

desanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Bayerische Forstverwaltung; <http://www.wald-rlp.de/fileadmin/website/downloads/biowaerme/neu/mb12energiegehaltholz.pdf> (download 2.10.14)

Müller-Sämman, K.; Reinhardt, G.; Vetter, R. et al., 2003: Nachwachsende Rohstoffe in Baden-Württemberg: Identifizierung vorteilhafter Produktlinien zur stofflichen Nutzung unter besonderer Berücksichtigung umweltgerechter Anbauverfahren. Forschungsbericht FZKA-BWPLUS; <http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/40139/BWA20002Sber.pdf?command=downloadContent&filename=BWA20002Sber.pdf&FIS=203> (download 2.10.14)

Pude, R. (Hg.), 2010: Miscanthus – Netzwerke und Visionen. Umwelt- und Nutzungsaspekte, 6. Internationale Miscanthus-Tagung

Sieverdingbeck, A.; Schiefer, G.; Pude, R., 2010: Ökonomische Bewertung unterschiedlicher Anbau- und Verwertungsverfahren. In: Pude, R. (Hg.): Miscanthus – Netzwerke und Visionen. S. 72–78

SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen, 2007: Klimaschutz durch Biomasse – Sondergutachten. Berlin

TFZ – Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, 2009: Miscanthus als Nachwachsender Rohstoff. Ergebnisse aus bayerischen Forschungsarbeiten. Berichte aus dem TFZ 18. Straubing; http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/rohstoffpflanzen/dateien/bericht_18_geschuetzt.pdf (download 2.10.14)

Kontakt

Dr. Markus Schorling
Forschungsgruppe Landwirtschaft und Pflanzenzüchtung
Forschungsschwerpunkt Biotechnik, Gesellschaft und Umwelt (FSP BIOGUM)
Universität Hamburg
Ohnhorststr. 18, 22609 Hamburg
Tel.: +49 40 42816-613
E-Mail: markus.schorling@uni-hamburg.de
Internet: <http://www.biogum.uni-hamburg.de>

Dipl.-Ing Jana Weinberg
Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft
Technische Universität Hamburg-Harburg
Eißendorfer Straße 40, 21073 Hamburg
Tel: +49 40 42878-3528
E-Mail: jana.weinberg@tuhh.de
Internet: <http://www.tuhh.de/iue/>



Emergente Energiespeicher für stationäre Anwendungsgebiete im Fokus der prospektiven Systemanalyse

von Manuel Baumann, ITAS/Universidade Nova de Lisboa, Benedikt Zimmermann, ITAS, und Marcel Weil, ITAS/Helmholtz Institut Ulm

Aktuelle Entwicklungen im Bereich Elektromobilität und bei der Energiewende gehen einher mit einem erhöhten Bedarf an elektrochemischen Speichern. Diese gesteigerte Nachfrage nach nachhaltigen, günstigen, sicheren und effizienten Batteriespeichersystemen hat die Technologie stärker in den Fokus des gesellschaftlichen Diskurses gerückt. Um Innovationsrisiken neuer Batterietechnologien zu identifizieren und zu reduzieren, müssen entlang des potenziellen Lebenszyklus ökologische, ökonomische und soziale Aspekte prospektiv analysiert und bewertet werden. Die Verwendung lebenszyklusbasierter Systemanalyseverfahren sowie konstruktiver Technikfolgenabschätzung (CTA) erlaubt die Abschätzung nicht intendierter Nebeneffekte sowie eine nachhaltige Gestaltung des batterie-technologischen Entwicklungsprozesses.

1 Problemaufriss

Leistungsfähige elektrochemische Speicher gelten als technologische Voraussetzung für andere Technologien. Nachdem die Verbreitung deutlich verbesserter Energiespeicher maßgeblich zum Markterfolg von Notebooks und Mobiltelefonen beigetragen hat, spielen diese Speicher nun eine bedeutende Rolle bei der Markterschließung im Bereich Elektromobilität und könnten ein Standbein beim Ausbau erneuerbarer Energien darstellen (Korthauer/Pettinger 2013). Die Anwendungsgebiete werden durch die kontinuierliche Verbesserung der Technologie also erheblich erweitert. Besonders das Bestreben der Bundesregierung, die Elektromobilität und die Energiewende voranzutreiben, haben den Bedarf an nachhaltigen, günstigen, sicheren und effizienten Batteriespeichersystemen erhöht und die Technologie stärker in gesellschaftliche Debatten gerückt.

