

# Kraft-Wärme-Kopplung einmal anders

## Anwendung im motorisierten Individualverkehr

Nachdem der Autor mit einem ersten Artikel im HeizungsJournal die Heiztechnikentwicklung bereits einmal positiv beeinflussen konnte [1, 2, 3], hofft er nun, eine Anregung zur Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung im Verkehr geben zu können – mit „Solaranlagen im Kofferraum“.

Die Kraft-Wärme-Kopplung mit Mini- und Mikro-Blockheizkraftwerken ist in aller Munde. Praktisch jeder Heiztechnikhersteller und unzählige Newcomer drängen mit Neuentwicklungen meist

ungenügend getesteter und damit leider unausgereifter Modelle auf den Markt. Waren noch vor wenigen Jahren die elektrischen und thermischen Leistungen der verfügbaren Ma-

schinen zu groß und vor allem ihr Preis zu hoch, ist es nun erklärtes Ziel, das Einfamilienhaus mit dieser neuen Form der Heiztechnik zu erobern. Dabei wird dem Kunden meist unzurei-

chend kommuniziert, dass der Brennstoffverbrauch anschließend zumindest um den Teil der elektrischen Arbeit höher ausfallen wird als vorher. Es ist nur zu ersichtlich, wer von dieser Entwicklung gegen Solaranlage plus Brennwertkessel, Pelletkessel beziehungsweise Wärmepumpe besonders profitieren wird – nicht unsere Umwelt.

Die CO<sub>2</sub>-Bilanz der „Zuhause-Kraftwerke“ verschlechtert sich im Vergleich zu regenerativen Lösungen weiter, wenn anstelle eines monovalenten Mini-BHKW eine bivalente Lösung mit Mikro-BHKW und zusätzlichem Brennwertkessel installiert wird oder der elektrische Wirkungsgrad gering ist.

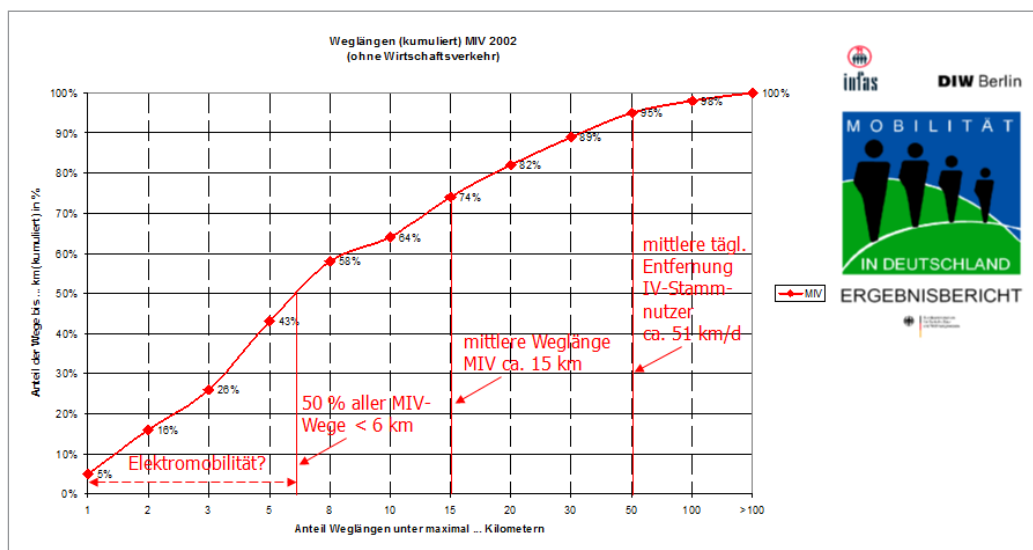


Abb. 1 · Studie „Mobilität in Deutschland 2002“: Kumulierte Weglängen des motorisierten Individualverkehrs (MIV). (Abbildungen: Frank Triesch)

