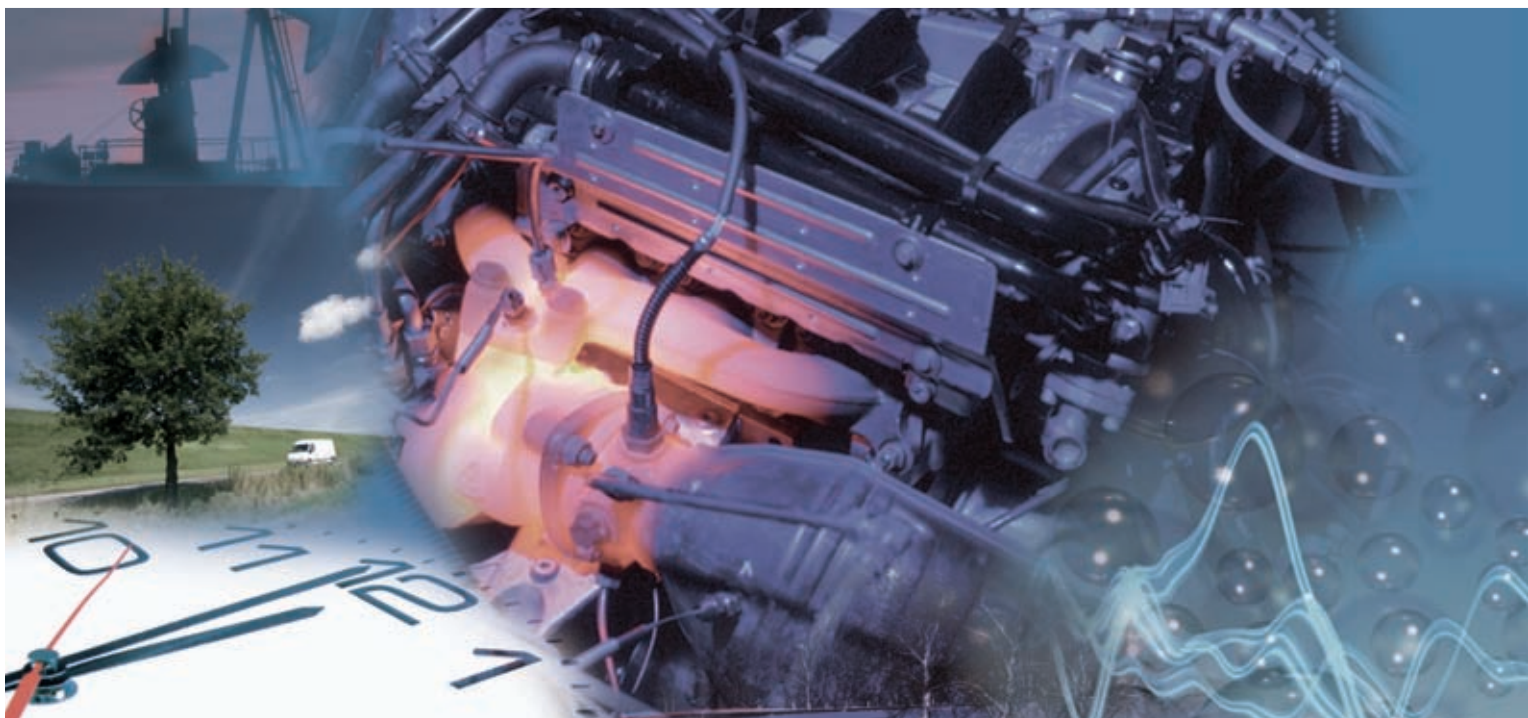
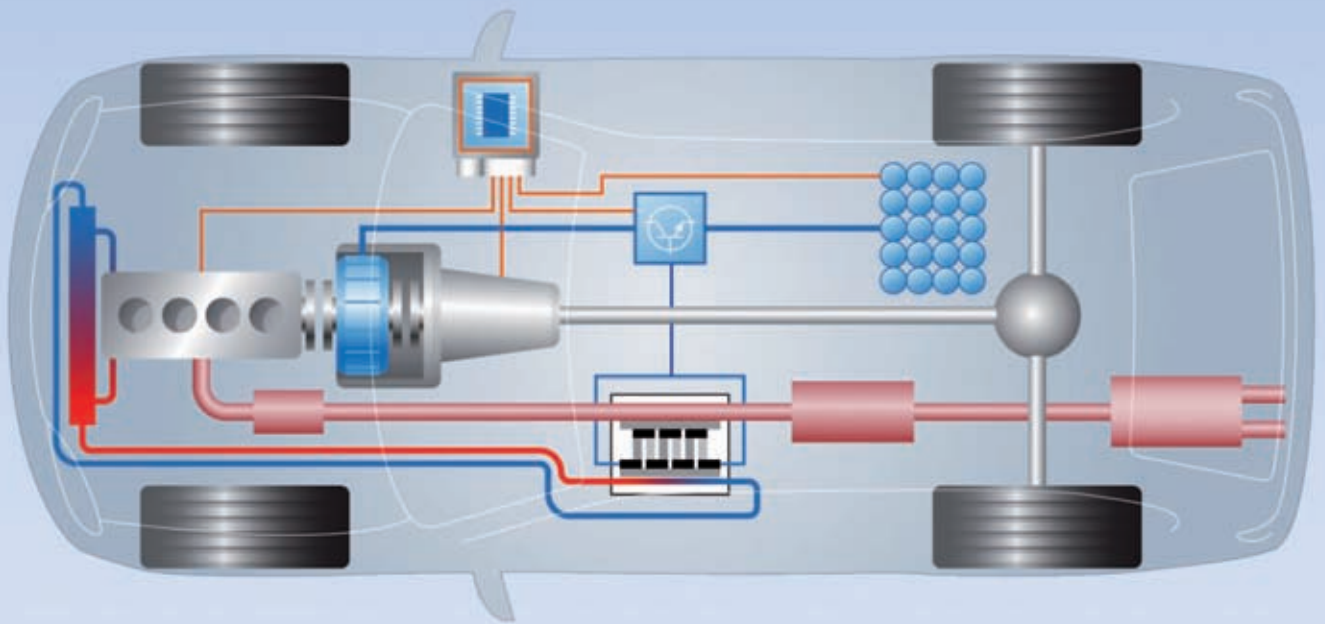


