



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Jahresbericht 29.11.2013

Industrietauglicher Prototyp einer magneto- kalorischen Kraftmaschine (MKK) zur Strom- erzeugung

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Elektrizitätstechnologien & -anwendungen
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

Swiss Blue Energy AG
CH-5330/Bad Zurzach

Autoren:

Prof. Dr. K. C. Heiniger, Fachhochschule Nordwestschweiz, kurt.heiniger@fhnw.ch
Daniel Wymann, Fachhochschule Nordwestschweiz, daniel.wymann@fhnw.ch
Patrik Wildi, Fachhochschule Nordwestschweiz, patrik.wildi@fhnw.ch

BFE-Bereichsleiter:	Dr. Michael Moser
BFE-Programmleiter:	Roland Brüniger
BFE-Vertragsnummer:	SI/500948-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Projektziele

Eine *magneto-kalorische Kraftmaschine* (MKK), welche im Stande ist, Energie aus Niedertemperatur-Abfallwärme zu gewinnen, gibt es gemäss einer im Jahr 2012 erstellten Studie [1] noch nicht.

Ziel dieses Projektes ist es, eine solche Maschine zu entwickeln und mit einem Prototypen aufzuzeigen, dass mithilfe dieser Technologie elektrische Energie aus "wertloser" industrieller Abwärme ($< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) gewonnen werden kann. Der Prototyp mit einer geplanten Leistung von ca. $1.5 \div 3.5\text{ kW}$ soll in industrieller Umgebung mindestens 5'000 h im Dauerbetrieb laufen. Dabei soll die mögliche Stromproduktion permanent aufgezeichnet werden.

Bei der Firma Swiss Blue Energy steht ein *Demonstrator* kleiner Leistung zur Verfügung, welcher erstmals die Machbarkeit einer MKK aufzeigt. Es wurde festgelegt, dass der in diesem Projekt angestrebte Prototyp in Wesentlichen auf der Grundlage der bestehenden Technologie dieses Demonstrators aufgebaut werden soll.

Zusammenfassung

In diesem Bericht wird der Stand der Arbeiten im BFE Forschungsprojekt "Industrietauglicher Prototyp einer magneto-kalorischen Kraftmaschine zur Stromerzeugung" dokumentiert.

Seit Projektbeginn Anfang Oktober wurden in einer *Konzeptphase* die notwendigen Grundlagen erarbeitet und Konzepte für die einzelnen Baugruppen einer magneto-kalorischen Kraftmaschine erstellt. Es wurde daraufhin mit der *Konstruktion* des MKK Prototypen begonnen.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Konzeptphase

Thermischer-Schalter

Zentrales Element einer magneto-kalorischen Kraftmaschine ist der *thermische-Schalter*. Eine entscheidende Frage ist, unter welchen Bedingungen das magneto-kalorische Material vom ferromagnetischen in den paramagnetischen Zustand und zurück geschaltet werden kann. Die Stoffeigenschaften des magneto-kalorischen Materials, die Erwärmungs- und Abkühlungsphase, sowie die Betriebsdynamik der Anlage spielen für die Realisierung der MKK eine zentrale Rolle. Da die Temperaturrandbedingungen der Medien (warm-kalt Niveau) möglichst passend zum Curie-Temperaturbereich des Materials abgestimmt sein müssen, ist eine Adaption der entsprechenden Eigenschaften wünschenswert.

Zur Untersuchung des thermischen Schalters wird ein *Prüfstand* entwickelt, welcher im Labor der Fachhochschule Nordwestschweiz betrieben wird.

Magnetokalorisches Material

Mit der bisher verwendeten Technologie im „Demonstrator“ der Swiss Blue Energy AG konnten bereits erste Erfahrungen mit magneto-kalorischem Material gemacht werden. Im Rahmen der Konzeptphase hat sich schnell gezeigt, dass mit den zur Verfügung stehenden Medien in der industriellen Umgebung der Firma Holcim das bisher verwendete Material (seltene Erde) einen Curie-Bereich besitzt, bei welchem die zu- und abgeführte Wärme nicht optimal genützt werden kann. Zudem ist das Material und dessen Verarbeitung zur benötigten Form sehr teuer. Deshalb wurde der Entschluss gefällt, für den Bau des Prototypen nach einem besser geeigneten Material zu suchen. Die Lösung dieses *Material-problems* war ursprünglich nicht Teil dieses Projekts. Dieses Arbeitspaket musste aber, bedingt durch die Randbedingungen, zwingend eingefügt werden.

