

Forschungsnetzwerk Energie Industrie und Gewerbe – 2. Treffen des Forschungsfeld Hochtemperatursupraleitung

am 15. November 2018 auf dem KIT Campus Nord, Hermann-von-Helmholtz Platz 1,
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Protokoll

Anwesend: Dr. Klaus Schlenga (Bruker), Dr. Tabea Arndt (Siemens), Dr. Joachim Bock (Conenctus), Dr. Ulrich Betz (Bruker), Dipl.-Ing Stefan Huwer (VESC), Thomas Reis (Oswald) Dr. Werner Prusseit (Theva), Dr. Vera Nießen (PtJ), Dr. Hans-Christoph Wirth (BMW), Dr. Claus Börner (PtJ), Hermann Boy (Sumitomo), Ursula Kollenbach (ivSupra), Dr. Wolfgang Walter (Bilfinger Noell), Prof. Christof Humpert (TH Köln), Dr. Carsten Henschel (BASF), Dr. Wolfgang Reiser (VESC), Prof. Mathias Noe (KIT).

TOP 1: Begrüßung (Prof. Noe)

In seiner Begrüßung weist Herr Prof. Noe noch einmal auf das Papier „**FuE-Leitlinien zur Hochtemperatursupraleitung** (Entwurf M. Noe, 29.10.2018) hin. Dieses ist eine Zusammenfassung aller bisher besprochenen Punkte. Es muss aber laufend fortgeschrieben werden, um es auf Stand zu halten. Es wird darum gebeten, neue Anregungen etc. mitzuteilen.

TOP 2: Übersicht zum 7. Energieforschungsprogramm (Dr. Wirth)

Seit dem 19. September 2018 ist das 7. Energieforschungsprogramm in Kraft. Es soll eine Laufzeit von 5 bis 10 Jahre haben und kann unter folgendem Link heruntergeladen werden:

<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/7-energieforschungsprogramm-der-bundesregierung.html>. Die dazu gehörende Förderbekanntmachung vom 1. Oktober 2018 kann unter dem Link <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/B/bekanntmachung-forschungsfoerderung-im-7-energieforschungsprogramm.html> heruntergeladen werden.

Die Ziele des 7. Energieforschungsprogramms sind:

- Die Energiewende voranzubringen (Technologien für Energieeffizienz und Integration Erneuerbarer Energiequellen entwickeln und in die Anwendung bringen)
- Den Industriestandort zu stärken (Trends aufgreifen (Digitalisierung), KMU unterstützen, Exportchancen ausbauen)
- Gesamtgesellschaftliche Risikoversorge (technologieoffene Förderung, Energieversorgung als internationale Herausforderung)

Um das zu erreichen soll es auch den Technologie- und Innovationstransfer über Branchengrenzen hinweg beschleunigen. Dafür wurden neue Instrumente eingeführt:

1. Reallabore Energiewende (Förderung von Innovationen mit dem TRL 7-9 in systemischen Zusammenhängen))
2. Modellprojekte Energieeffizienz: Innovationen wissenschaftlich begleitet in realen wirtschaftlichen Bereichen erproben
3. Start-up-Förderung

Die Umsetzung der **Reallabore** ist noch in der Vorbereitung und es wird hierzu bis Ende des Jahres noch einen eigenen Förderaufruf geben. **Ideen hierzu können direkt an Herrn Dr. Wirth oder an das Energiereferat übermittelt werden.** Es wird hierfür einen Förderrahmen von ca. 100 Mio. € geben.

Bei den **Modellprojekten Energieeffizienz** kann die Industrialisierung und Hochskalierung unter wissenschaftlicher Begleitung gefördert werden sowie Hersteller und Anwender. Ideen hierzu können beim PtJ vorgetragen werden.

Diese beiden Instrumente sollen eine Brücke zwischen Pilotprojekten und Markteintritt bilden.

Bei der **Start-up-Förderung** ist ebenfalls noch nicht klar wie diese aussehen soll. Die erwünschte Beschleunigung der Einbindung von Start-ups in die Projektförderung könnte vielleicht in einer nicht so tief gehenden Bonitätsprüfung bestehen. Hierzu kommen gegen Anfang nächsten Jahres noch Konkretisierungen.