Thermoelektrik in Bewegung

Strom aus Abwärme - Eine Chance für die Automobilindustrie





Auch Hybridfahrzeuge werden durch thermoelektrische Generatoren noch effizienter

Immer effizientere Fahrzeugantriebe entwickeln

Schon kurz nach ihrer Gründung machte die IAV Furore, weil sie an der Entwicklung des „Öko-Polo“ und eines Dreiliter-Autos beteiligt war. Seitdem arbeitet das Unternehmen an immer effektiveren Fahrzeugen - zum Beispiel durch die Entwicklung und Verbesserung thermoelektrischer Generatoren.

Seit über 25 Jahren entwickeln die Ingenieure des Berliner Engineering-Partners IAV Innovationen für die Automobilindustrie. Mehr als 3000 Mitarbeiter arbeiten intensiv an der nachhaltigen Mobilität der Zukunft: Hybridantriebe, Elektrofahrzeuge, neue Brennverfahren und intelligente Assistenzsysteme gehören zu den wichtigsten Arbeitsgebieten der vier IAV-Entwicklungszentren in Deutschland (Berlin, Gifhorn, Chemnitz) und den USA (Northville). Alle bedeutenden Automobilhersteller und Zulieferer der Welt sind Kunden des Unternehmens, das sich durch Eigenentwicklungen und Forschungsprojekte einen großen Wissensvorsprung auf den Zukunftsfeldern der Automobilentwicklung erarbeitet hat.

Die IAV verfügt über Kompetenzen für das gesamte Fahrzeug: Ihre Mitarbeiter sind Experten auf den Gebieten Antrieb, Elektrik und Elektronik sowie Fahrzeugentwicklung und können die Automobilhersteller bei der Entwicklung neuer Technologien unterstützen - von der Idee bis zur Serienreife. Die IAV beherrscht die Vernetzung aller Gewerke und kennt ihre Wirkung im Gesamtfahrzeug. Dieses Wissen ist insbesondere für die Entwicklung innovativer Ansätze von entscheidender Bedeutung - gilt es doch, völlig neue Komponenten fit für das Fahrzeug zu machen.

