

HOCHTEMPERATUR-SUPRALEITUNG BEITRÄGE AUS DEM FORSCHUNGSFELD



■ MOTIVATION

Anlässlich der Initiierung des BMWi-Forschungsfeldes Hochtemperatur-Supraleitung im November 2016 wurde Prof. Noe (KIT) aufgefordert, den FuE-Bedarf zur Hochtemperatur-Supraleitung aus der Fachszene aufzunehmen und gegenüber dem BMWi/PTJ darzustellen. Anlässlich der Hannover Messe im April 2017 und dem Braunschweiger Supraleiterseminar im Juni 2017 wurden dazu Treffen des Forschungsfeldes angesetzt, bei denen Vertreter aus Industrie (ATZ, BNG, Bruker, d-nano, ECOS, evico, Magnet World, Nexans, **Vision Electric Super Conductors**, Siemens CT, Sumitomo, Theva) und Forschung (KIT, U Braunschweig, U Köln) den Forschungsbedarf gesammelt haben. Dieser ist im Folgenden aggregiert dargestellt. Bei der Vielzahl der Einzelvorschläge wurde versucht, den Kerngedanken darzustellen. Selbstverständlich erhebt diese Darstellung keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

FuE-Bedarf zur Hochtemperatur-Supraleitung

Die Hochtemperatur-Supraleitung besitzt als Querschnittstechnologie eine Vielzahl von attraktiven Anwendungen in Energie, Medizin, Transport, Industrie und Wissenschaft. In der Energie ist grundsätzlich eine deutliche Verbesserung der Effizienz bei kompakter Bauweise möglich und es werden neue Anwendungen wie der Strombegrenzer und der magnetische Energiespeicher erst ermöglicht.

Die Leitlinie für die zukünftige FuE-Förderung sollte die Beschleunigung der Anwendungsentwicklung und das Erschließen neuer Anwendungsfelder sein. Dabei fließen folgende Kernthemen ein, auf die weitergehend detailliert eingegangen wird.

1. Leitereigenschaften und Leiterfertigung
2. Technologieentwicklung

3. Anwendungsentwicklung
4. Demonstration von HTS-Anwendungen

Durch diese thematische Gliederung werden alle relevanten Forschungsaspekte von der Material- bis hin zur Systemintegration betrachtet. Die Bandbreite der Anwendungen ist hier noch nicht eingeschränkt, fokussiert sich aber auf energietechnische Anwendungen und Beiträge zur Erhöhung der Energieeffizienz. Aufgrund der sehr dynamischen Entwicklung der Leitereigenschaften und des unterschiedlichen Entwicklungsstandes der verschiedenen Anwendungen wird eine Priorisierung und Einteilung in kurz-, mittel- und langfristige Entwicklungsziele hiermit noch nicht vorgenommen.

1. Leitereigenschaften und Leiterfertigung

Die Erschließung von Anwendungen der Supraleitung erfordert eine weitere Verbesserung der Leitereigenschaften und eine industrielle Fertigung der Hochtemperatur-Supraleiter. Wesentliche Leitereigenschaften sind das Preis-Leistungsverhältnis, kritische Stromdichten im Eigenfeld oder im externen Magnetfeld, die Wechselstromverluste und die Leiterhomogenität entlang einer benötigten Einzelbandlänge. Hierbei ist zu beachten, dass einzelne Anwendungen sehr oft eine spezifische Leitereigenschaft erfordern, wie z. B. ein höheres Spannungskriterium für Strombegrenzer oder eine höhere kritische Stromdichte im Magnetfeld für rotierende Maschinen. Die Anpassung der Bandleitereigenschaften auf die jeweiligen Anwendungsanforderungen beinhaltet das Nachjustieren des Herstellungsprozesses, was unter anderem das Hinzufügen zusätzlicher Fertigungsschritte bedeuten kann. Zur Hochskalierung einer qualitativ hochwertigen Leiterfertigung ist eine Entwicklung und Integration von spezialisierten In-situ Prozess- und Qualitätskontrollen bei der Herstellung erforderlich. Aufbauend auf den industriell gefertigten Hochtemperatur-Supraleitern sind einfache und stabile Leiterkonzepte für die jeweilige Anwendung zu entwickeln. Um Supraleiter für die weitere industrielle Nutzung handhabbar zu

THEMEN

1. Leitereigenschaften und Leiterfertigung
2. Technologieentwicklung
3. Anwendungsentwicklung
4. Demonstration von HTS-Anwendungen

machen, ist eine Standardisierung und Überführung in eine geeignete Normierung durch die DKE notwendig.