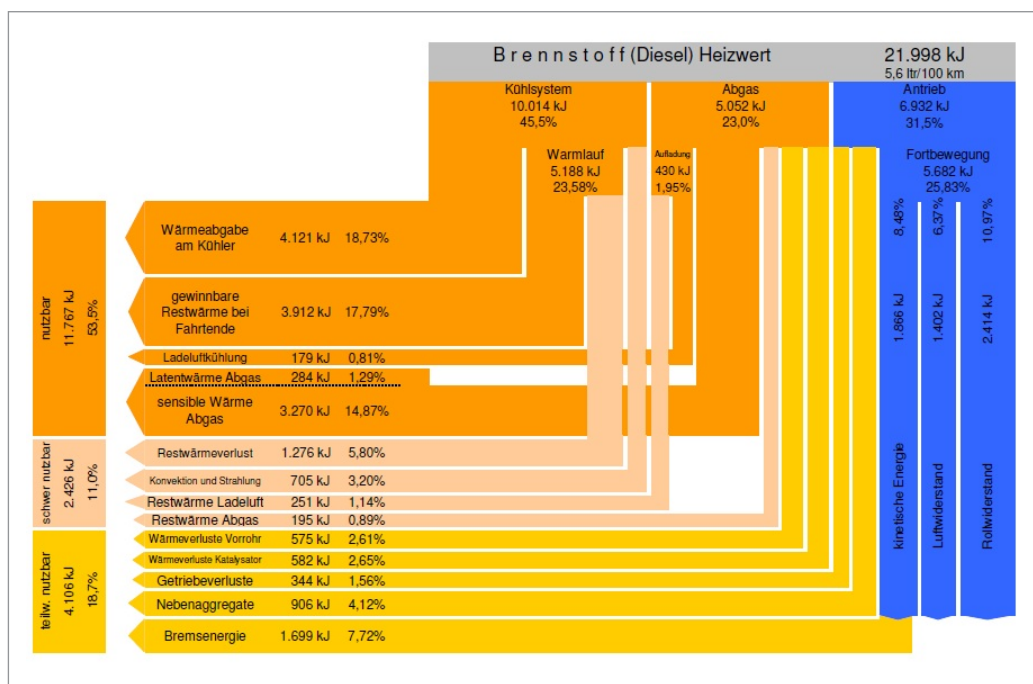


Abb. 2 · Ohne KWK: Energiefluss eines VW Golf TDI 1.9 mit einer Leistung von 66 Kilowatt und einem Verbrauch von 5,6 Liter / 100 km.

### Kraft-Wärme-Kopplung im Verkehr

Dabei existieren noch immer viele ungenutzte, energetische Ressourcen, die auch preiswerter zu erschließen sind. Hier soll von einer uns Deutschen sehr nahe liegenden die Rede sein – der (Ab)wärme des motorisierten Individualverkehrs (MIV). Mit PKW, Motorrad und Co. werden täglich von etwa 86 Prozent aller Bürger mehr als 2,3 Mrd. Personenkilometer zurückgelegt [4], Tendenz steigend (Abb. 1).

Ein Großteil des Treibstoffs (2008 wurden insgesamt etwa 44 Mrd. Liter verbraucht) wird in einem Verbrennungsmotor in Form von Wärme frei und bleibt bisher, außer für die oft dürftige Fahrzeugheizung, völlig ungenutzt. So werden selbst in einem sparsamen Diesel-Direkteinspritzer mehr als 45 Prozent der Energie allein über das Kühlsystem abgeführt (Abb. 2).

Dabei genügt diese Wärme meist nicht, das Fahrzeug stets ausreichend zu beheizen [5], weil bis heute Wärmedämmung, Doppelglasscheiben und (Ab-)wärmernutzung aus der Abluft der Kabine in der Fahrzeugin-

dustrie praktisch völlig unbekannt sind.

Stattdessen werden sparsame Fahrzeuge zunehmend wie selbstverständlich mit Brennstoff- und elektrischen Zuheizern ausgerüstet [6] – was natürlich im Winter den Verbrauch wieder erhöht.

### Nachrüstung zum wahrscheinlich ersten Kraft-Wärme-Fahrzeug

Die Idee der Nutzung der Motor(ab)wärme ist nicht neu. Sie wurde nun in einem Referenzfahrzeug wahrscheinlich erstmals umgesetzt. Dazu wurde in einen, für diesen Umbau geradezu prädestinierten Mercedes W124, Baujahr 1990, ein 51 Liter großer Wärmespeicher in die Reserveradmulde des Kofferraums fest eingebaut. Er ist mit dem Kühlsystem im Motorraum über eine vorisolierte Solaranschlussleitung direkt verbunden und mit der Fahrzeugkühlflüssigkeit gefüllt. Wegen des bedeutend erweiterten Flüssigkeitsinhalts ist ein zusätzliches, frostschutzmittelbeständiges MAG in das System einbezogen. Der Eingriff in das Kühlsystem bedingte keinerlei Änderungen an der Motorsteuerung. Es wurde auch keine zusätzliche Umwälzpumpe erforderlich. Zur Wärmedämmung ist der Freiraum zwischen dem runden Wärmespeicher und der eher eckigen Reserveradmulde vollständig mit Schafwolle ausgestopft. Als obere Abdeckung dient zusätzlich eine acht Zentimeter dicke Schaumgummimatte, die bei Mitnahme von Gepäck ihre Höhe automatisch reduziert (Abb. 3).

