

## Elektrische Energie aus Abgaswärme von Kraftfahrzeugen

G. Kaiser<sup>a</sup>, M. Kuhn<sup>a</sup>, T. Schildbach<sup>a</sup>, J. Klier<sup>a</sup>, S. Ott<sup>b</sup>, A. Lang<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH, Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden

<sup>b</sup> FOX Autotechnik GmbH, Eibenstocker Str. 39f, 08349 Johanngeorgenstadt

Energieeffizienz ist in aller Munde und der Kfz-Verkehr ist für einen großen Teil der Treibhausgase verantwortlich. Ein sparsamerer Motor bringt gleich mehrere Vorteile. Weniger Kraftstoffverbrauch bedeutet mehr Geld in der Tasche, weniger Erderwärmung und bessere Luft in unseren Städten. Doch wie geht man die Sache an, wenn selbst moderne Verbrennungsmotoren nur ein Drittel der im Kraftstoff gebundenen Energie in Bewegung umwandeln und den Rest als Wärme ungenutzt an die Umwelt abgeben?

Seit einigen Jahren arbeiten daher Automobilhersteller an Lösungen diese Abwärme, resultierend aus bis zu 1000°C heißem Abgas, in Strom bzw. mechanische Arbeit umzuwandeln. Dabei werden unterschiedliche Prozesse verfolgt.

BMW arbeitet an einem sogenannten thermoelektrischen Generator, der nach dem inversen Peltier-Effekt arbeitet. Solche Peltier-Elemente sind in mobilen Kühlboxen verbreitet. Nach dem Anlegen einer Spannung entsteht eine Temperaturdifferenz, die eine Seite des Elements wird daraufhin kalt die andere warm. Im Fall des thermoelektrischen Generators wird eine Seite an das heiße Abgas geführt, die Andere aktiv gekühlt und so der Stromfluss erzeugt. Allerdings kann auf diese Weise zurzeit nur etwa ein Prozent der Abwärme in Strom umgewandelt werden, so dass die Wissenschaftler gegenwärtig an neuen Legierungen für die Peltier-Technik forschen um den Wirkungsgrad zu steigern.<sup>1</sup>

Mit einem anderen Prinzip arbeitet die Firma Amovis, das dem der Dampfmaschine ähnlich ist. Hier wird mit der Abgaswärme ein Arbeitsstoff verdampft, dadurch steigt der Druck soweit, dass eine Turbine damit angetrieben werden kann. Anschließend wird Kühlwasser benötigt um den Dampf wieder zu verflüssigen und selbigen wieder mit einer Pumpe in den Abgaswärmetauscher zu fördern. Das System ist flexibel aufzubauen, so dass vorhandene Leerräume genutzt werden können, allerdings nimmt der Prototyp mitsamt der Messtechnik den ganzen Kofferraum in Anspruch. Nachteilig wirken sich zudem die zusätzliche Pumpe und die Lageempfindlichkeit aus. Angaben über Kosten und den Wirkungsgrad der als SteamCell bezeichneten Anlage liegen nicht vor.<sup>2</sup>

Relativ neu ist die Nutzung von Shape Memory Alloy (SMA), zu Deutsch Formgedächtnislegierung. Forscher bei General Motors versuchen derzeit den Effekt der Formänderung als Folge einer Temperaturdifferenz in einem Generator umzusetzen. Vorteil solcher SMA-Generatoren wäre die hohe Kraft- und Energiedichte. Bis zu einer praxistauglichen Maschine sind allerdings weitere Materialforschungen notwendig, sodass zu diesem Zeitpunkt weder Aussagen zu den Systemkosten noch zum Wirkungsgrad oder Anlagengröße existieren. Derzeit werden Drahtbündel aus einer Nickel-Titan-Legierung verwendet die sich zwischen 20 und 100°C um 8% pseudoelastisch verformen.<sup>3</sup>

In dem nachfolgend aufgeführten Vorhaben soll eine leichte, kompakte, im Wirkungsgrad effiziente und kostengünstige Anlage entwickelt werden.