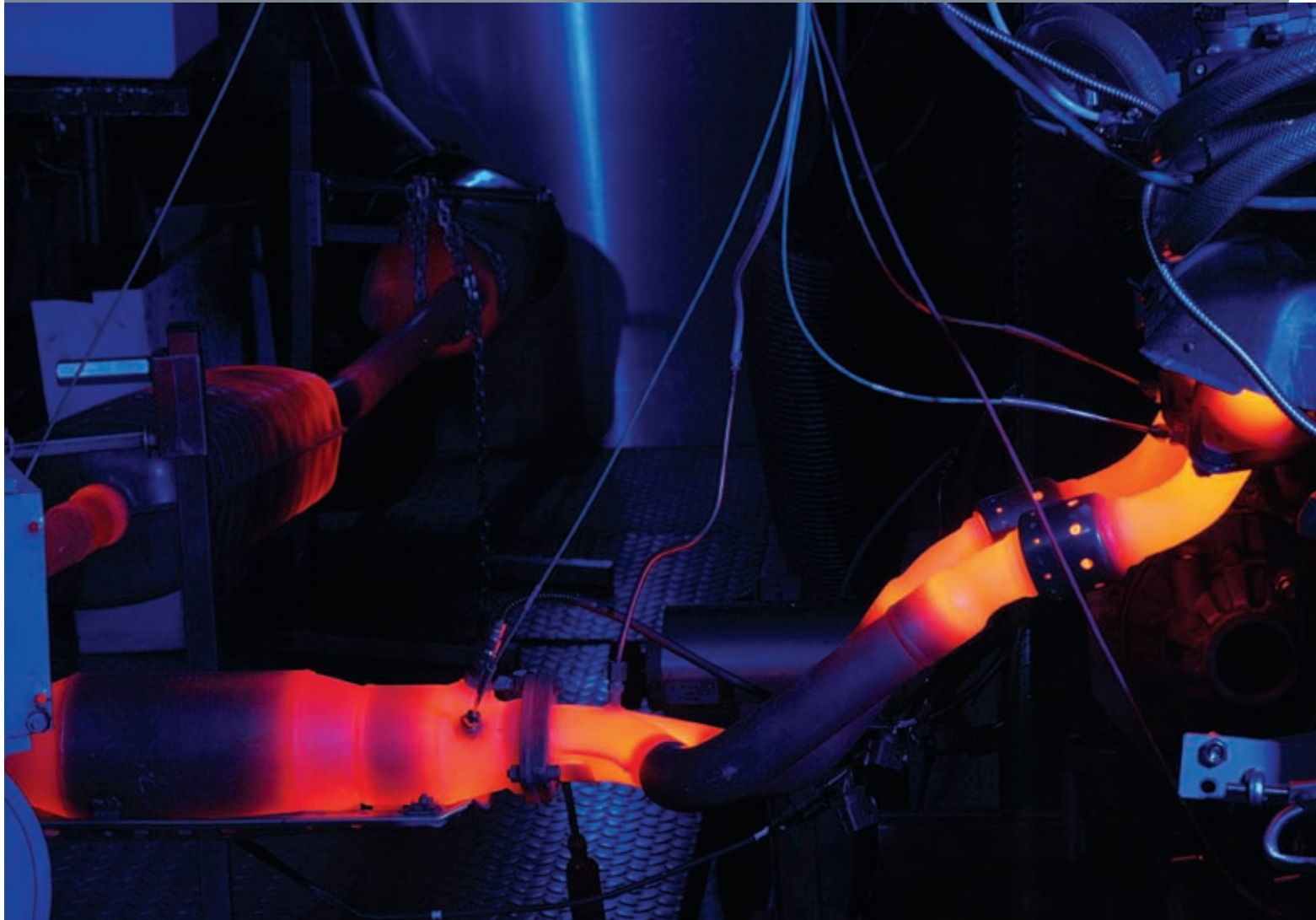
Das dominierende Thema der Automobilentwicklung ist im Moment die Reduzierung der CO₂-Emissionen, um dem Klimawandel zu begegnen. Bei der IAV standen Innovationen für mehr Umweltschutz aber schon immer im Mittelpunkt: Das Unternehmen war bereits 1986 an der Entwicklung des „Öko-Polo“ (Verbrauch: 1,7 Liter auf 100 Kilometern) und des Dreiliter-Autos Lupo 3 I-TDI beteiligt. Die Thermoelektrik passt perfekt in diese Tradition: Seit Jahren arbeitet die IAV daran, ungenutzte Wärmeenergie aus dem Abgasstrom zu gewinnen, um so den Kraftstoffverbrauch und die CO₂-Emissionen zu reduzieren.

Ihr Kontakt für Thermoelektrik bei der IAV:

Daniel Jänsch
+49 30 39978-9633
thermoelektrik@iav.de



Der Öko-Polo - nur 1,7 l/100km



Im Fahrzeug entsteht thermische Energie im Überfluss - so wie hier in der Abgasanlage



Riesige ungenutzte Energiemengen erschließen

Die fossilen Energieträger werden knapp, zugleich steigt die Nachfrage nach Mobilität in manchen Weltregionen dramatisch an. Nachhaltiges Wirtschaften ist nur möglich, wenn wir effizienter mit Energie umgehen. Die Thermoelektrik wird dazu einen Beitrag leisten - im Auto und darüber hinaus.

