

MULTIKRITERIELLE OPTIMIERUNG VON KINETISCHEN ENERGIESPEICHERN IN AUSSENLÄUFERBAUFORM

Maximilian SCHNEIDER¹, Stephan RINDERKNECHT¹

Motivation

Die Energiewende benötigt zur Stabilisierung des Stromnetzes elektrische Speicher. Hier gilt es alle Speicherpotenziale vom zentralen Pumpspeicher bis zum Kleinstspeicher ideal zu nutzen[1]. Im aktuellen Fokus liegen insbesondere Lithium-Ionen-Batterien. Diese unterliegen einer stark nutzungsabhängigen kalendarischen und zyklischen Alterung. Für Anwendungen mit hoher Dynamik und Leistung sowie hohen Zyklenzahlen können daher auch andere Speichertechnologien ökonomisch und ökologisch sinnvolle Alternativen darstellen. Aus diesem Grund haben kinetische Energiespeichersysteme (KES) in den letzten Jahren wieder ein erhöhtes Forschungsinteresse erfahren. Diese Speicher haben heute z.B. Relevanz als USV-Systeme oder zum Zweck der Regelleistungsbereitstellung in Stromnetzen[2]. Durch den Einsatz von neuen Materialien und effizienten Komponenten können die speicherbaren Energiemengen hier signifikant gesteigert und die energetischen Verluste reduziert werden. Grundsätzlich existieren unterschiedliche Bauformen, die in die vier Topologien „Ausgeprägte Schwungmasse“, „Innenliegende Schwungmasse“, „Nabenkonstruktion“ und „Außenläufer“ gegliedert werden können [3]. Die Bauform des Außenläufers (vgl. Abbildung 1) kommt bisher kommerziell nicht zum Einsatz und wird selbst in der wissenschaftlichen Literatur wenig umfangreich diskutiert. Gerade aber diese Bauform verspricht bei einfachen, in Europa etablierten Herstellungsprozessen hohe Energiedichten und geringe Verluste [4], [5]. Durch die kompakte Bauform kann ein sehr hoher Integrationsgrad erreicht werden. Dadurch werden jedoch spezielle Komponentenauslegungen notwendig und es kommt zu starken Kopeffekten zwischen diesen.

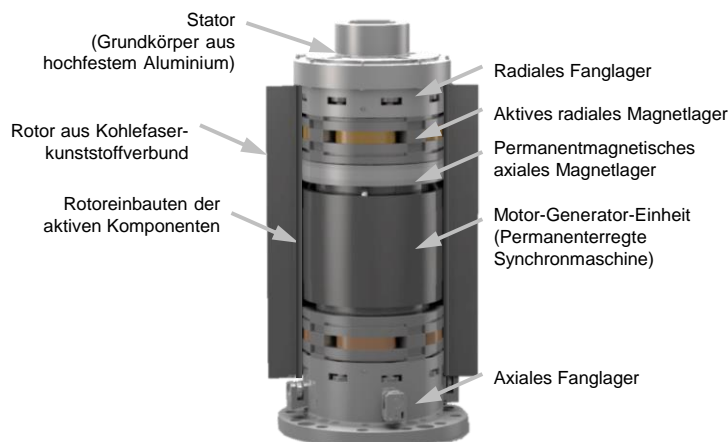


Abbildung 1: Schnittdarstellung eines beispielhaften kinetischen Energiespeichers in Außenläuferbauform (Quelle: [4], [5])

Ziel des vorliegenden Beitrages ist es die technischen Entwicklungspotenziale der Außenläufertechnologie aufzudecken und zu quantifizieren.

Methode

Eine effiziente und ressourcenschonende Produktentwicklung beginnt schon beim Systementwurf. Durch die softwarebasierte Auslegung kann die Zahl der physikalischen Prototypen auf ein Minimum reduziert werden. Ziel ist es, nur Systeme mit einem hohen Reifegrad praktisch zu realisieren. Um das komplexe Zusammenspiel der in diesen hochintegrierten Systemen beteiligten, heterogenen

¹ Technische Universität Darmstadt, Institut für Mechatronische Systeme im Maschinenbau, Otto-Berndt-Str. 2, 64287 Darmstadt, Deutschland, +49 6151 16-23259, schneider@ims.tu-darmstadt.de, www.ims.tu-darmstadt.de/energiespeicher

