

Einzelförderung im Programm Sachbeihilfe der DFG (GZ: ZA 591 4-1)

Organisatorische und technologische Neuerungen im Markt für Stromspeicher

Hans-Martin Zademach, Eichstätt

ABSCHLUSSBERICHT

1 Allgemeine Angaben

DFG-Geschäftszeichen: ZA 591/4-1

Projektnummer: 432274419

Titel des Projekts:

Titel (deutsch): Organisatorische und technologische Neuerungen im Markt für Stromspeicher

Title (englisch): Organisational and Technological Innovations in the Market for Battery Storage Systems

Name(n) der Antragsteller*innen: Prof. Dr. Hans-Martin Zademach

Dienstanschrift:

Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt
Professur für Wirtschaftsgeographie
Ostenstr. 18, 85072 Eichstätt

Name der Mitverantwortlichen: MSc Andrea Käsbohrer

Name(n) der Kooperationspartner*innen: entfällt

Berichtszeitraum (gesamte Förderdauer):

01.04.2020 – 30.06.2023 (inklusive dreimonatiger Unterbrechung durch DAAD-geförderten Auslandsaufenthalt der Projektmitarbeiterin Andrea Käsbohrer)

2 Zusammenfassung / Summary

Im Kontext aktueller Bemühungen um eine sozial-ökologische Transformation hat sich das Projekt mit jüngeren Entwicklungen im Markt für Heimstromspeicher in Deutschland befasst. Das Forschungsdesign, in dem neben Experteninterviews vor allem auch ethnographische Methoden wie teilnehmende Beobachtungen bei Treffen eines zentralen Branchenverbands zum Einsatz kamen, war dabei vorwiegend qualitativ ausgerichtet. Die Projektergebnisse berühren mehrere aktuell wichtige Debatten der Wirtschaftsgeographie und der (geographischen) Nachhaltigkeitsforschung:

- Erstens hat das Forschungsvorhaben zum Diskurs um *Multi-system Interactions* beige tragen, indem aufgezeigt wurde, wie Akteure im Strom- und Mobilitätssystem institutio nelle Arbeit (*Institutional work*) verrichten und dabei von sektorspezifischen, ermög lichenden Bedingungen profitieren. Während Akteure im Energieversorgungssystem, wie zum Beispiel Stromversorger oder Speicherhersteller, zu Beginn der Marktentwicklung als Schlüsselakteure galten, greifen Automobilhersteller zunehmend in das System ein, indem sie in Verbindung mit Elektromobilen auch Energiemanagementsysteme, Spei cher sowie Ökostrom anbieten.
- Ein zweites Forschungsinteresse war auf den Aspekt der Multiskalarität ausgerichtet. Diesbezüglich legt das Projekt offen, in welchen Formen und mit welchen Möglichkeiten und Absichten Akteure wie vor allem vor allem nationale Wirtschaftsverbände und Unternehmen sozio-institutionelles Rescaling betreiben, um damit die Durchsetzung von Heimstromspeichern in Deutschland und auf europäischer Ebene anzutreiben. Diese Akteure setzen sich u.a. für eine vollständige Implementierung der speichergünstigen EU Gesetzgebung und Standards im Bereich Messen und Datenkommunikation ein. Akteure auf EU-Ebene sind dagegen durch skalare Strukturen eingeschränkt, etwa durch insti tutionelle Semikohärenz oder auch Vorbehalte ihnen gegenüber auf nationaler Ebene.
- Zum dritten richtete das Projekt am Beispiel der beiden wichtigsten Regulierungsbehör den in Deutschland, das BMWK und die BNetzA, ein Augenmerk auf die *regulatory state capacity*, also die Rollen, Ressourcen und Fähigkeiten, die für das Herbeiführen von in stitutionellem Wandel im Allgemeinen und in der Beschleunigung von Transitionen im Besonderen erforderlich sind. Die Projektergebnisse heben dabei vor allem zwei Herausforderungen hervor, die sich unter den Terminen *whole system change* und *expansion and contestation* zusammenfassen lassen. Gatekeepers und Moderatoren sowie politi sche Fähigkeiten werden als besonders gewichtige Faktoren offengelegt.

Die Projektergebnisse sind bislang in insgesamt sieben Fachbeiträgen veröffentlicht, auch bei international absolut führenden Journals wie *Energy Policy* und *Environmental*

Sustainability and Technological Innovation, dazu kommen weitere Beiträge noch im Review-Prozess sowie eine kumulative Dissertation.

Summary: The project addressed sustainability transitions using the market for residential storage systems in Germany as an empirical case. In-depth expert interviews and participant observation of industry associations' events serve as empirical base for this case study. The project pursued three main research interests.