2. Technologieentwicklung

Der Hochtemperatur-Supraleiter benötigt für die jeweilige Anwendung eine angepasste elektrische Isolation bei tiefen Temperaturen, eine verlustarme und robuste Kontakttechnologie sowie eine angepasste Wickel- und Vergusstechnologie für große Komponenten. Wie die erfolgreiche Entwicklung erster Demonstratoren und Prototypen zeigt, sind, aufbauend auf den grundlegenden Leitereigenschaften, spezielle Lösungen für die jeweilige Anwendung zu entwickeln.

Eine wesentliche Komponente supraleitender Anwendungen stellt das Kühlsystem dar. Obwohl Kühlsysteme verschiedener Art und Größe kommerziell verfügbar sind, ergibt sich eine große Auswirkung, wenn wichtige Eigenschaften weiter verbessert und neue Systeme entwickelt werden können. Dazu gehören unter anderem die Minimierung der Kryostatverluste, die Erhöhung des Wirkungsgrades, die Verringerung des Wartungsaufwands und die Entwicklung energieeffizienter und kostengünstiger Kälteanlagen. Demonstratoren, Pilotanlagen und der Aufbau einmaliger Infrastrukturen zur Kühlung von Prototypenanwendung leisten dabei einen wichtigen Beitrag zur Beschleunigung der Anwendungsentwicklung.

3. Anwendungsentwicklung

Bisher sind für eine Vielzahl von Anwendungen der Supraleitung erste Demonstratoren erfolgreich entwickelt und getestet worden. Für supraleitende Mittelspannungskabel und -strombegrenzer liegen für erste Prototypen längere Betriebserfahrungen im Netz vor. Die Entwicklung der Einsatzbereiche der Hochtemperatur-Supraleiter sollte sich deshalb zunächst konzentrieren auf die Entwicklung neuer vielversprechender Anwendungen oder Anwendungen mit deutlich verbesserten Eigenschaften. Dies umfasst zum Beispiel die energietechnischen Anwendungen für Generatoren, Transformatoren, Kabel und Strombegrenzer ebenso wie rotierende Maschinen für Flugzeuge oder mobile Anwendungen für Massivsupraleiter.

Synergien zu anderen Anwendungen im kryogenen Bereich wie z. B. der Leistungselektronik oder der Schalt- und Schutzgerätetechnik sollten erforscht werden, damit komplette Systeme betrachtet werden können und nicht nur einzelne Komponenten.

4. Demonstration von HTS-Anwendungen

Anwendungen in der Energietechnik besitzen üblicherweise eine sehr lange Lebenszeit von mehr als 20 Jahren und die Markterschließung mit neuen Technologien erfolgt in der Regel über die langjährige Demonstration wichtiger Betriebseigenschaften, wie z. B. die Zuverlässigkeit.

Deshalb erfordert die Beschleunigung des Einsatzes supraleitender Anwendungen eine umfassende Feld- und Nutzererfahrung, um die herausragenden Möglichkeiten und die Anwendungsreife zu demonstrieren. Weiterhin dienen Demonstrationsvorhaben dazu, Schwachstellen zu identifizieren und zukünftigen FuE-Bedarf abzuleiten.

Der Fokus zukünftiger Entwicklung wird dabei auf die Umsetzung weiterer Demonstratoren zur Schaffung von Betriebserfahrungen, das Schließen der Lücken zwischen Demonstrator und Prototypenanwendung (> TRL6), das Weiterverwenden der Demonstratoren nach Projektende und den Betrieb nach der Projektlaufzeit gelegt. Hierbei sollten für den Endanwender Anreize für den Einsatz neuer Technologien geschaffen werden.