Komponenten beherrschbar zu machen, sind domänenübergreifende, modellbasierte Auslegungsmethoden in Verbindung mit mathematischen Optimierungsansätzen notwendig. Geeignete Ansätze sind im Bereich der mechatronischen Systementwicklung zu finden, da diese Speicher alle relevanten Eigenschaften von mechatronischen Systemen aufweisen. Auf Basis des V-Modells der Mechatronik (vgl. [6]) wird ein auf kinetische Energiespeicher in Außenläuferbauform zugeschnittenes Vorgehen entwickelt (vgl. Abbildung 2). Darin kommen analytische Auslegungsmodelle für permanentmagnetisch erregte Synchronmaschinen, aktive Magnetlager und Schwungmassen aus Faser-Kunststoffverbund zum Einsatz. Darüber hinaus werden die ausgelegten Speichersysteme anhand von an Prototypen validierten, analytischen Verlustmodellen bewertet. Als weitere Bewertungsgröße wird die erzielbare Energiedichte der Systeme herangezogen [4].

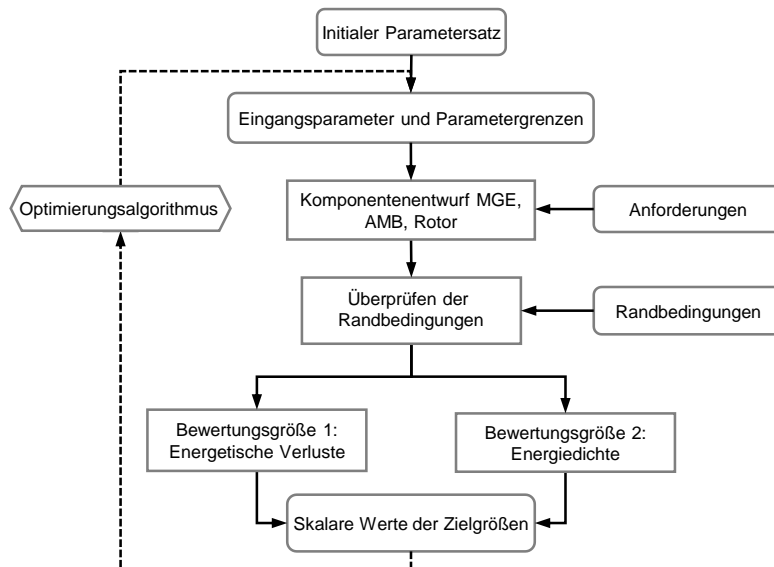


Abbildung 2: Ablauf des Systementwurfs für kinetische Energiespeicher in Außenläuferbauform mit den Abkürzungen MGE: Motor-Generator-Einheit, AMB: aktive Magnetlager (Quelle: [4])

Ergebnisse

Die Validierungsergebnisse zeigen, dass mit den analytischen Modellen eine ausreichend genaue Modellierungsgüte erzielt werden kann. Diese werden daher in eine Optimierungsumgebung eingebunden, die es ermöglicht unterschiedlichste Fragestellungen zu beantworten. Hinsichtlich des Entwicklungspotenzials der Topologie kann aufgezeigt werden, dass im Vergleich zum Prototyp eine um 39% höhere Energiedichte oder um 16% niedrigere Verluste erzielbar sind. Weitere Untersuchungen belegen das erhebliche Potenzial, das in der höheren Auslastung des Faser-Kunststoff-Verbundes steckt. Insgesamt bestätigen die Untersuchungen, dass die vorgeschlagene, integrale Vorgehensweise erhebliche Synergieeffekte zwischen den Komponenten nutzbar macht.

Referenzen

- [1] M. C. Argyrou, P. Christodoulides, S. A. Kalogirou, "Energy storage for electricity generation and related processes: Technologies appraisal and grid scale applications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 94, pp. 804–821, 2018.
- [2] B. Bolund, H. Bernhoff, M. Leijon, "Flywheel energy and power storage systems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, no. 2, pp. 235–258, 2007.
- [3] H. Schaede, *Dezentrale elektrische Energiespeicherung mittels kinetischer Energiespeicher in Außenläufer-Bauform*. Düren: Shaker, zugl. Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2015.
- [4] M. Schneider, *Ganzheitlicher modellbasierter Entwurf von kinetischen Energiespeichern in Außenläuferbauform*. Düren: Shaker, zugl. Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2019.
- [5] L. Qurck et al., "Design and practical Realization of an innovative Flywheel Concept for industrial Applications," *Technische Mechanik*, vol. 37, no. 2–5, pp. 151–160, 2017.
- [6] VDI 2206, *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme*. Berlin: Beuth, 2004.