Der Klimawandel und die langfristig steigenden Preise für fossile Energieträger stellen die Automobilindustrie vor eine große Herausforderung: Sie muss das Bedürfnis nach individueller Mobilität befriedigen, zugleich aber auch den Wunsch ihrer Kunden nach Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit, Sicherheit, Komfort, Fahrleistung und -spaß erfüllen. Zudem verschärfen die Staaten ihre Emissionsgrenzen für den Ausstoß von Kohlendioxid und Schadstoffen.

Hinzu kommt, dass der Fahrzeugbestand in den Schwellenländern - etwa in Indien und China - in den kommenden Jahrzehnten deutlich ansteigen dürfte. Das kann dazu führen, dass das Öl knapp wird: Nach Berechnungen der Internationalen Energieagentur IEA wird die Nachfrage bis zum Jahr 2030 um 45 Prozent auf 106 Millionen Barrel pro Tag steigen (im Vergleich zu 2006). Viele Experten bezweifeln, dass so viel Öl gefördert werden kann.

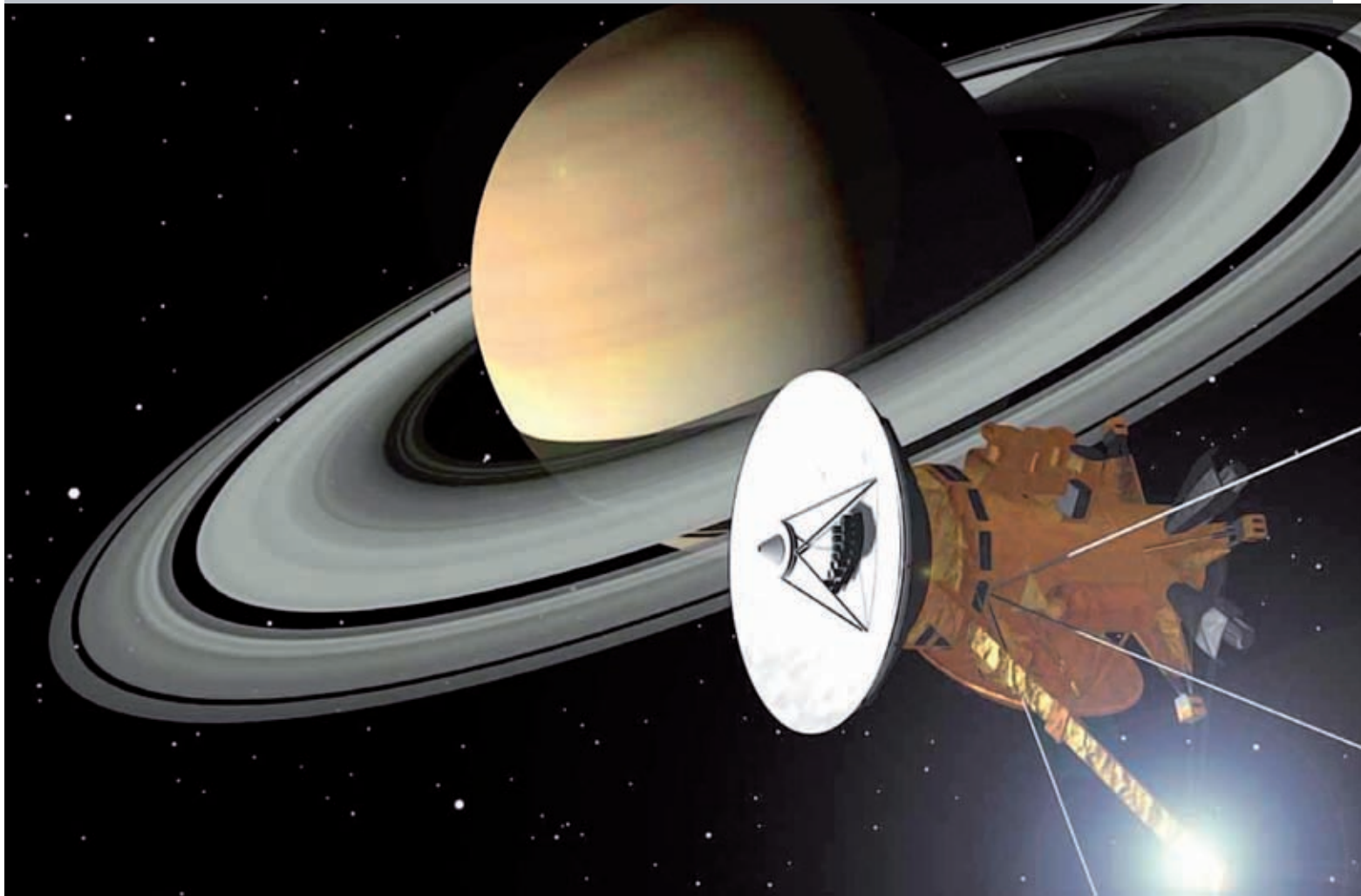
Die Automobilindustrie muss auf diese Entwicklungen eine Antwort finden. Neben der Entwicklung neuer Technologien wie den Elektro- und Hybridantrieben gehört dazu auch mehr Effizienz bei konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Das ist aber nur möglich, wenn alle Komponenten auf den Prüfstand gestellt und weiter optimiert werden.