Die Nachrüstung führte zu einer Zusatzmasse von etwa 90 kg – deutlich weniger, als beispielsweise die eines Hybridmoduls eines modernen Parallelhybridfahrzeugs mit 130 kg [7].

Der Umbau schränkt die Nutzbarkeit des Fahrzeugs weder optisch, noch technisch oder anderweitig ein. Dies bestätigte unter anderem eine autorisierte Abnahmeorganisation für eine

amtliche Eintragung des Wärmespeichers in die Fahrzeugpapiere.

### Wärmeverbund

Über hermetische Schnellverschlusskupplungen, die unter dem großzügig gestalteten Tankdeckel Platz fanden, und flexible, isolierte Vorlauf-/Rücklaufleitungen wird der Fahrzeugwärmespeicher entladen. Dazu wird das Kühlmittel aus dem Fahrzeug entnommen, ähnlich einer Solaranlage über eine Wärmeübergabestation abgekühlt und wieder in den Wärmespeicher zurückgeleitet (Abb. 4). Auch hier ist auf eine gute Entlüftung des Systems und möglichst niedrige Rücklauftemperaturen zu achten. Für eine maximale Nutzung des Wärmeinhalts des Speichers sind Flächenheizsysteme und die Trinkwarmwasserbereitung im Durchflussprinzip besonders geeignet.

Auch die Kosten einer Nachrüstung lassen sich mit denen einer Solaranlage vergleichen. Je günstiger die Voraussetzungen, das heißt, je mehr Komponenten für die alternative Wärmenutzung vor Ort bereits vorhanden sind, je geringer die Entfernung zwischen dem Fahrzeugstellplatz und dem Ort der Einbindung in das vorhandene Heizsystem ist, und je mehr das Fahrzeug für die Umrüstung als „vorbereitet“ gilt, desto niedriger fallen die Kosten für die „Solaranlage im Kofferraum“ aus – und desto wahrscheinlicher ist ihre Umsetzung.



Abb. 4 - Über isolierte Vorlauf-/Rücklaufleitungen und eine Wärmeübergabestation wird der Wärmespeicher entladen.



Abb. 3 - Einbau des Wärmespeichers in die Reserveradmulde eines Mercedes W124, Baujahr 1990.

### Erfahrungen

Während der Fahrt wird zunächst der Motor über ein zusätzliches Thermostatventil bis auf ca. 75°C erwärmt. Erst nach Erreichen dieser Betriebstemperatur wird der Wärmespeicher beladen. Im Betrieb werden Spreizungen zwischen fünf und 13 Kelvin gemessen. Mit Erreichen der Öffnungstemperatur des serienmäßigen Thermostats bei 87°C geht der Fahrzeugkühler parallel in Betrieb. Die maximal während der Fahrt gemessene Speichertemperatur betrug 94°C. Da der Wärmespeicher Bestandteil des Kühlsystems ist, nimmt dieser stets auch die nicht völlig konstante Kühlsystemtemperatur an. Diese beträgt nach einer Wegstrecke von etwa zwölf bis 15 Kilometer etwa 86°C.

Wegen der den beengten Einbauverhältnissen geschuldeten, mit einem Flachkollektor vergleichbaren, geringen Dämmschichtdicke ist es ratsam, das Fahrzeug nach der Ankunft an einen stationären Wärmeverbraucher anzukoppeln und die Wärme aus dem fahrzeuginternen Puffer zu entnehmen. Dann beträgt der gewinnbare Wärmeinhalt einer Speicherladung etwa vier bis fünf Kilowattstunden. Dies entspricht dem Wärmeäquivalent von etwa 100 Litern warmem Wasser (10/45°C). Bei anderen Reserverad-Abmessungen ergeben sich andere Möglichkeiten.

Der Kraftstoffverbrauch hat sich durch den Umbau nicht erhöht, da ein separater Speicherbereich für den Warmstart des Motors genutzt wird, was verbrauchsmindernd wirkt.