- First, the research contributes to the debate on multi-system interactions by shedding light on institutional work carried out by stakeholders in the electricity and mobility systems along with their sector-specific enabling conditions. While actors affiliated to the electricity system, such as electric utilities or storage manufacturers, initially were the key players, automobile companies are increasingly advancing into the electricity system by providing energy management systems, storage systems and green electricity along with electric vehicles. As regards creating regulative couplings between both systems, the findings highlight cross-sectoral networks and political advocacy carried out by established incumbents.
- The second research interest focuses on the aspect of multiscalarity. More concretely, the project sheds light on how actors engage in socio-institutional rescaling through institutional work activities for fostering the diffusion of residential storage system in Germany and at a European level. The findings reveal that in light of regulatory barriers for advancing business models, especially national industry associations and companies aim at socio-institutional rescaling by advocating a thorough implementation of storage friendly EU legislation as well as setting standards in terms of metering and communication at a European scale. By contrast, EU level agents are constrained by scalar structures, such as institutional semi-coherence or the expectation of reservations at a national scale.
- Third, the project elaborates on regulatory state capacity required for inducing regulatory changes (roles, resources, abilities), which respond to challenges unique to the acceleration phase of transitions. The findings point to the relevance of the challenges 'whole system change' and 'expansion and contestation'. The former refers to the urgency of integrating residential storages into the electricity system. The latter is a cross-cutting challenge interacting with the coordination challenge of implementing EU legislation and multi-system interactions. The roles of gatekeepers and moderators as well as political abilities turn out highly relevant. The article focuses on the two main regulatory bodies in Germany BMWK and BNetzA.

As output of the project so far seven articles, among them papers in leading journals such as *Energy Policy* and *Environmental Sustainability and Technological Innovation*, and a paper-based PhD thesis could have been published. Further papers are under review.

3 Wissenschaftlicher Arbeits- und Ergebnisbericht

Zentraler Ausgangspunkt des Projekts war die enorme Dynamik im Markt für Heimstromspeicher in der zweiten Hälfte der 2010er-Jahre. Konkret wies dieser Markt sowohl rasant steigende Verkaufszahlen auf (Bundesverband der Solarwirtschaft 2025), als auch eine Vielzahl von Innovationen. Letztere betreffen einerseits technische Entwicklungen und Neuerungen, etwa auf Ebene der Lithium-Ionen-Batterien, wo erhebliche Steigerungen bei Leistungsfähigkeit und Effizienz erzielt werden konnten, und deren Vernetzung untereinander (z.B. mittels Blockchain-Lösungen). Nochmal bemerkenswerter erscheinen andererseits die zahlreichen organisatorischen Innovationen im Markt, vor allem in Form neuer Geschäftsmodelle. So können eine große Zahl von digital steuerbaren Heimspeichern mittels der sogenannten Regelleistung das Netz entlasten, durch zeitlich abgestimmtes Ein- und Ausspeichern gewinnbringend am Strommarkt teilnehmen oder in sogenannten Energiegemeinschaften den Austausch von Strom unter den Mitgliedern fördern. Aktuell sind die meisten Systeme jedoch nur für den bloßen Eigenverbrauch installiert, die Potentiale der komplexeren Geschäftsmodelle demnach nicht vollständig ausgeschöpft.

Während die Ausgangsfragen des Projekts auf die Innovationsentwicklung in diesem Markt abzielten, stellte sich während der empirischen Arbeit heraus, dass den eigentlichen Hemmschuh für eine netzdienliche Implementierung von Stromspeichern der regulatorische Rahmen darstellt. Entsprechend entschieden wir uns dazu, vom empirischen Fall geleitet (vgl. Siggelkow 2007), verstärkt auch eine institutionelle Perspektive auf den Forschungsgegenstand einzunehmen, eine Perspektive, die sich gerade in unserer frühen Projektphase auch in der internationalen Fachwelt zunehmend etablierte (siehe hierzu insbesondere Fünfschilling 2019, Köhler et al. 2019).

Das übergreifende Ziel des Projekts bestand folglich darin, aus einer institutionellen Perspektive die Durchsetzung von Heimspeichern in Deutschland mit besonderem Fokus auf Hemmnisse und Triebfedern zu untersuchen. Wie im vorangegangenen Abschnitt dieses Berichts schon dargelegt, konnten diese entlang der drei Betrachtungsschwerpunkte multi-system-interaction, rescaling und regulatory state capacities in einer Zahl von Fachaufsätzen dargelegt werden, darunter drei (Käsbohrer et al. 2025a,b; Käsbohrer et al. 2024) in im Feld absolut führenden Organen.