Die Firma FOX Autotechnik<sup>4</sup> entwickelt in Zusammenarbeit mit dem Forschungsinstitut für Luft- und Kältetechnik in Dresden (ILK)<sup>5</sup> eine Wärmekraftmaschine die nach dem Stirlingmotorprinzip Abgaswärme in Strom umwandelt. Besonders bei hohen Abgastemperaturen wie sie z.B. bei großvolumigen Saugmotoren auftreten, werden hohe Leistungszahlen erreicht. Im Unterschied zum herkömmlichen Stirlingmotor besitzt die Entwicklung von FOX / ILK keinen bewegten Verdrängerkolben im heißen Teil der Maschine, also dem Teil der im Abgasstrang sitzt. Somit wird das Problem der Kolbenführung, -abdichtung und -schmierung bei Temperaturen bis zu 1000°C geschickt vermieden. Ganz neu ist die Idee, welche aus der Tieftemperaturtechnik kommt, nicht. 1963 entdeckten Gifford und Longworth durch Zufall einen Tieftemperaturkühler ohne mechanischen Verdrängerkolben, indem sie vergaßen diesen in einen herkömmlichen Tieftemperaturkühler zu montieren, der aber dennoch kalt wurde. Eine Kolbenführung, -abdichtung und -schmierung bei Temperaturen von -200 C ist nämlich gleichermaßen kompliziert wie bei 1000°C. Die Entwicklung von FOX / ILK überträgt somit konsequent die Erfahrungen aus der Tieftemperaturtechnik in die Entwicklung der Wärmekraftmaschinen, so dass nicht nur bewegte Elemente im heißen Teil der Maschine vermieden werden, sondern auch ihre Anzahl bis auf einen beweglichen Kolben reduziert wird. Für einen erschütte-

<sup>1</sup> [www.atonline.de/Aktuell/Nachrichten/1/10688/BMW-Bis-zu-1000-Watt-per-Thermoelektrik-moeglich.html](http://www.atonline.de/Aktuell/Nachrichten/1/10688/BMW-Bis-zu-1000-Watt-per-Thermoelektrik-moeglich.html)

<sup>2</sup> [www.amovis.de/de/kompetenzen.htm](http://www.amovis.de/de/kompetenzen.htm)

<sup>3</sup> [www.gm.com/experience/technology/news/2009/coolheat\\_102709.jsp](http://www.gm.com/experience/technology/news/2009/coolheat_102709.jsp)

<sup>4</sup> [www.fox-sportauspuff.de](http://www.fox-sportauspuff.de)

<sup>5</sup> [www.ilkdresden.de](http://www.ilkdresden.de)

rungsfreien und geräuscharmen Betrieb der Anlage im Kfz sind jedoch zwei Kolben bei Umgebungstemperatur vorgesehen.

Das Konstruktionsprinzip der FOX / ILK-Wärme­kraft­ma­chine ist in Ab­bil­dung 1 dar­ge­stellt. Die Ma­chine be­steht aus dem Ex­pan­der mit dem elek­tri­schen Ge­ne­ra­tor und dem ther­mischen Kopf mit dem Wär­me­ta­us­cher für das Kühl­wasser, dem Re­ge­ne­ra­tor, einem Ab­gas­wär­me­ta­us­cher und einem Puffervolumen.

Die Wärme­kraft­ma­chine ar­bei­tet nach dem Zwei-Takt-Prinzip. Wäh­rend der Kom­pres­sions­pha­se be­we­gt sich der Kolben nach rechts, das Ar­beits­gas wird da­bei ver­dichtet, die Kom­pres­sions­wär­me wird im Vor­küh­ler an die Um­ge­bung ab­ge­führt, an­schlie­ßend das Gas im Re­ge­ne­ra­tor wie­der er­wärmt. Un­ter wei­te­rer Ver­dich­tung strömt das Gas in den Puffer. Weil es be­reits im Re­ge­ne­ra­tor er­wärmt wurde, wird im Ab­gas­wär­me­ta­us­cher zu­nächst nur wenig Wärme auf­ge­nom­men. Wäh­rend der Ex­pan­sions­pha­se be­we­gt sich der Kolben zu­rück, das Gas kühlt sich da­durch ab und kann nun Wärme im Ab­gas­wär­me­ta­us­cher auf­neh­men. Da­durch sinkt der Druck zu­nächst nicht und es wird Arbeit ver­rich­tet die in Strom um­ge­wandelt wird. Mit einem Teil der im Ab­gas­ta­us­cher auf­ge­nom­menen Wärme wird an­schlie­ßend der Re­ge­ne­ra­tor wie­der auf­ge­heizt und der Zyklus kann von vorn be­gin­nen.