Aus diesen Entwicklungen ergibt sich ein gesteigertes Interesse seitens relevanter Akteure aus

Wirtschaft, Forschung, Gesellschaft und Politik hinsichtlich der technischen, ökologischen und ökonomischen Auswirkungen neuer Batterietechnologien und deren Entwicklung. Aufgrund des frühen Entwicklungsstadiums emergenter Batterietechnologien und einer daraus resultierenden Datenknappheit, ist es nicht unproblematisch, in dieser Phase Auswirkungen vorausschauend abzuschätzen. Hinzu kommt, dass in einem frühen Technologieentwicklungsstadium potenzielle Anwendungsgebiete erst identifiziert werden müssen. In der Anwendung angelangt, stellen Batterien eine Komponente eines i. d. R. komplexeren Systems dar (z. B. Elektrofahrzeug oder netzangebundener stationärer Speicher), was es schwierig macht, relevante Einflussfaktoren direkt zu bestimmen.

Um den Verwertungserfolg neuer Batterietechnologien zu erhöhen und potenzielle Innovationshemmnisse zu adressieren, müssen entlang des potenziellen Lebenszyklus prospektiv ökologische (z. B. Umweltwirkung, Toxizität, Recyklierbarkeit), ökonomische (z. B. Lebenszykluskosten in verschiedenen Anwendungskontexten) und soziale Aspekte identifiziert, analysiert und bewertet werden.

Die Verwendung lebenszyklusbasierter Systemanalyseverfahren sowie konstruktiver Technikfolgenabschätzung (CTA) erlaubt die Integration und Kombination quantitativen sowie qualitativen Wissens für die Szenarienerstellung und die Abschätzung möglicher nicht intendierter Nebeneffekte für die anwendungsabhängige Analyse neuer Batteriesysteme. Der folgende Beitrag gibt einen Einblick über Forschungsaktivitäten und Methoden im Bereich der emergenten, elektrochemischen Energiespeicher für stationäre Anwendungen am ITAS.¹

2 CTA zur Unterstützung einer aktorsorientierten Systemanalyse

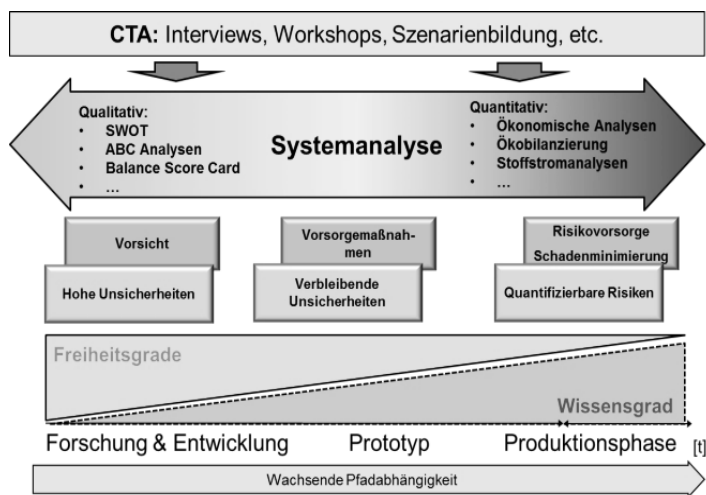
Hintergrund der CTA ist die Annahme, dass technologische Entwicklungsprozesse ein nahtloses Gewebe von sozialen, kulturellen, ökonomischen, technischen und naturwissenschaftlichen Faktoren darstellen und von diesen permanent beeinflusst werden (Grunwald 1999). Der CTA-Ansatz hat zum Ziel, diese Faktoren und Auswirkungen im Umfeld einer Technologie durch eine Verbreiterung des Entwicklungsprozesses frühzeitig