Was den Projektverlauf und auch die Validität und Nachvollziehbarkeit der Forschungsergebnisse anbelangt (vgl. dazu ausführlich auch das Rahmenkapitel der Dissertation von Andrea Käsbohrer), sei an dieser Stelle vor allen Dingen die – besonders erfreuliche – Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftler*innen betont. So ist es Andrea Käsbohrer als Projektmitarbeiterin gelungen, zu Professor Teis Hansen (Copenhagen), Professor Markus Grillitsch (Lund) und Professorin Karoline S. Rogge (Sussex & Fraunhofer ISI Karsruhe) sehr enge Kooperationsbeziehungen aufzubauen, die in allen drei Fällen zu Ko-Publikationen geführt haben. Zudem konnten im Zuge der empirischen Erhebungen und Analysearbeiten weitere äußert wertvolle Kontakte im Feld der Sustainability Transitions angebahnt werden, etwa zu Kollegin Fünfschilling (ebenfalls Lund). Im Fall des Kontakts zu Teis Hansen konnte dabei auf Vorarbeiten des Antragsstellers zurückgegriffen, die anderen Kontakte entstanden ausschließlich aus dem Wirken und der Initiative von Andrea Käsbohrer heraus. Dass diese Initiativen von Andrea Käsbohrer in eine mittel bis möglichst / hoffentlich sogar langfristige Perspektive in der Wissenschaft führen, nämlich einer Anstellung als Post-Doc in der Arbeitsgruppe von Teis Hansen an der Universität Copenhagen an April 2025, ist ein besonders erfreulicher Nebeneffekt des Projekts (vgl. dazu auch Ausblick in Abschnitt 5 dieses Berichts unten). Markus Grillitsch wird als Ko-Referent im Promotionsverfahren von Andreas Käsbohrer fungieren. Dieses Verfahren kann aller Voraussicht nach im Sommer 2025 erfolgreich abgeschlossen werden.

Wie in der wissenschaftlichen Community üblich, ist bzw. wird in den Peer-Review-Artikeln je verdeutlicht, dass die dem Projekt zugrundeliegenden empirischen Daten auf Anfrage zugänglich gemacht werden können. Während wie ebenfalls in der Community üblich die methodischen Schritte der Datenerhebung in den veröffentlichten Artikeln zusammengefasst dargelegt werden, gibt das Rahmenkapitel der im Projekt angefertigten Dissertation einen ausführlicheren Überblick über die Methodologie (inklusive Epistemologie und Ontologie des kritischen Realismus). Grob gesprochen basiert das Projekt auf qualitativen Daten aus Experteninterviews und teilnehmenden Beobachtungen bei Zusammenkünften eines Industrieverbandes. Dabei wurden ethische Standards beachtet, d.h. Interviewpartner*innen wurden vor der Veröffentlichung der von Ihnen geäußerten Inhalte nach Ihrer Zustimmung gefragt sowie evtl. direkte zitierte Passagen vorgelegt. Der Großteil der Interviews wurde wörtlich transkribiert oder in wenigen Fällen (meist auf Wunsch der Interviewees) protokolliert. Eine qualitative Inhaltsanalyse wurde mittels der Analysesoftware MaxQDA durchgeführt.

Die Durchführung von wissenschaftlichen Veranstaltung wurde in den ersten Jahren der Projektlaufzeit durch die Covid 19-Pandemie erschwert. Jedoch ergab sich im Anschluss die Möglichkeit, (Zwischen-)Ergebnisse der Fachcommunity auf Tagungen und Konferenzen zu präsentieren (siehe dazu auch Aufstellung unten). Bezüglich des Gedankens der Third Mis-

sion bzw. Wissenschaftskommunikation sei an dieser Stelle der gemeinsame Vortag im Rahmen des *KU.Sustainability Research Lab Colloquium* in Eichstätt hervorzuheben, der sich gerade auch an die interessierte allgemeine Öffentlichkeit richtete. Auch bei den Publikationen aus dem Projekt, wie besonders im Fall des Beitrags in der Geographischen Rundschau, die zuvorderst auf Lehrer*innen und Schüler*innen ausgerichtet ist, erstreckt sich der Adressatenkreis teils über die wissenschaftliche Community hinaus.

Zitierte Literatur:

- Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (2025) Speicherkapazitäten 2024 um 50 Prozent gewachsen. <https://www.solarwirtschaft.de/2025/01/31/speicherkapazitaeten-2024-um-50-prozent-gewachsen/> (19.02.2025).
- Fünfschilling L (2019) An institutional perspective on sustainability transitions. In: Boons F, McMeekin A (Eds) *Handbook of Sustainable Innovation*. Cheltenham, Edward Elgar Publishing, 219–236.
- Käsbohrer A, Grillitsch M, Zademach H-M (2025a) An agentic perspective on socio-institutional rescaling: Institutional work across scales for fostering residential electricity storage systems in Germany and the EU (under review).
- Käsbohrer A, Rogge KS, Zademach H-M (2025b) Regulatory state capacity for accelerating net-zero transitions: Lessons learned from governing electricity storage in Germany (under review).
- Käsbohrer A, Hansen T, Zademach H-M (2024) Multi-system interactions and institutional work: Actor interactions at the interface of residential storage systems and electric vehicles in Germany. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 51, 100844.
- Siggelkow N (2007) Persuasion with case studies. *Academy of Management Journal* 50 (1), 20-24.