TOP 3 Statusvorträge aktuell geförderter Projekte (Dr. Prusseit, Dr. Reiser, Prof. Noe)

THEVA ist zurzeit Teil von vier Förderprojekten:

1. Zwei Entwicklungsbegleitende Förderungen
 - a. **HTS NextGen** gefördert durch das BMWi (PtJ), hat die Beschleunigung und Effizienz PVD-Beschichtungsprozesse zum Ziel sowie die Erhöhung der Stromdichte und Länge von HTS-Bändern. (Projektstand: etwa 30%). Erreicht wurden bislang die Weiterentwicklung von Verbindungstechniken, Verwendung eines dünneren, unmagnetischen Metallsubstrats, Verbesserung der E-Strahl-Verdampfung und der plasma-unterstützten HTS-Abscheidung
 - b. **HTS FluxPin** gefördert durch das BayEFP (PtJ) mit dem Ziel HTS-Bänder in hohen Magnetfeldern zu optimieren (Projektstand ca. 40%): Optimierung des Pinning zur Erhöhung der Magnetfeldverträglichkeit (Faktor 2 demonstriert), Messung des Transportstroms langer Leiter im Magnetfeld
2. Zwei anwendungsbezogene Projekte:
 - a. **EcoSwing** gefördert von der EU (Horizon 2020), ein Windkraftgenerator (Projektstand ca. 80-90%) Der Windkraftgenerator wurde mittlerweile installiert. Ein Video hierzu findet sich unter <https://www.youtube.com/watch?v=1MLWuO5-uCM&feature=youtu.be>
 - b. **FastGrid** ebenfalls im EU Horizon 2020 –die Entwicklung kostengünstiger SFCLs sowie einen DC-SFCL, der für den Aufbau europäisches Energienetz erfolgskritisch ist (Projektstand ca. 50%)
3. Beantragt ist außerdem das Projekt **RoWaMag** beim BMWi, das Januar 2019 starten soll und die Entwicklung eines Magnetheizers zum Ziel hat.

Bei dem Projekt **SupraStromSchiene (3S)**, dem ersten modularen supraleitenden Stromschiensystem mit 20kA, in einer produzierenden Industrieanlage, ist die Installation abgeschlossen und die Stromschiene ist kalt gefahren. Da momentan der gesamte Prozess zur jährlichen Wartung abgeschaltet ist und danach die Anlage zunächst über das konventionelle Stromschiensystem angefahren wird, wird mit einer Inbetriebnahme von 3S ca. Mitte Dezember gerechnet, wenn der Chlor-Elektrolyseprozess wieder stabil läuft. Bislang wurden bereits folgende Erfahrungen gemacht:

1. Die Kühltechnik bedarf noch größerer Entwicklungsanstrengungen. Auch in diesem Projekt gab es Probleme mit dem Bereich der Kühltechnik, die vom ILK übernommen worden war, also der Kühlung der Stromschiene (nicht die Stromzuführungen).
2. Außerdem wurde festgestellt, dass beim Abkühlen von 78 K auf 68 K Stickstoff nachgefüllt werden musste, da es zu einer deutlichen Verdichtung bei der Unterkühlung des Stickstoffs kam.

3. Der modulare Aufbau der Stromschiene war bei der Montage ein großes Plus, da eine Installation auch bei engen Platzverhältnissen gut zu bewerkstelligen ist. Die einzelnen Module können einfach zusammengesteckt werden, wodurch keine eigens qualifizierten Monteure notwendig sind.
4. Ein völlig unterschätzter Faktor bei der Projektplanung waren die Sicherheits-, Gesundheits- und Umweltafordernungen seitens der BASF. Die SGU-Genehmigung, die so auch in anderen großen Industriebetrieben für innovative Technologie zu erwarten sind, waren viel umfangreicher und bedurften selbst der Genehmigung einzelner Anlagenkomponenten wie etwa dem Kühlmedium innerhalb der Kryopumpen auch wenn diese als Ganzes bereits eine CE-Zertifizierung hatten.
5. Der verwendete Supraleiterdraht stammt je zu Hälfte von der Deutschen Nanoschicht GmbH und der THEVA Dünnschichttechnik GmbH. Das Projekt zeigt, dass es nicht zu unerwünschten Problemen führt, wenn beide Drähte gemeinsam verbaut werden.
6. Die Mitarbeiter der BASF, die anfangs sehr skeptisch waren, sind mittlerweile sehr stolz darauf, dass diese Technologie bei Ihnen am Standort eingesetzt wird.

Anschließend werden nun Betriebserfahrungen im laufenden Betrieb gesammelt und die so gewonnenen Daten ausgewertet. Eine wichtige Frage ist, ob es wirklich notwendig ist, die eingebaute supraleitende Stromschiene bei Projektende im Oktober 2019 auszubauen. Hierfür sollte eine Regelung gefunden werden, da andernfalls die Fördergelder praktisch vernichtet würden. Generell sind leider keine Besichtigungen der Stromschiene möglich, es wird aber eventuell ein Video von der Anlage erstellt. Um die Erfolge des Projekts zu kommunizieren, soll z.B. ein Abschluss-Workshop stattfinden, bei dem potentielle Kunden informiert werden.