Rund ein Drittel der Energie im Kraftstoff wird heute über das Abgas ungenutzt als Wärme an die Umwelt abgegeben, ein weiteres Drittel erhitzt das Kühlsystem - von drei Litern Benzin oder Diesel „nutzt“ der Motor zwei Liter, um die Atmosphäre aufzuheizen. Thermoelektrische Generatoren können einen Teil davon in elektrische Energie umwandeln und so die Energieeffizienz künftiger Automobilgenerationen signifikant verbessern.

Und nicht nur das: Alleine die herstellende Industrie der USA produziert jedes Jahr 600 Terawattstunden Abwärme, die genutzt werden könnten. Kein Zweifel: Thermoelektrische Generatoren werden einen wichtigen Beitrag für die nachhaltige Energieversorgung der Menschheit leisten.



Aufwändige Kühlung bei zu viel Abwärme



Cassini-Huygens-Sonde - die Thermoelektrik hat sich in der Raumfahrt seit Jahrzehnten bewährt



Kostenlosen Strom aus Abwärme erzeugen

Seit Jahrzehnten beziehen Raumsonden weit entfernt von der Sonne ihre Energie von thermoelektrischen Generatoren. Das Prinzip macht auch auf der Erde Sinn - vorausgesetzt, der Wirkungsgrad der Energiewandler kann weiter gesteigert werden.

Der Physiker Thomas Johann Seebeck entdeckte 1821 den thermoelektrischen Effekt („Seebeck-Effekt“): Zwischen zwei Punkten eines elektrischen Leiters entsteht eine Spannung, wenn sie eine unterschiedliche Temperatur aufweisen - die Ladungsträger wandern von der warmen zur kalten Seite („Thermoeffusion“). Die Spannung ist proportional zur Temperaturdifferenz und hängt vom Material ab, seinem „Seebeck-Koeffizienten“.

Und es geht auch andersherum: 1834 fand der Physiker Jean Peltier heraus, dass ein elektrischer Strom einen Wärmetransport bewirken kann. „Peltier-Elemente“ können Wärmedifferenzen erzeugen und so zum Beispiel zum Kühlen elektronischer Bauteile oder für Kühlschränke ohne Kompressor eingesetzt werden.

In thermoelektrischen Generatoren (TEG) verrichten heute meist zwei p- und n-dotierte Halbleiter mit verschiedenen Seebeck-Koeffizienten ihren Dienst. Sie sind abwechselnd in Reihe geschaltet um die gewünschte Spannung zu erreichen. Es gibt unterschiedliche Baugrößen für Leistungen von einigen Milliwatt bis zu mehreren Dutzend Watt. Eine neue Entwicklung sind thermoelektrische Folien.

Gute thermoelektrische Materialien müssen einen hohen Seebeck-Koeffizienten, eine gute elektrische und eine geringe thermische Leitfähigkeit aufweisen. Sie lassen sich durch die Kennzahl ZT charakterisieren - je höher ZT ist, desto effektiver sind sie.

Heute verwendet man für kommerzielle Thermoelektrika vor allem Verbindungshalbleiter (Bi_2Te_3), die bei Raumtemperatur gut arbeiten. Für mittlere Temperaturen von 200 bis 600 Grad Celsius wird zum Beispiel PbTe eingesetzt, und Legierungen aus Silizium und Germanium sind besonders für hohe Temperaturen geeignet. In der Forschung werden heute elf Gruppen von Materialien mit den unterschiedlichsten Eigenschaften untersucht.

Bislang werden TEGs nur für Nischenanwendungen genutzt, bei denen der Preis (Raumfahrt) oder die Qualität (z. B. Campingprodukte) keine Rolle spielen. Kommerzielle Produkte haben einen ZT-Wert von bestenfalls 0,9. Theoretisch lassen sich Werte von 4 bis 8 erreichen - die besten existierenden Materialien kommen auf 1,5, und mithilfe von Nano-Strukturen wären ZT-Werte von mehr als 2,5 in Reichweite. Für den Einsatz im Auto wird ein ZT-Wert von 1,5 bis 2 ausreichen.