systematisch zu identifizieren und positiv zu beeinflussen, um potenzielle Innovationshemmnisse rechtzeitig zu adressieren (Hochgerner et al. 2008; Braun et al. 2014). Kern der CTA stellt dabei die Beteiligung verschiedener relevanter Akteure in Form von Fragebögen, Interviews oder Workshops dar. Relevante Gruppen sind zum einen Technologieentwickler sowie zum anderen Akteure, welche i. d. R. erst mit einem fertigen Produkt, in diesem Fall einer Batteriezelle, konfrontiert werden. Als angebracht erscheint im genannten Kontext die Schaffung eines technologischen Nexus, in dem besonders jene entwicklungsfernen Akteure eingebunden werden, welche bereits Erfahrung mit Energiespeicherung, -technik und -märkten haben (Hochgerner et al. 2008). Dies ermöglicht es, Technologieentwickler mit den Ansichten der potenziellen Nutzer zu konfrontieren und Annahmen im Rahmen einer Systemanalyse auf Praxisnähe und Plausibilität zu prüfen, zu erweitern oder technische und wirtschaftliche Konsequenzen quantitativ abzuleiten.

Als Systemanalyse wird hierbei ein Sammelbegriff für etwaige, meist quantitative aber auch teils qualitative Methoden verstanden, welche zur Technologieplanung, Entwicklung, umfassenden Bewertung, auch außertechnischer Kriterien verwendet werden, und die aus der steigenden Komplexität moderner Technik entstanden sind (Grunwald 2002). Einige Systemanalyseverfahren sind z. B. die Ökobilanz (Life Cycle Assessment – LCA), ökonomische Analysen (z. B. Lebenszykluskosten – Life Cycle Costs/LCC) oder statische und dynamische Stoffstromanalysen (Material Flow Analysis/MFA) (Grunwald 1999; Grunwald 2002). Die Wahl einer geeigneten Methode ist dabei abhängig von der jeweiligen Zielsetzung und Technologie sowie von deren Entwicklungsstand. Eine Übersicht über die methodische Verschmelzung bzw. Nutzung der CTA als Rahmenbedingung oder Ergänzung für die Systemanalyse ist in Abbildung 1 gegeben.

Wie in Abbildung 1 dargestellt, dient die CTA als Input für die Systemanalyse, um zusätzliche Informationen von Seiten relevanter Stakeholder zu erhalten. Dies erfolgt aktuell auf Basis einer Umfrage mittels eines quantitativ auswertbaren Fragebogens auf Entwickler- und Nutzerseite. Die gewonnenen Erkenntnisse der Umfra-

Abb. 1: Wechselwirkung zwischen CTA und Systemanalyse sowie deren Methoden und Reichweiten



Quelle: Eigener Entwurf auf Basis von Weil 2012

ge können dann in einem Workshop, in welchem Technologieentwickler sowie externe Experten zusammengebracht werden, diskutiert werden (Braun et al. 2014). Dadurch können potenzielle Anwendungsgebiete, rechtliche Fragen, Umweltfragen sowie ökonomische Rahmenbedingungen identifiziert werden, die bei der Entwicklung und späteren Nutzung von elektrochemischen Speichern von Relevanz sein können und im Rahmen einer Systemanalyse nicht erfasst worden sind.

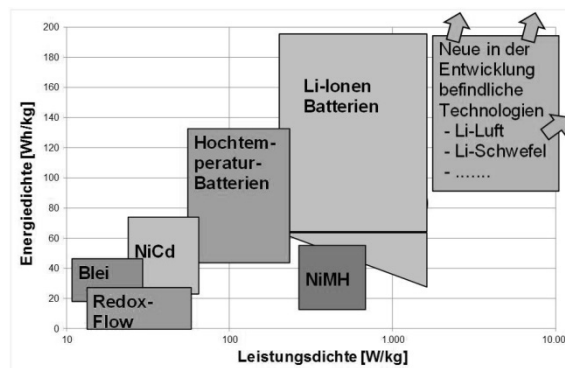
3 Stationäre elektrochemische Energiespeicher