Das Projekt **SmartCoil**, ein Full Scale Demonstrator of a Shielded Air Coil Type Superconducting Fault Current Limiter, wurde im Februar 2018 erfolgreich abgeschlossen. Ziel des Projekts war der Bau eines Demonstrators einer Luftspule, deren elektrischer Widerstand im Normalbetrieb durch die Kombination mit Supraleiterspulen reduziert wird und deren drosselnde Wirkung nur im Falle einer Überlast zum Tragen kommt. Der Einphasen-Demonstrator (10 kV / 600 A) entspricht einem Dreiphasen-Schutz mit einer Begrenzungswirkung von 10 MVA und einer Erhöhung des elektrischen Widerstands um den Faktor 5 im Falle einer Überlast. Das System benötigt keinerlei zusätzliche Elektronik, ist also selbstauslösend und eigensicher. Ergebnisse des Projekts sind:

1. Entwicklung und Bestätigung der Design-Tools
2. Spezifikation, Test und Qualifikation der 2G HTS-Bänder
3. Simulation zur Optimierung der Konstruktion und der AC-Verluste
4. GFRP-Kryostat entsprechend der Druckkessel-Regulierung mit besonders dünnen Wänden
5. Verbindung der HTS-Ringe durch Lötungen
6. In-situ-Bestimmung des kritischen Stroms und des Kontakt-Widerstands
7. Der Demonstrator wurde entworfen, gebaut und getestet
 - a. Kalorimetrische Bestimmung der AC-Verluste unter Nennstrom
 - b. Demonstration der Begrenzungskapazität
 - c. Bestimmung der Zeitspanne für die Rückkehr in den Normalbetrieb

Mit diesem System können bestehende Begrenzerspulen ohne zusätzlichen Raumbedarf nachgerüstet werden. Dabei wächst die Begrenzungsschaltung mit dem Strom. Das System ist auch nach Überlastung und Degradierung noch funktionstüchtig. Es lässt sich zudem leicht auf Hochspannung hochskalieren und wäre deswegen durchaus auf Übertragungsnetzebene einsetzbar.

TOP 4: Internationaler Stand (Dr. Arndt, Dr. Prusseit)

a) Energieanwendungen

Energietechnik war, neben Quanten Computing / Quanten Information und Grundlagenforschung von der Partikelbeschleunigung bis zu Astrophysik, eines der drei Schwerpunktthemen der ASC-Konferenz 2018 in Seattle. Zu den wichtigsten Themen in diesem Bereich gehörten

1. Supraleiterkabel (insgesamt 115 Vorträge) –insbesondere die Diskussion über verschiedene Kabeltypen wie Rutherford, CORC, Roebel, CroCo etc. sowie über verschiedene Einsatzbereiche von Kabel von der Stromübertragung und -verteilung (10 – 380 kV) bis hin zum Einsatz in Transportsystemen etc. Das Supraleiterkabel-Projekt in Chicago unter Beteiligung von AMSC und ComEd hat die nächste Stufe genommen. AMSC und ConEd haben sich geeinigt. Nun muss in einem nächsten Schritt das DHS dieser Einigung zustimmen. Das Besondere an diesem Projekt ist, dass das Supraleiterkabel permanent im Netz bleiben soll. Das Projekt besteht aus zwei Teilen: der erste Teil besteht aus einem 200m Kabel in einem Umspannwerk, der zweite aus einem 3 km-Kabel in einem Geschäftsviertel in Chicago.
2. FCL (insgesamt 75 Vorträge) In diesem Bereich wird insbesondere über HVDC-FCL diskutiert.
3. Das dritt wichtigste Thema waren AC-Verluste (52 Vorträge)
4. Es folgten No Insulation Coils (32 Vorträge) – insbesondere in Hinsicht auf Motoren, da so eine höhere Stromdichte erreicht wird, sie kompakter werden und sie vor allem robuster gegen Quench sind.
5. Joints: Mittlerweile gibt es Verbindungstechniken für alle Möglichkeiten außer für eine Verbindung von YBCO und NbTi.

