

SIEMENS CORPORATE TECHNOLOGY

## Eiskalter Schiffsantrieb

Der Diesel hat ausgedient, denn Supraleitung lässt Elektromotoren schrumpfen.

Von Bernhard Gerl

Elektromotoren dienen heute in vielen Bereichen der Technik als Arbeitspferde, denn sie funktionieren sehr zuverlässig und setzen die aufgewandte Energie mit hohem Wirkungsgrad in Antrieb um. Doch mitunter stößt diese Technik auf Grund der verwendeten Materialien an ihre Grenzen.

Die wichtigsten Komponenten sind Spulen, meist aus Kupfer, in denen elektrische Ströme fließen und so Magnetfelder erzeugen (deren Wechselwirkung bringt die Drehbewegung hervor). Hinzu kommen Eisenkerne, um die Felder zu lenken und zu verstärken. Diese Werkstoffe machen leistungsstarke Elektromotoren groß und schwer und begrenzen die Feldstärke, zum Beispiel wegen der Wärmeverluste in den Kupferleitungen.

Der Siemenskonzern entwickelt nun – mit Unterstützung durch das BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) – einen deutlich kompakteren Elektromotor, in dem die Spule des bewegten Bauteils (Rotor beziehungsweise Läufer) aus Hochtemperatursupraleitern (HTSL) gewickelt ist. Bei sehr tiefen Temperaturen verschwindet deren elektrischer Widerstand, demzufolge wird dort keine Abwärme erzeugt (siehe Kasten). Doch diese Werkstoffe bestehen aus spröder Keramik. Beim Versuch sie zu biegen oder gar zu wickeln, würden sie brechen.

Die Lösung: Dünne Supraleiterfasern werden in eine metallische Matrix eingebettet. Derartige Leiter sind heute kommerziell erhältlich und werden von Jahr zu Jahr leistungsfähiger und auch preiswerter. Ein Vergleich zeigt den Vorteil für

die Läuferwicklung großer Elektromotoren: Sollen durch einen Kupferdraht 100 Ampere fließen, dann muss er eine Querschnittsfläche von 30 Quadratmillimetern haben, beim Hochtemperatursupraleiter reicht ein Quadratmillimeter.

Doch kann eine solche Wicklung den mechanischen Beanspruchungen im Motor dauerhaft standhalten? Und wie ist es möglich, die Wicklungen dort auf die Betriebstemperatur von 25 Kelvin abzukühlen? Siemensforscher Wolfgang Nick und sein Team haben dazu folgende Technik entwickelt: Über ein dünnes Rohr fließt flüssiges Neon durch eine Hohlwelle in die Mitte des Läufers, nimmt dort Wärme auf, verdampft und gelangt als Gas durch dasselbe Rohr wieder nach außen. Hier kondensiert es an einem Kühlkopf und fließt zurück – der Kreislauf ist geschlossen. Dieses System braucht keine aktive Umwälzung des Kühlmittels, regelt sich automatisch und arbeitet obendrein wartungsfrei.

Die Siemensingenieure steckten die neue Technik vor etwa drei Jahren in das Gehäuse eines 400-Kilowatt-Synchronmotors. Die HTS-Maschine samt zugehöriger Kühlung – dank der guten ther-



Ein moderner Pod-Schiffsantrieb wird von Elektromotoren in Gang gesetzt. Wenn sich im Innern der Gondel ein supraleitender Motor befände, könnte sie noch kompakter und damit strömungsgünstiger konstruiert werden.

Der 400-kW-Supraleitungsmodellmotor im Systemtest. Äußerlich wirkt die Maschine konventionell, ungewöhnlich ist aber schon das Rotorkühlsystem (grün beleuchtet), umgeben von Mess- und Überwachungsgeräten.



## Supraleitung

**Ein leitfähiger Draht** besteht – aus der Sicht des Theoretikers – aus einem Gitter regelmäßig angeordneter Atome und freier Elektronen, die sich dazwischen bewegen. Letztere bilden eine Art See, eine elektrische Spannung bringt sie ins Fließen. Auf ihrem Weg stoßen sie aber immer wieder mit Atomen zusammen, da diese auf Grund der Temperatur des Drahts hin- und herschwingen – es entsteht elektrischer Widerstand. Bei einigen Metallen und Keramiken verschwindet er um den absoluten Nullpunkt (minus 273,15 Grad Celsius, 0 Kelvin) vollständig. Dieses Phänomen nannte sein Entdecker Heike Kamerlingh Onnes (1853–1926, Nobelpreis 1913) Supraleitung.