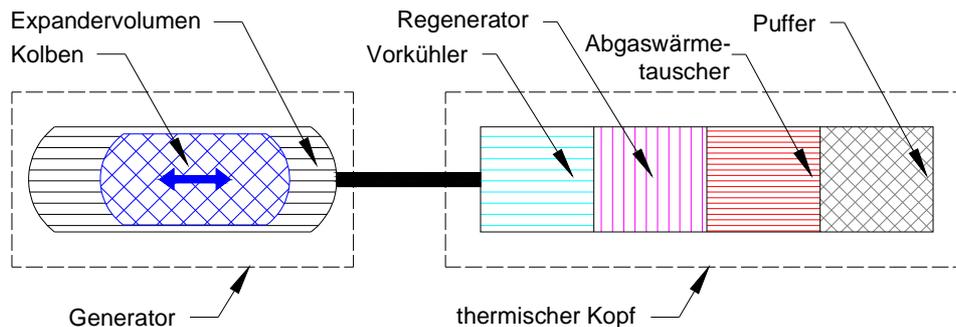


Abbildung 1: Konstruktionsprinzip der FOX / ILK-Wärme­kraft­ma­chine

Die Wärme­kraft­ma­chine wandelt eine Wärme­lei­stung aus dem Ab­gas, mit einem Wirkungs­grad von min­de­stens 12 %, in elek­tri­sche Lei­stung um (beim der­zeitigen Pro­to­typ wird aus einer Wärme­lei­stung von 32 kW aus dem Ab­gas eine elek­tri­sche Lei­stung von 4 kW ge­won­nen).

Das pa­ten­tierte Sys­tem bie­tet fol­gende Vor­tei­le: Ein hoher Wirkungs­grad vor allem bei hohen Ab­gas­tem­pe­ra­turen sowie einen wartungs­frei­en und lage­un­ab­hän­gi­gen Be­trieb. Ab­bil­dung 2 zeigt sche­ma­tisch wie das Sys­tem in den Ab­gas­strang in­te­griert wer­den kann. Diese Ent­wick­lung wird von der Säch­si­schen Auf­bau­bank ge­för­dert.<sup>6</sup>

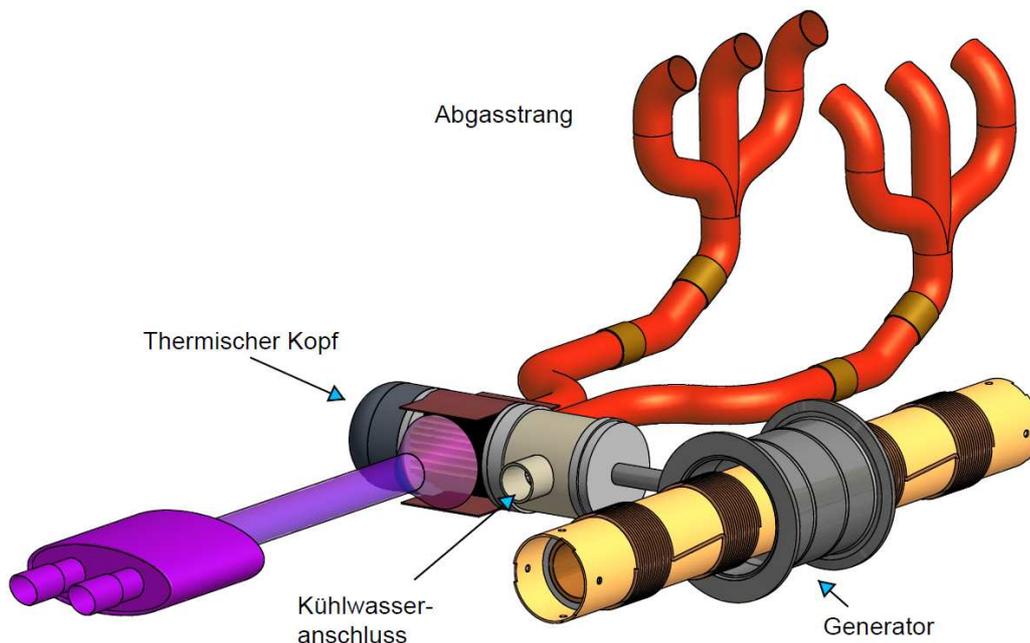


Abbildung 2: Integration der FOX / ILK Wärme­kraft­ma­chine in den Ab­gas­strang

Für die nicht zu vernachlässigende Menge an mit Ab­gas­tur­bo­ladern ver­se­henen Otto- und Dieselmotoren mit Ab­gas­tem­pe­ra­turen zwi­schen 200 und 500°C ar­bei­ten FOX / ILK der­zeit an der Neu­ent­wick­lung einer Stirlingartigen Wärme­kraft­ma­chine mit an­de­rem Ar­beits­mit­tel.

<sup>6</sup> <http://www.sab.sachsen.de>