4 Veröffentlichte Projektergebnisse

4.1 Kategorie A – Fachaufsätze in Peer Review-Zeitschriften, Beiträge zu Konferenzen mit Peer Review oder Sammelbänden sowie Buchpublikationen

8. Käsbohrer A, Rogge KS, Zademach H-M (2025) Regulatory state capacity for accelerating net-zero transitions: Lessons learned from governing electricity storage in Germany, *Energy Policy* 205, October 2025, 114659.
7. Käsbohrer A, Hansen T, Zademach H-M (2024) Multi-system interactions and institutional work: Actor interactions at the interface of residential storage systems and electric vehicles in Germany. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 51, 100844.
6. Zademach H-M, Käsbohrer A (2022) Institutionelle Dynamiken und (ungenutzte) Potenziale im Markt für Heimstromspeicher in Deutschland. *Standort* 46, 279–285.

Beiträge und Sammelbänden

5. Becker S, Schmidt B, Zademach H-M (2024) Bereitstellen und Teilhaben: Fundamente des Wohlstands. In: Lange B, Hülz M, Schmid B, Schulz C (Eds): *Wohlstandsalternativen: regionale Positionen und räumliche Praktiken*. Bielefeld: Transcript, 31-65 (mit Fallbeispiel: Das virtuelle Kraftwerk der sonnenCommunity – die weltweit größte Plattform für Strom-Sharing, S. 52ff.).
4. Käsbohrer A, Zademach H-M (2021) Speichertechnologien und Solarstromspeicher in Deutschland: Grundsätzliche Bedeutung, jüngere Entwicklungen und aktuelle Herausforderungen. In: Becker S, Klagge B, Naumann M (Eds) *Energiegeographie: Konzepte & Herausforderungen*. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer, 182–194.

4.2 Kategorie B – Jede weitere Form öffentlich gemachter Ergebnisse

3. Käsbohrer A (2025) An Institutional Perspective on Residential Storage Systems in Germany. Accelerating Transition Dynamics in a Multi-System and Multi-Scalar Context, Diss., KU Eichstätt-Ingolstadt.
2. Käsbohrer A, Grillitsch M, Zademach H-M (2024) The rescaling of institutional rationalities for shaping opportunity spaces. *Papers in Innovation Studies no. 2024/06*. Lund: Lund University, CIRCLE Centre for Innovation Research.
1. Zademach H-M, Käsbohrer A (2019) Der Markt für Stromspeicher in Deutschland. *Geographische Rundschau* 71(10), 34–37.

Vorträge auf Konferenzen:

9. The rescaling of institutional rationalities for shaping opportunity spaces: Lessons from the electricity market in Germany, 10th Nordic Geographers Meeting (Copenhagen, Denmark), June 2024
8. Institutional work in multi-system sustainability transitions: Actor interactions at the interface of energy storage systems and electric vehicles in Germany, Workshop on exploring multi-system phenomena in net-zero transitions, University of Oslo (Oslo, Norway), May 2023
7. Organizational and technological innovations in the market for home energy storage systems in Germany: Sustainability transitions at the intersection of energy supply and mobility, NORSI PhD School on Innovation and Sustainability Transitions, Western Norway University of Applied Sciences (Bergen, Norway), August 2022
6. Sustainability Transitions in ko-evolutionärer Perspektive: Jüngere Entwicklungen und Herausforderungen im Markt für Heimspeicher in Deutschland, KU.Sustainability Research Lab Colloquium (Eichstätt, Germany), Juli 2022
5. Sustainability transitions at the intersection of energy supply and mobility: New business models and industry dynamics in Germany, International Sustainability Transitions Conference 2021 (online), October 2021
4. Ein Leasingwagen vom Energieversorger und Strom vom Automobilhersteller – Sustainability Transitions an der Schnittstelle von Energie und Mobilität, GeoWoche2021 (online), October 2021
3. Sustainability transitions and the (unexploited) potentials in the market for energy storage systems in Germany: New entrants and institutional dynamics, RGS-IBG Annual International Conference 2021 (online), August 2021
2. Zum Zusammenspiel von technischen Innovationen und neuen Geschäftsmodellen im Markt für Stromspeicher in Deutschland: Betrachtungen aus der Perspektive der Geography of Sustainability Transitions , AK Industriegraphie (online), November 2020
1. Sustainability Transitions in ko-evolutionärer Perspektive: Das Beispiel organisatorischer und technologischer Neuerungen im Markt für Stromspeicher, Deutscher Kongress für Geographie DKG, Kiel, September 2019.

gez. Zademach,

02.07.2025