Weitere wichtige Themen waren:

1. Magnete
2. Rotierende Maschinen
 - a. Generatoren
 - i. Wind
 - ii. Welle
 - b. Motoren
 - i. Luftfahrt
 - ii. Schifffahrt
 - iii. Straße
 - iv. Linearmotoren

Interessant war, dass bei den Effizienzberechnungen oft die Kühlung nicht eingerechnet wurde. Teilweise wurden sehr exotische Designs vorgestellt

3. Transformatoren (begrenzende Transformatoren und Traktionstransformatoren)

b) HTS-Materialien

Die Material(weiter)entwicklung ist immer noch ein wichtiger Bereich, da sich mittlerweile die Kundenanforderungen deutlicher herauskristallisieren. Es ist wichtig, eine möglichst hohe Stromdichte, auch im Magnetfeld, zu erreichen und große Längen (500 – 600 m) zu liefern. Gewünscht werden zudem Leiter mit einer möglichst geringen I_c -Streuung auf einem möglichst dünnen, mechanisch stabilen, unmagnetischen Substrat. Bei der Konfektionierung bedarf es einer hermetischen und gleichmäßigen Metallumhüllung, die sogenannten

„Hundeknocheneffekte“, die beim Galvanisieren auftreten, bei der Spulenwicklung zu Problemen bei der Maßhaltigkeit führen. Hierfür wurde ein neuer PVD-Metallisierungsprozess entwickelt, der dieses Problem vermeidet, die Materialausbeute auf 95% erhöht und zudem ein spritzfreies Verdampfen ermöglicht. Diese neue Technik ist billiger als Galvanisierung, kommt ohne jegliche Chemie aus (keine Abwasserentsorgung notwendig) und ermöglicht außerdem die Dicke der Beschichtung präzise zu kontrollieren. Bei einer starken elektrischen Stabilisierung empfiehlt sich eine Laminierung. Hierfür gibt es eine breite Auswahl an Materialien. Eine hervorragende Haftung wird gewährleistet. Um große Stücklängen zu liefern wurden praktisch unsichtbare Verbindungstechniken entwickelt. So wurden neue Lote zum Verschweißen des Substrats qualifiziert. Bei diesem Verfahren muss dann nur noch ein SL-Patch aufgebracht werden, so dass ein Band mit der gleichen mechanischen Stabilität entsteht, das an der Verbindungsstelle nur 5µm dicker ist und überall die gleiche Steifigkeit hat. Wichtig ist, dass die reproduzierbarkeit gewährleistet ist und bei den Verbindungen der Widerstand geringer als 5nΩ beträgt. Wichtig sind auch Techniken zur Längsteilung ohne Beschädigungen. Zudem müssen die Kosten für die Bänder deutlich gesenkt werden. Hierfür muss der Beschichtungsprozess ebenso optimiert werden um einen möglichst hohen Durchsatz zu erreichen (Geschwindigkeit, Breite) wie der Materialverbrauch. Zudem muss die Ausschussrate verringert werden

TOP 5 F&E-Schwerpunkte für die nächsten Jahre

Besondere Defizite bestehen im Bereich der **Kryotechnik**, die erfolgskritisch für jede Anwendung ist. Es ist notwendig, dass die Kühlung von Beginn an in die Anwendungsentwicklung und Projektplanung mit einbezogen wird. Nur so können Kühlkonzepte (Kälteerzeugung, -zirkulation...) effizienter gemacht werden und die Betriebskosten gesenkt werden. Die Systemkosten werden auch bei der Kryotechnik erst sinken, wenn Skaleneffekte erreicht werden, wie das etwa bei Kryosystemen für MRI schon der Fall ist.

→ Da dieser Bereich bislang noch nicht ausführlich besprochen wurde, soll dies das Schwerpunktthema des nächsten Forschungsfeldtreffens werden.

Ziel ist die Entwicklung einer Roadmap zum Thema Kühlung und Kühlkonzepte mit einem Fokus auf den Kosten und der Effizienz. In diesem Kontext soll auch über Stromzuführungen gesprochen werden sowie über Kühlung großer Längen (Kabel).

Es soll außerdem überlegt werden einen Workshop zu veranstalten, zu dem auch die Cryogenic Society angesprochen werden soll.

Weitere Themen, die in der nächsten Zeit besprochen werden sollten sind:

1. Standardsoftware für die Modellierung und Simulation von Gesamtsystemen inklusive Kühlung
2. Verringerung von AC-Verlusten und der Verluste von Stromzuführungen (Forschungsbedarf)

TOP6: Sonstiges

Das nächste Treffen des Forschungsnetzwerks findet am Rande der Hannovermesse (1. – 5. 4.2019) in Hannover statt.