Thermoelektrische Generatoren sparen vor allem im quasistationären Betrieb viel Kraftstoff, z. B. bei Reisebussen

Fünf bis zehn Prozent Kraftstoff einsparen

Die Thermoelektrik ist wie geschaffen für Anwendungen in Fahrzeugen: Einerseits entsteht dort unweigerlich viel Wärme, andererseits benötigen sie immer mehr Strom - der kostenlos mit thermoelektrischen Generatoren produziert werden kann. Das geniale Prinzip der Natur hat das Potenzial, den Kraftstoffverbrauch um fünf bis zehn Prozent zu verringern.

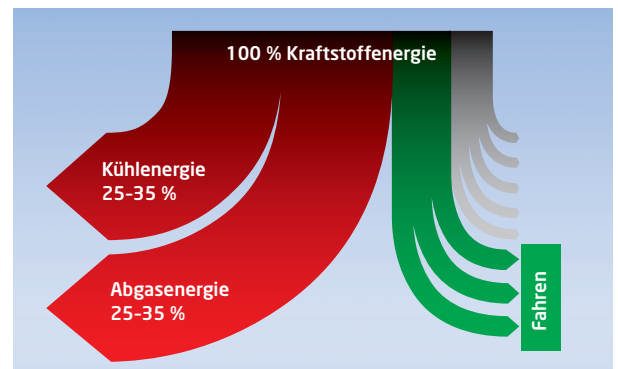
Verbrennungsmotoren nutzen trotz aller Fortschritte prinzipbedingt nur einen kleinen Teil der Kraftstoffenergie für die Fortbewegung. Weit mehr als die Hälfte geht als Wärme verloren - der größte Teil über das Abgas, gefolgt vom Kühlwasser. Bisher wird diese Wärme kaum genutzt: Ein Teil wird während der Warmlaufphase an die Antriebskomponenten und die Abgasnachbehandlung übertragen, zudem werden die Heizung und eventuell vorhandene Komponenten für die Aufladung versorgt.

Weil die Zahl der elektrischen Systeme im Fahrzeug zunimmt, steigt auch der Bedarf an elektrischer Energie, etwa für Komfort- und Sicherheitssysteme. Bisher kommt der Strom den Fahrer teuer zu stehen: Er wird mit geringem Wirkungsgrad aus dem Kraftstoff erzeugt und kostet ein Vielfaches der Elektrizität im Haushalt - je nach Fahrzeug macht die Stromerzeugung mehr als zehn Prozent des Kraftstoffverbrauchs aus.

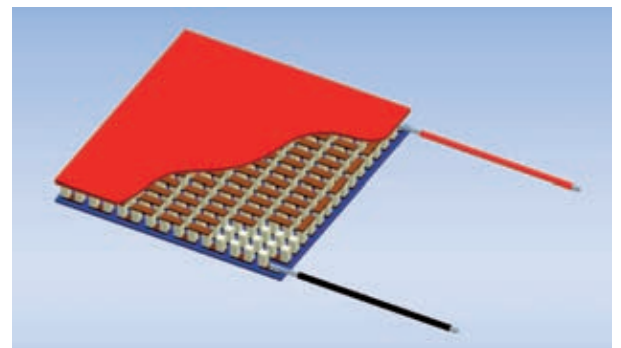
Mit Hilfe thermoelektrischer Generatoren (TEG) kann zumindest ein Teil dieser Energie für das Bordnetz kostenlos aus der Abwärme erzeugt werden. Zudem können die TEGs auch autarke Sensoren, Aktuatoren und Fahrzeugsysteme versorgen.

Noch gibt es in Serien-Fahrzeugen aber keine TEGs. Bisher verhinderten der zu geringe Wirkungsgrad und die relativ hohen Kosten ihren Einsatz. Die Automobilhersteller brauchen Module, die nicht nur effektiv arbeiten, sondern auch günstig, ungiftig, einfach zu produzieren sowie gut zu recyceln sind.

