwartungshaltung an die Eigenschaften eines Stromspeichers. Vier verschiedene Anspruchsgruppen wurden identifiziert: finanziell orientierte, sicherheitsorientierte, idealistisch und multilateral orientierte Haushalte.
- Sowohl Investitionstreiber als auch die Bereitschaft zur Investition sind in diesen Segmenten unterschiedlich ausgeprägt. Zielgruppenspezifisches Marketing und Förderung sind angeraten, um die Marktdurchdringung elektrischer Energiespeicher zu stimulieren.
- Ältere Kunden, die der Energiewende grundsätzlich positiv gegenüberstehen und der eigenen Versorgungssicherheit eine hohe Bedeutung beimessen, sind besonders investitionsaffin.

Ansprechpartnerin:

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Lehrstuhl für Volkswirtschaftslehre, insbes. Wirtschaftstheorie

Prof. Dr. Veronika Grimm

Lange Gasse 20

90403 Nürnberg

Tel: +49 911 5302-224

Email: Veronika.Grimm@fau.de

Publikationen:

- Kretschmer, S., Grimm, V., & Mehl, S. (2018). Diffusion of Green Innovations: Evidence from a Field Study on Domestic Electricity Storage.
- Schlund J., Steinert R., Pruckner M.:
Coordinating E-Mobility Charging for Frequency Containment Reserve Power Provision
Workshop on Electric Vehicle Systems, Data and Applications (Karlsruhe, Germany, 2018-06-12 - 2018-06-12)
 In: **Proceedings of the Ninth International Conference on Future Energy Systems**, New York, NY, USA: 2018
 DOI: [10.1145/3208903.3213892](https://doi.org/10.1145/3208903.3213892)
 URL: <http://doi.acm.org/10.1145/3208903.3213892>
 BibTeX: [Download](#)
- Schlund J., Betzin C., Wolfschmidt H., Veerashekar K., Luther M.:
Investigation, modeling and simulation of redox-flow, lithium-ion and lead-acid battery systems for home storage applications
11th International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2017) (Düsseldorf, 2017-03-14 - 2017-03-16)
 In: **Proceedings of the 11th International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2017) 2017**
 BibTeX: [Download](#)
- Schlund J., German R.:
A Control Algorithm for a Heterogeneous Virtual Battery Storage Providing FCR Power
2017 International Conference on Smart Grid and Smart Cities (Singapore, 2017-07-23 - 2017-07-26)
 In: **Proceedings of the 2017 International Conference on Smart Grid and Smart Cities 2017**
 DOI: [10.1109/ICSGSC.2017.8038550](https://doi.org/10.1109/ICSGSC.2017.8038550)
 BibTeX: [Download](#)
- Steber D., Pruckner M., Schlund J., Bazan P., German R.:
Including a virtual battery storage into thermal unit commitment
 In: **Computer Science - Research and Development (2017)**, S. 1-7
 ISSN: 1865-2034
 DOI: [10.1007/s00450-017-0362-7](https://doi.org/10.1007/s00450-017-0362-7)
 BibTeX: [Download](#)
- Schlund J., Steber D., Bazan P., German R.:
Increasing the Efficiency of a Virtual Battery Storage Providing Frequency Containment Reserve Power by Applying a Clustering Algorithm
7th Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Asia 2017) (Auckland, 2017-12-04 - 2017-12-07)
 In: **Proceedings of the 7th Innovative Smart Grid Technologies Asia 2017**
 DOI: [10.1109/ISGT-Asia.2017.8378430](https://doi.org/10.1109/ISGT-Asia.2017.8378430)
 BibTeX: [Download](#)
- Steber D., Pruckner M., Bazan P., German R.:
SWARM - Providing 1 MW PCR Power with Residential PV-Battery Energy Storage - Simulation and Empiric Validation
IEEE PowerTech 2017 (Manchester)
 BibTeX: [Download](#)
- German R., Götz K., Grimm V., Kufner A., Leepa C., Luther M., Mehl S., Sigert I., Steber D., Veerashekar K.:

Virtueller Großspeicher zur Erbringung von Primärregelleistung – Pilotprojekt SWARM

OTTI-Konferenz „Zukünftige Stromnetze für Erneuerbare Energien“ (Berlin, 2017-01-31 - 2017-02-01)

BibTeX: [Download](#)

- Steber D., Bazan P., German R.:

SWARM – Primärregelleistungserbringung mit verteilten Batteriespeichern in Haushalten

14. Symposium Energieinnovation 2016 (Graz, 2016-02-10 - 2016-02-12)

BibTeX: [Download](#)

- Steber D., Bazan P., German R.:

SWARM – Different strategies and first experiences of providing frequency containment reserve power with distributed battery energy storage systems

Integration of Sustainable Energy Conference (ISEneC) 2016 (Nürnberg, 2016-07-11 - 2016-07-12)

BibTeX: [Download](#)

- Leepa C., Kufner A., Mehl S., Steber D., Veerashekar K., Sigert I., Götz K., German R., Grimm V., Luther M.:

SWARM – Successful Provision of Frequency Containment Reserve with Distributed Energy Storage Systems

International Renewable Energy Storage Conference (IRES) 2016 (Düsseldorf, 2016-03-15 - 2016-03-17)

In: EURO SOLAR and the World Council for Renewable Energy (WCRE) (Hrsg.): **Conference Presentations and Materials of the "10th International Renewable Energy Storage Conference" (IRES 2016), Düsseldorf/Germany, 15-17 March 2016**

BibTeX: [Download](#)

- Bazan P., Pruckner M., Steber D., German R.:

Hierarchical Simulation of the German Energy System and Houses with PV and Storage Systems

4th D-A-CH Energieinformatik Conference (Karlsruhe, 2015-11-12 - 2015-11-13)

In: Sebastian Gottwalt, Lukas König, Hartmut Schmeck (Hrsg.): **Energy Informatics - 4th D-A-CH Conference, EI 2015, Karlsruhe, Germany, November 12-13, 2015, Proceedings**, Switzerland: 2015

DOI: [10.1007/978-3-319-25876-8_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-25876-8_2)

BibTeX: [Download](#)

- Steber D., Bazan P., German R.:

SWARM - Increasing Households' Internal PV Consumption and Offering Primary Control Power with Distributed Batteries

4th D-A-CH Conference, Energieinformatik 2015 (Karlsruhe, 2015-11-12 - 2015-11-13)

In: Sebastian Gottwalt, Lukas König, Hartmut Schmeck (Hrsg.): **Energy Informatics - 4th D-A-CH Conference, EI 2015, Karlsruhe, Germany, November 12-13, 2015, Proceedings**, Karlsruhe, Germany: 2015

DOI: [10.1007/978-3-319-25876-8_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-25876-8_1)

BibTeX: [Download](#)

Weitere Informationen finden Sie unter: www.encn.de/