Generell sind die Anforderungen an eine Batterie geprägt vom jeweiligen stationären, portablen oder mobilen Anwendungsgebiet. So müssen Traktionsbatterien² andere Anforderungen erfüllen als Speichersysteme im stationären Bereich. Dies sind z. B. höhere Ansprüche in die Höhe der Energie- und Leistungsdichte sowie Sicherheit (z. B. Brandschutz, Stoßfestigkeit etc.), Funktionsfähigkeit bei üblichen Umgebungstemperaturen (Mauch et al. 2009), während bei stationären Speichern von stetigeren Betriebsbedingungen (z. B. kontinuierliche Temperatur etc.), aber höheren Lebensdauernanforderungen auszugehen ist.

Im stationären Anwendungsbereich stehen Batterietechnologien in einem Wettkampf zu anderen Speicher- (z. B. Pumpspeicherkraftwerke etc.) und Ausgleichstechnologien (flexible Kraft-

werke). Dabei stellt sich die Frage, welche Technologie für den jeweiligen Bereich die kostengünstigste Option darstellt. Bereits verfügbare und ebenfalls im Wettbewerb stehende Akkumulatorsysteme sind z. B. Blei-Säure, Hochtemperatur-Akkumulatoren, Li-Ion-Batterien unterschiedlicher Elektrodenkombinationen³ oder Redox-Flow-Batterien. Neben den genannten Systemen gibt es einige vielversprechende, sich in der Entwicklung befindliche, verwandte Technologien, wie z. B. Li-Luft oder Li-Schwefelbatterien⁴, welche sich noch in einem frühen Entwicklungsstadium befinden. Diese Systeme können theoretisch bis zu zehnmal höhere Energiedichten erreichen als bisherige Systeme (Tarascon 2010). Ein Überblick über einige unterschiedliche Akkumulatortypen mit ihren aktuellen Eigenschaften ist in Abbildung 2 gegeben.

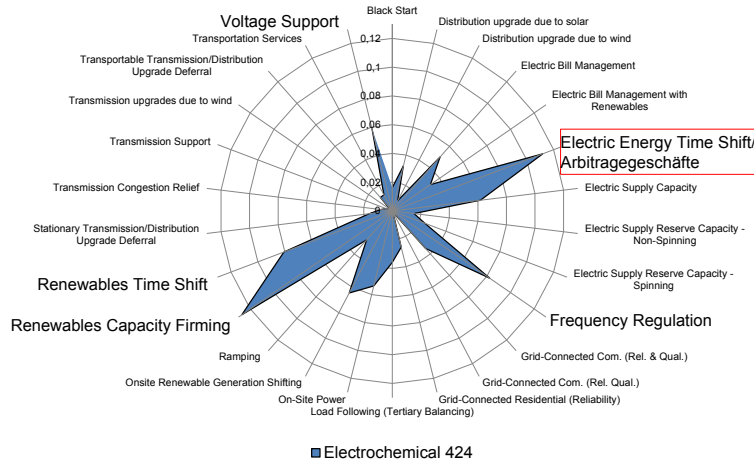
Abb. 2: Eigenschaften unterschiedlicher Batterietechnologien



Quelle: Eigene Darstellung

Aktuelle Problemfelder im Bereich der Batterieentwicklung sind u. a. Kosten, Lebensdauer, Energie- und Leistungsdichte sowie Sicherheit. Je nach Anwendungsgebiet müssen oftmals entsprechende Trade-Offs bei der Batteriewahl hingenommen werden, da gewünschte Eigenschaften nur auf Kosten anderer optimiert werden können. Generell sind die potenziellen Anwendungsgebiete von Batteriespeichern breit gefächert, was auch für Anwendungen im stationären Bereich gilt. So können stationäre Batteriespeicher z. B.