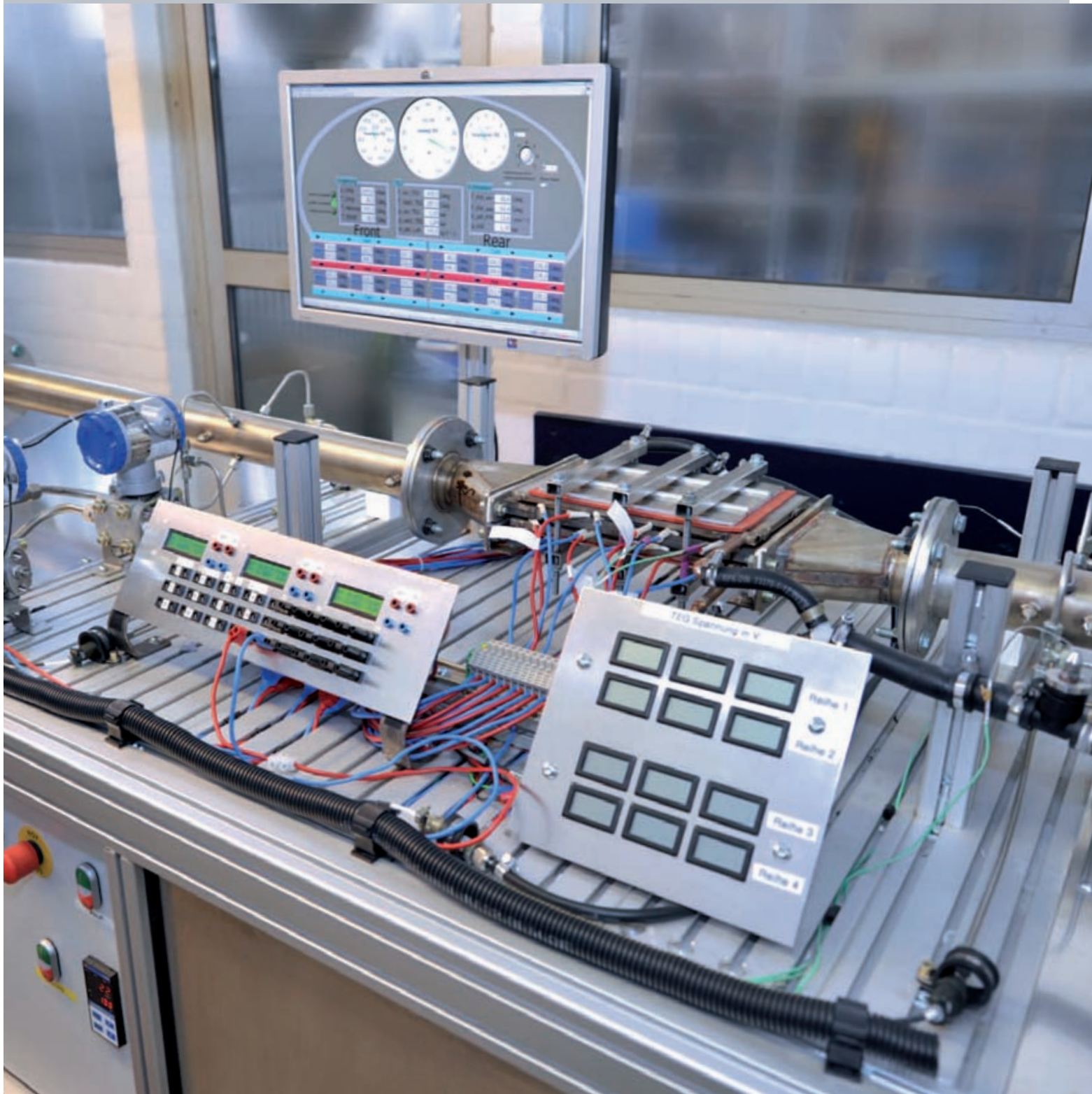
In den letzten Jahren ist das Interesse an TEGs gestiegen - auch deshalb, weil sie dazu beitragen können, den CO₂-Ausstoß zu reduzieren. Zudem werden effizientere thermoelektrische Materialien entwickelt. Experten schätzen, dass TEGs den Kraftstoffverbrauch um fünf bis zehn Prozent verringern können. Alleine die 50 Millionen Kraftfahrzeuge in Deutschland könnten mit TEGs pro Jahr zehn Terawattstunden Energie einsparen.



Verbrennungsmotoren erzeugen mehr Wärme als mechanische Energie



Aufbau eines aktuellen thermoelektrischen Generators



Heißluftprüfstand der IAV für TEG-Systeme in der Abgasanlage

Thermoelektrische Generatoren in Fahrzeuge von morgen integrieren

Die IAV ist in allen Bereichen der Automobilentwicklung aktiv. Davon profitieren auch die Aktivitäten im Bereich Thermoelektrik. Denn nur wer das gesamte Fahrzeug versteht, kann ihr Potenzial voll ausschöpfen und Konflikte mit anderen Komponenten vermeiden.