Die Suche nach geeigneten Materialien führte zu zwei deutschen Herstellern von magneto-kalorischen Materialien. Da diese Firmen aber zurzeit Materialien, welche unsere Anforderungen erfüllen nur in Pulverform und unter Laborbedingungen herstellen können, muss für den geplanten Prototypen ein neues geeignetes Herstellungs-bzw. Verarbeitungsverfahren entwickelt werden. Die Auswahl des Herstellverfahrens bzw. die Verarbeitung des Materials muss auch die Anforderungen an

Festigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Widerstand gegen biologische Einflüsse (z.B. Biofilm) in einem offenen Kreislauf berücksichtigen.

Zur Unterstützung dieser Material- und Verarbeitungsfragen wurden deshalb zwei Spezialisten der Fachhochschule Nordwestschweiz beigezogen: Prof. Dr. Arne Wahlen vom Institut für Produkt- und Produktionsengineering unterstützt das Projekt in grundlegenden Fragen der Werkstoffwahl und Werkstoffprüfung. Prof. Dr. Erich Kramer vom Institut für Kunststofftechnik leistet Hilfe im Bereich der Herstellung und Verarbeitung der geeigneten Materialien.

Im Rahmen der Konzeptphase konnte die Auslegung des Magnetfeldes im gewünschten Bereich festgelegt werden. Weiter wurde mit Simulationen die Geometrie des magneto-kalorischen Materials für optimale Kraftwirkung festgelegt. Mögliche Herstell- und Verarbeitungsverfahren wurden zusammen mit den Werkstoffspezialisten definiert und sollen in der folgenden Projektphase getestet werden.

Aus heutiger Sicht scheint es *wahrscheinlich*, dass die beschriebene Materialproblematik in diesem Projekt befriedigend gelöst werden kann. Die Herstellung der geforderten Abmessungen in geeignetem Material sollte in unseren Labors realisiert werden können.

Berechnungsmodell

Zur Erarbeitung der Konzepte wurde ein *1D-Berechnungsmodell* erstellt, welches die physikalischen Zusammenhänge von Geometrie, Hydrodynamik, thermischer Schalter, Stoffeigenschaften des magneto-kalorischen Materials und die daraus resultierenden Prozessparameter bis hin zur erzeugten mechanischen Leistung aufzeigt. Das Modell dient als Grundlage für die *Grobauslegung* des angestrebten Prototyps. Eine experimentelle Validierung der thermischen Zeitkonstanten im Prüfstand wird im Laufe des Projektes für unterschiedliche Geometrien möglich sein.

Hydrodynamik

Die hydrodynamische Auslegung der angestrebten MKK ist ein zentrales Element in diesem Projekt. Damit muss die Zu- und Abfuhr der Wärme bei möglichst geringen Druckverlusten sichergestellt werden. Die Kopplung der hydrodynamischen Komponenten mit dem thermischen Schalter und der Betriebsdynamik der ganzen Anlage ist sehr wesentlich. In der Konzeptphase konnte eine *erste Auslegung für den Prototypen* festgelegt werden. Gleichzeitig wurden bereits auch *wirtschaftliche Aspekte* miteinbezogen.

Simulation / Validierung

Parallel zur Erarbeitung des Grundkonzepts und einer ersten Auslegung für den Prototyp wurden auch erste *numerische Simulationen* (Strömung inkl. Wärmetransport) erstellt. Diese Simulationen werden am thermischen Prüfstand validiert. Künftig können neue Konfigurationen in einem iterativen Prozess im „Dreieck“ Berechnungsmodell / Simulation / Experiment verbessert werden, was letztlich zur Optimierung der Auslegung führen wird.

Der Zeitaufwand für entsprechende numerische Simulationen (Strömungssimulationen mit gekoppeltem Wärmetransport) ist erheblich und nur dank hervorragender Infrastruktur an der Fachhochschule Nordwestschweiz realisierbar (Linux-Cluster mit > 200 Knoten).