Abb. 3: Potenzielle Anwendungsgebiete elektrochemischer Speicher



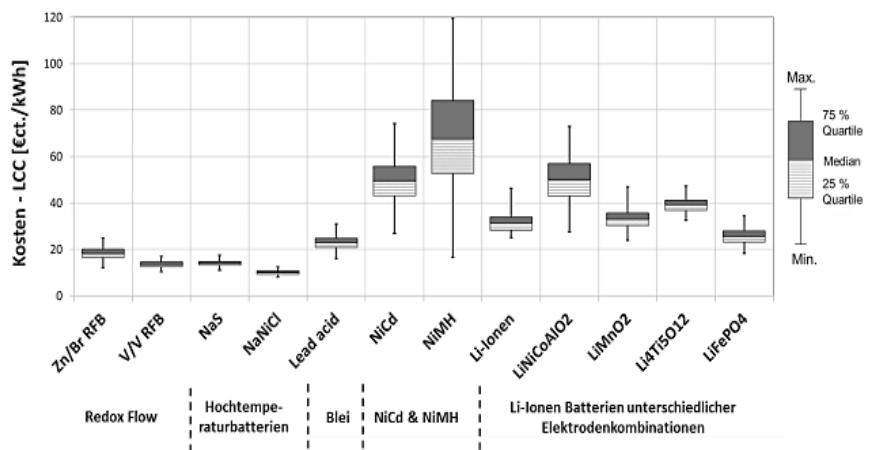
Quelle: Eigene Darstellung, Daten von SNL 2014

für erzeugernahe Speicherdienstleistungen, Vermarktung von Windstrom und Netzdienstleistungen genutzt werden. Eine Auswertung realisierter und geplanter Energiespeicherprojekte bzw. deren Anwendungsgebiete (nur die wichtigsten sind hervorgehoben) sind zur Veranschaulichung in Abbildung 3 gegeben. Die Anwendungsgebiete wurden für alle Batterietypen auf Basis der Projektzahl gleichgewichtet (die Zahl in der Legende stellt die Anzahl untersuchter Projekte dar). Die Höhe des relativen Wertes gibt Auskunft darüber, für welche Dienstleistungen ein Speicher hauptsächlich eingesetzt wird. Diese Auswertung kann als Grundlage für weitere anwendungsorientierte lebenszyklusbasierte Analysen dienen. Im Rahmen des Artikels wurde die markierte Anwendung Electricity Energy Time Shift (Lastspitzenverlagerung) als Referenzbeispiel für eine LCC gewählt.

4 Systemanalysebeispiel: LCC von E-Speichern für Arbitragegeschäfte

Im Folgenden werden die Life Cycle Costs (LCC) unterschiedlicher Speichertechnologien für mehrere Anwendungsgebiete berechnet. Grundlage des Vergleichs bildet eine umfassende Energiespeicherdatenbank (Stenzel et al. 2014) in Kombination mit einem probabilistischen LCC-Modell für Speichertechnologien. Die Analyse ermöglicht einen Vergleich mehrerer Technologien und gibt Auskunft über die Eignung dieser für ein spezifisches Anwendungsgebiet. Hinterlegte

Abb. 4: Ergebnisse für eine LCC-Bewertung unterschiedlicher Energiespeicher für die Lastspitzenverlagerung (Annahme 10 MW / 40 MWh, 2 Zyklen pro Tag, Zinssatz 8 % bei 10.000 Simulationen)



Quelle: Eigene Darstellung

Anwendungsfälle werden auf Basis von Literatur und Zeitreihen entwickelt (Baumann et al. 2013). In Abbildung 4 sind die Lebenszykluskosten (€ pro umgesetzte kWh) für den Referenzfall der Lastspitzenverlagerung gegeben.