Bis vor wenigen Jahrzehnten ließ sie sich nur durch Kühlung mit flüssigem Helium erreichen, ein breiter technischer Einsatz erfolgte nicht. Doch 1986 entdeckten die Physiker Johannes G. Bednorz und Karl A. Müller (Nobelpreis 1987) den ersten Hochtemperatursupraleiter. Minus 183 bis minus 143 Grad Celsius (90 bis 130 Kelvin) reichen bei

diesen Materialien aus, um den elektrischen Widerstand verschwinden zu lassen. Das lässt sich bereits mit dem billigeren flüssigen Stickstoff erreichen (Siedepunkt: minus 195,8 Grad Celsius, 77,35 Kelvin).

**Bislang versteht man allerdings** nur die Grundlagen der klassischen Supraleitung. Unterhalb der »Sprungtemperatur« verbünden sich zwei Elektronen demnach zu so genannten Cooperpaaren: Passiert ein Elektron ein Atom des Gitters, beginnt dieses zu schwingen und gibt die Bewegung an seinen Nachbarn weiter, sodass eine Welle durch den Kristall läuft. Es ist für zwei Elektronen energetisch günstig, sich mit dieser Schwingung gemeinsam durch das Gitter zu bewegen. Das Cooperpaar erfährt keinen elektrischen Widerstand mehr. Leider versagt diese Theorie bei Hochtemperatursupraleitern, doch einige Physiker hoffen, dass eine leichte Modifikation das Phänomen erklären wird.

mischen Isolierung des Läufers reichen 20 Watt Kühlleistung aus – demonstriert seitdem in Betrieb beziehungsweise Bereitschaft ihre Zuverlässigkeit. Messungen ergaben bei dem nicht optimierten Versuchsmodell bereits einen um ein Prozent höheren Wirkungsgrad als bei einem vergleichbar starken konventionellen Motor. Außerdem läuft dieser Antrieb sehr ruhig.

### Warten auf billigere Supraleiter

Die zehnfache Leistung soll nun ein Nachfolgemodell bringen, das als Generator auf vollelektrischen Schiffen eingesetzt werden kann. Diese modernen Fahrzeuge kommen ohne den oft mehrere hundert Tonnen schweren Antriebsdiesel aus. Stattdessen liefern diesel- oder gasturbinengetriebene Generatoren den Strom für Elektromotoren, die dann die Schrauben antreiben.

Eine solche Kombination gibt dem Konstrukteur Freiheiten, denn er kann die Komponenten im Schiff verteilen. Der konventionelle Antriebsdiesel hingegen steht auf Grund seiner Größe in der

Schiffsmitte, sein Drehmoment wird über schwere Wellen auf die Schrauben übertragen. Elektromotoren können sogar außerhalb des Rumpfs als so genannte Pod-Antriebe (*pod*: englisch für »Gondel«) untergebracht werden. Diese sind um 360 Grad drehbar und verbessern somit die Manövrierbarkeit des Fahrzeugs (siehe Foto links).

HTS-Motoren und -Generatoren eignen sich natürlich nicht nur für Schiffe. Weitere Einsatzfelder sehen die Siemensplaner zum Beispiel in Windkraftwerken, wo ebenfalls geringes Gewicht günstig ist, und in Großkraftwerken zur Stromerzeugung, weil sich dort der höhere Wirkungsgrad auszahlt. Ob sich Hochtemperatursupraleiter in Motoren und Generatoren durchsetzen werden, hängt vor allem vom Preis der Leiter ab. Um achtzig Prozent könnte er wohl fallen, sobald größere Mengen davon hergestellt werden, vermutet Wolfgang Nick. Spätestens dann bietet die Supraleitungstechnik eine wirtschaftliche Alternative. ◀

Der Physiker **Bernhard Gerl** arbeitet als Fachautor in Regensburg.

ANZEIGE