Es ist eine enorme Herausforderung, thermoelektrische Generatoren (TEG) zu entwickeln und in Serie zu bringen. Aber die Anstrengungen lohnen sich, denn die Fahrzeuge von morgen müssen effizienter und umweltverträglicher werden. Auch wenn die Technologie genial einfach und weniger komplex ist als andere Verfahren zur Abwärmewandlung – drei Herausforderungen müssen gemeistert werden, damit TEGs in künftigen Fahrzeuggenerationen eingesetzt werden können.

Die erste betrifft das thermoelektrische Material (Thermoelektrika) selbst: Forscher müssen Materialien entwickeln und produzieren, die auf die Anforderungen und Betriebsbedingungen im Fahrzeug optimal abgestimmt sind – im Vordergrund stehen dabei Wirtschaftlichkeit und Effizienz. Ein hoher ZT-Wert – idealerweise deutlich größer als 1 im relevanten Temperaturbereich – sowie Langzeitstabilität bei maximalen Abgastemperaturen sind Grundvoraussetzungen. Daneben müssen die Materialien auch gut verfügbar, ungiftig und nicht umweltschädlich sein. Und schließlich kommt es darauf an, dass sie einfach herzustellen, zu verarbeiten und zu recyceln sind.

Mit den beiden anderen, kaum weniger anspruchsvollen Herausforderungen beschäftigt sich die IAV: die Integration der Thermoelektrika in Thermogeneratoren und die Integration der Thermogeneratoren in Fahrzeuge.

IAV-Experten suchen nach Lösungen und Konzepten, die die Abwärme effektiv und ohne störende Rückwirkungen aufnehmen und den Wärmestrom ohne thermische Leckagen optimal über das thermoelektrische Material führen. Für die Betriebssicherheit und minimale elektrische Verluste müssen die Schenkel- und Anschlusskontaktierungen optimiert werden.

Hinzu kommen die hohen thermischen, thermomechanischen und mechanischen Belastungen in Abgasanlagen. Moderne Lösungsansätze führen heute weg von der konventionellen TEG-Aufbautechnologie hin zu einfachen, robusten und wirtschaftlichen Konzepten.

Die dritte Herausforderung ist die Integration des Thermogenerators ins Fahrzeug. Hier sind Lösungen für die geometrische, mechanische, elektrische und funktionale Integration gefragt, die nicht nur wirtschaftlich

sein müssen, sondern auch die Besonderheiten des Fahrzeugs und seines Einsatzes berücksichtigen. Hier werden zur Zeit beispielsweise Fragen aus den Bereichen Einbauort und Integration in vorhandene Abgaskomponenten, Abgasmanagement (Bypass), Rückkühlung sowie Aufbereitung und Verwendung der elektrischen Energie bearbeitet.

Dabei muss ein besonderes Augenmerk auf die Interaktion mit den Abgasnachbehandlungssystemen, die optimale Einbindung ins Kühlsystem und auf andere Aspekte wie Herstellbarkeit, Montagemöglichkeiten und Systemkosten gelegt werden. Die IAV ist in der Lage, alle Schritte der Serienentwicklung abzudecken – vom Konzept über die Modulentwicklung, die Integration bis hin zum Produktionsablauf.

Seit drei Jahren beschäftigt sich die IAV intensiv mit dem Thema Thermoelektrik. Dabei profitieren die Entwickler von mehr als 25 Jahren Erfahrung aus den verschiedensten Bereichen der Automobilentwicklung – denn die Integration thermoelektrischer Generatoren ist nur dann sinnvoll möglich, wenn ihre Auswirkungen auf das gesamte Fahrzeug betrachtet werden.

Für die komplexen Herausforderungen bei der Integration von TEGs in Fahrzeuge hat die IAV viel Know-how aufgebaut.

Entwicklungswerkzeuge wie Simulationssysteme und umfangreiche Testeinrichtungen zur Untersuchung von Komponenten, dem Antriebsstrang und dem Gesamtfahrzeug im Betrieb stehen zur Verfügung. Im „Thermoelektrik-Labor“ können die Experten der IAV wichtige Parameter der Komponenten vermessen und TEGs unter Bedingungen testen, die denen im Abgasstrang entsprechen. Und schließlich hat die IAV ein Experimentalfahrzeug ausgerüstet, in das verschiedene TEGs eingebaut und im realen Betrieb vermessen werden können.



Das Experimentalfahrzeug der IAV für Tests von TEG-Systemen unter realen Bedingungen im Straßenverkehr