Der Lebenszykluskostenvergleich zeigt, dass Redox-Flow, Blei und Hochtemperaturbatterien relativ niedrige Kosten in dem betrachteten Anwendungsgebiet aufweisen. Li-Ionen-Batterien unterschiedlicher Elektrodenkombinationen weisen noch ein hohes Kostensenkungspotenzial auf, wobei besonders LiFePO₄ als günstigste Variante ermittelt worden ist. Bei NiCd und NiMH sind die Kosten sehr hoch und es sind in Zukunft keine größeren Entwicklungen mehr zu erwarten. Die Ergebnisse zeigen, wie unterschiedlich die Kosten der jeweiligen Batterietechnologieoptionen sowie unterschiedlicher Li-Ionen Elektrodenkombinationen für das gewählte Einsatzgebiet unter aktuellen Bedingungen sind. Im Rahmen einer Detailanalyse können für die jeweilige Technologie die potenziellen Hot Spots in der Produktion weitergehend identifiziert und deren quantitativen Kostenbeiträge bestimmt werden. Des Weiteren können für unterschiedliche Anwendungsgebiete marktseitige Zielkosten für die Batteriesysteme berechnet werden, um so entsprechende Entwicklungsziele festzulegen.

5 Ausblick

Neben den gezeigten ökonomischen Rahmenbedingungen hängt der Erfolg elektrochemischer Speicher von weiteren Faktoren ab (z. B. politischer Regulierungsbedarf), die innovationshemmend sein können. Diese Faktoren können, wie zuvor beschrieben, mithilfe einer CTA adressiert werden. Der dargestellte Ansatz liefert die Möglichkeit, weitere Aspekte und Faktoren, welche im Rahmen einer Systemanalyse ggf. nicht erkannt werden, mittels CTA zu identifizieren und in den Entwicklungsprozess einzubinden. Beide Ansätze ergänzen sich somit und ermöglichen eine umfassendere Unterstützung und im Idealfall Gestaltung eines Technologieentwicklungsprozesses gerade im Hinblick auf „Responsible Research and Innovation“. Die gezeigten LCC-Analysen werden im weiteren Verlauf der Arbeiten durch LCA- und social-LCA-Analysen komplettiert. Aktuelle Sta-

holderbefragungen werden zukünftig genutzt, um weitere Informationen zu Bedürfnissen, Anforderungen und Präferenzen zu erhalten.

Anmerkungen

- 1) Aktuelles Forschungsprojekt am ITAS im genannten Bereich ist das „Helmholtz-Portfolio: Elektrochemische Speicher im System – Zuverlässigkeit und Integration“.
- 2) Als Traktionsbatterien werden Akkumulatoren für den Einsatz in elektrischen Antriebssträngen bezeichnet.
- 3) Besonders Li-Ion-Akkumulatoren gelten derzeit als die Speichertechnologie mit dem größten Potenzial in multiplen Anwendungsbereichen. Dies liegt u. a. an ihrem hohen energetischen Wirkungsgrad und ihren langen Lebensdauern gegenüber anderen Akkumulatorsystemen (Korthauer/Pettinger 2013).
- 4) „Lithium/Schwefel“ und „Lithium/Luft“ stellen Zukunftstechnologien dar, die eine von den klassischen Lithium-Ionen-Batterien grundsätzlich verschiedene Zellchemie aufweisen und bei denen auf teure Übergangsmetallverbindungen verzichtet werden kann, wodurch theoretisch kostengünstigere Batterien hergestellt werden können (Korthauer/Pettinger 2013).

Literatur

- Baumann, M.; Zimmermann, B.; Dura, H. et al., 2013: A Comparative Probabilistic Economic Analysis of Selected Stationary Battery Systems for Grid Applications. In: ICCEP (Hg.): Proceedings of the 4th International Conference on Clean Electrical Power Renewable Energy Resources Impact (ICCEP). Alghero, Italien, 11.–13.6.13, S. 87–92
- Braun, A.; Korte, S.; Rijkers-Defrasne, S., 2014: Abschlussbericht für Modul D des BMBF-Projektes: Begleitende Evaluierung der Fördermaßnahme „Validierung Des Innovationspotenzials Wissenschaftlicher Forschung – VIP“. Düsseldorf
- Grunwald, A., 1999: Rationale Technikfolgenbeurteilung: Konzepte und Methodische Grundlagen. Wissenschaftsethik und Technikfolgenbeurteilung Band 1. Berlin
- Grunwald, A., 2002: Technikfolgenabschätzung – Eine Einführung. Berlin (Gesellschaft – Technik – Umwelt, Neue Folge 1)
- Hochgerner, J.; Feichtinger, J.; Ornetzeder, M. et al., 2008: Open Innovation. Wien; https://zsi.at/attach/Open_Innovation_Endbericht.pdf (download 1.10.14)