Gesamtkonzept MKK Prototyp

Die einzelnen Konzepte konnten zu einem Gesamtkonzept zusammengeführt werden. Das Gesamtkonzept sieht grundsätzlich einen *modularen Aufbau* der Anlage vor, so dass in der letzten Phase des Projektes genügend Spielraum für Anpassungen und Optimierungen bleibt. Der modulare Aufbau soll umfassende Untersuchungen im Laborumfeld zulassen, wobei die daraus resultierenden Anpassungen am Prototyp noch vor dem Dauerbetrieb im industriellen Umfeld gemacht werden können. Weiter ist eine Anlagensteuerung und Datenerfassung mit umfassender Instrumentierung vorgesehen. Die Bedienung und Überwachung erfolgt dabei im Remote-Betrieb, was keinen personellen Aufwand vor Ort erfordert.

Konstruktion

Die Konstruktion der Anlage befindet sich noch im Anfangsstadium. Ein Grundaufbau wurde mithilfe eines CAD-Systems konstruiert inkl. Antriebsstrang von der magneto-kalorischen Kraftmaschine bis zur Belastungseinrichtung (Dynamometer). Es steht ausserdem eine CAD-Grundkonstruktion des Stators und Rotors, sowie der Rotorlagerung und der Hydrodynamik zur Verfügung. Die gesamte Konstruktion muss in den weiteren Schritten noch ergänzt, optimiert und verfeinert werden.

Nationale Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit im Inland betrifft hauptsächlich den Know-how Transfer mit der Partnerfirma Swiss Blue Energy AG in Bad Zurzach sowie den mit ihr liierten ausländischen Wissenschaftlern, welche wesentlich an der Entwicklung des Demonstrators mitgewirkt haben. Ziel dieses Projekts war ursprünglich „nur“, den Prototypen auf der technologischen Basis dieses Demonstrators mit ca. 20-facher Leistung zu bauen. Wie oben aufgezeigt wurde, führte die Konfrontation mit den neuen Fragestellungen dazu, dass für die Realisierung neue Arbeitspakete eingeführt werden mussten.

Bereits bestehende Kontakte von Swiss Blue Energy zu spezialisierten Fertigungsfirmen in naher Umgebung zur Fachhochschule Nordwestschweiz und Swiss Blue Energy können synergetisch genutzt werden, woraus weitere Partnerschaften resultieren.

Weiter steht das Projektteam im Kontakt mit der Fachhochschule HES-SO Nordwestschweiz in Yverdon, welche bereits über breite Erfahrungen im Bereich von magneto-kalorischen Anwendungen verfügt (v.a. im Bereich Kältemaschinen/Wärmepumpen).

Internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit beschränkt sich momentan auf die laufenden Gespräche mit zwei deutschen Herstellern von magneto-kalorischen Materialien, wobei sich mit Beiden eine Forschungszusammenarbeit abzeichnet.

Bewertung 2013 und Ausblick 2014

Das vorliegende Projekt wurde Anfang Oktober 2013 begonnen. Die gesetzten Ziele konnten bisher erreicht werden. Eine vertiefte Studie mit den zur Verfügung stehenden alternativen magneto-kalorischen Materialien war nötig und wurde in der ersten Phase des Projektes erfolgreich eingebaut. Diese notwendige Erweiterung der Arbeiten in der Anfangsphase zeigte bisher keine wesentlichen zeitlichen und terminlichen Einflüsse auf den Projektfortschritt. Gemäss dem aktuellen Stand der Arbeiten werden auch für 2014 keine wesentlichen Verzögerungen erwartet, da unabhängig von der Fragestellung zur magneto-kalorischen Materialwahl parallel weitere Tasks bearbeitet werden können. Der Projektplan sollte somit in der geplanten Form eingehalten werden können.

Im 2014 soll die Konstruktion des MKK-Prototyps fertiggestellt werden. Darauf folgt die Fertigung und Inbetriebsetzung des Prototyps, so dass im Mai 2014 der *Testbetrieb im Laborumfeld* aufgenommen werden kann. Erfolgreiche Ergebnisse des Testbetriebs sind nötig, um den angestrebten Dauerbetrieb im industriellen Umfeld zu starten.

Insgesamt konnten im Q3-2013 wesentliche Grundlagen für die weiteren geplanten Arbeiten geschaffen werden.

Referenzen

[1] Vuarnoz D. et al., *Quantitative feasibility study of magnetocaloric energy conversion utilizing industrial waste heat*. Applied Energy, 2012

Anhang

Im Anhang sind momentan keine Beiträge vorhanden.