Korthauer, R.; Pettinger, K.-H., 2013: Handbuch Lithium-Ionen-Batterien. Instrumente und Strategien zur aktiven Einbeziehung von NutzerInnen und anderen relevanten sozialen Gruppen in technische Innovationsprozesse am Beispiel Brennstoffzellen-Technologie und Wood-Plastic-Composites. Berlin

Mauch, W.; Mezger, T.; Staudacher, T., 2009: Anforderungen an elektrische Energiespeicher. Stationärer und mobiler Einsatz. In: VDI-Wissensforum (Hg.): Elektrische Energiespeicher. Schlüsseltechnologie für energieeffiziente Anwendungen. VDI-Berichte 2058. Düsseldorf, S. 3–23

SNL – Sandia National Laboratories, 2014: DOE Global Energy Storage Database; <http://www.energystorageexchange.org> (download 1.10.13)

Stenzel, P.; Baumann, M.; Fleer, J. et al., 2014: Database Development and Evaluation for Techno-Economic Assessments of Electrochemical Energy Storage Systems. IEEE International Energy Conference EN-ERGYCON 2014, 11.–16.5.14. Dubrovnik, Croatia

Tarascon, J.-M., 2010: Key Challenges in Future Li-Battery Research. In: Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences 368/1923 (2010), S. 3227–3241; doi:10.1098/rsta.2010.0112

Weil, M., 2012: System Analysis in the Early Phase of Technology Development – Responsible Development and Production of Carbon Nanotube. In: Decker, M.; Grunwald, A.; Knapp M. (Hg.): Der Systemblick auf Innovation – Technikfolgenabschätzung in der Technikgestaltung. Berlin, S. 301–312

Kontakt

Dipl.-Ing. Manuel Baumann
 Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)
 Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 Karlstraße 11, 76133 Karlsruhe
 Tel.: +49 721 608-23215
 E-Mail: manuel.baumann@kit.edu



Erst gebacken, dann weggeworfen?!

Reduktion der Lebensmittelabfälle bei Brot und Backwaren – Entwicklung eines Konzeptes für Handel, Handwerk und Verbraucher

von **Silke Friedrich, Guido Ritter und Lena Heitkönig**, Institut für Nachhaltige Ernährung und Ernährungswirtschaft an der Fachhochschule Münster

Lebensmittelabfälle sind aus ethischer, ökologischer, sozialer und nicht zuletzt ökonomischer Perspektive problematisch und widersprechen dem Nachhaltigkeitsgedanken. Zu Recht ist daher die Verschwendung von Lebensmitteln zu einem wichtigen Thema der Politik geworden. Die Europäische Kommission hat 2011 in ihrem „Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa“ das Ziel gesetzt, die Entsorgung von genusstauglichen Lebensmittelabfällen in der EU bis 2020 zu halbieren (vgl. EC 2011, S. 21). In Deutschland wurde 2012 in zwei vom Bund und dem Land Nordrhein-Westfalen beauftragten Studien (Kranert/Göbel 2012) das Ausmaß der Verluste abgeschätzt und deren Ursachen und Entstehungsorte entlang der gesamten Wertschöpfungskette analysiert. Die Ergebnisse der Studien weisen auf weiteren Forschungsbedarf hin, sowohl hinsichtlich der Daten als auch hinsichtlich der Erkenntnisse zu konkreten Handlungsstrategien für ressourceneffizientes Produzieren und Konsumieren.

1 Projekthintergrund

An dieser Stelle setzt das auf zwei Jahre angelegte Projekt „Reduktion der Lebensmittelabfälle bei Brot und Backwaren“ an (Projektlaufzeit Dezember 2012 bis November 2014). Es wird vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert und soll exemplarisch branchen- und produktbezogene Lösungen zur Vermeidung von Lebensmittelabfällen erproben. Dabei liegt der Fokus auf