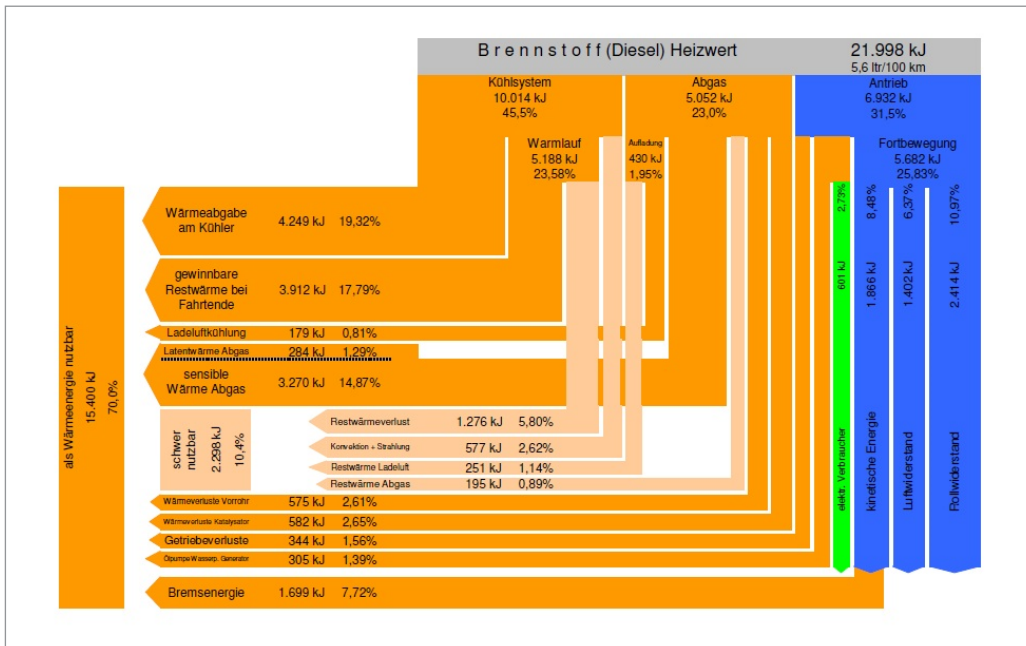


Abb. 5 · Mit KWK: Energiefluss eines VW Golf TDI 1.9 mit einer Leistung von 66 Kilowatt.

### Potential der Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung im Verkehr

Bei einer serienmäßigen Ausrüstung eines sparsamen Dieseldirekteinspritzers würden maximal etwa 70 Prozent der Brennstoffenergie in Form von Wärme in einem fahrzeuginternen Wärmespeicher eingelagert und zeitversetzt stationär nutzbar, neben der Kühlmittelwärme und der Abgaswärme, einschließlich des Brennwerteffektes, auch die Bremsenergie (Abb. 5). Die hierfür erforderliche Technik ist

als Brennwärtekessel und Wasserbremse bewährt und leicht adaptierbar.

Die Kraft-Wärme-Kopplung ermöglicht eine Reduzierung des für die Fortbewegung erforderlichen Brennstoffverbrauches von 5,6 auf etwa 1,8 Liter/100 km (MVEG-Zyklus), des Energieverbrauchs für Fortbewegung und Warmwasserbereitung um insgesamt etwa 40 Prozent, der CO<sub>2</sub>-Emissionen um bis zu 34 Prozent zum Gaskessel (Abb. 6).

Der Verbrauch eines VW Golf TDI 1,9l, 66kW mit einer Grund-

masse von 1.362 kg steigt durch Zusatzbelastung von 100 kg linear um etwa 0,25 Liter/100 km an. Der für den Transport der zusätzlichen Speichermasse entstehende Mehrverbrauch in Höhe von etwa 4,5 Prozent wird durch die Reduzierung des Mehrverbrauchs in der Startphase mittels einer anteiligen Speicherwärmemenge von 370 Wh zur Motorvorwärmung praktisch kompensiert [5].

Damit hat die Kraft-Wärme-Kopplung im Verkehr ein beachtenswertes Potential. Durch die vollständige Nutzbarmachung

der anfallenden (Ab)wärme im Betrieb des MIV bei Strecken von mehr als 6 km an 200 Tagen im Jahr können etwa 9 Prozent der gesamten, in deutschen Haushalten verbrauchten Energie substituiert werden (Abb. 7). Der öffentliche Personen- und der Frachtverkehr erweitern das bisher ungenutzte Wärmepotential noch einmal bedeutend.

### Ausblick

Die Kraft-Wärme-Kopplung im Verkehr muss keine „Einbahnstraße“ sein. So lassen sich Wärmespeicher in Elektrofahrzeugen auch aus stationären Einrichtungen beladen. Werden sie zudem im Sommer als Kältespeicher genutzt, ersetzen reversible, stationäre Wärmepumpen mit hoher Leistungszahl die im Fahrzeug eingebauten, weniger effizienten Klima- und Heizanlagen. Und wird die parallel anfallende (Ab)wärme oder (Ab-)kälte der Wärmepumpe sofort oder mit einem Erdspeicher saisonal verschoben genutzt, entsteht ein Kraft-Wärme-Kälte-Verbund mit dem entsprechenden Energiesparpotential (Abb. 8).

Die öffentlichen Tankstellen werden mit ihrer prädestinierten Lage eine neue Funktion übernehmen – die der flächendeckenden, zentralisierten Wärme-Kälte-Distribution. Mit einer

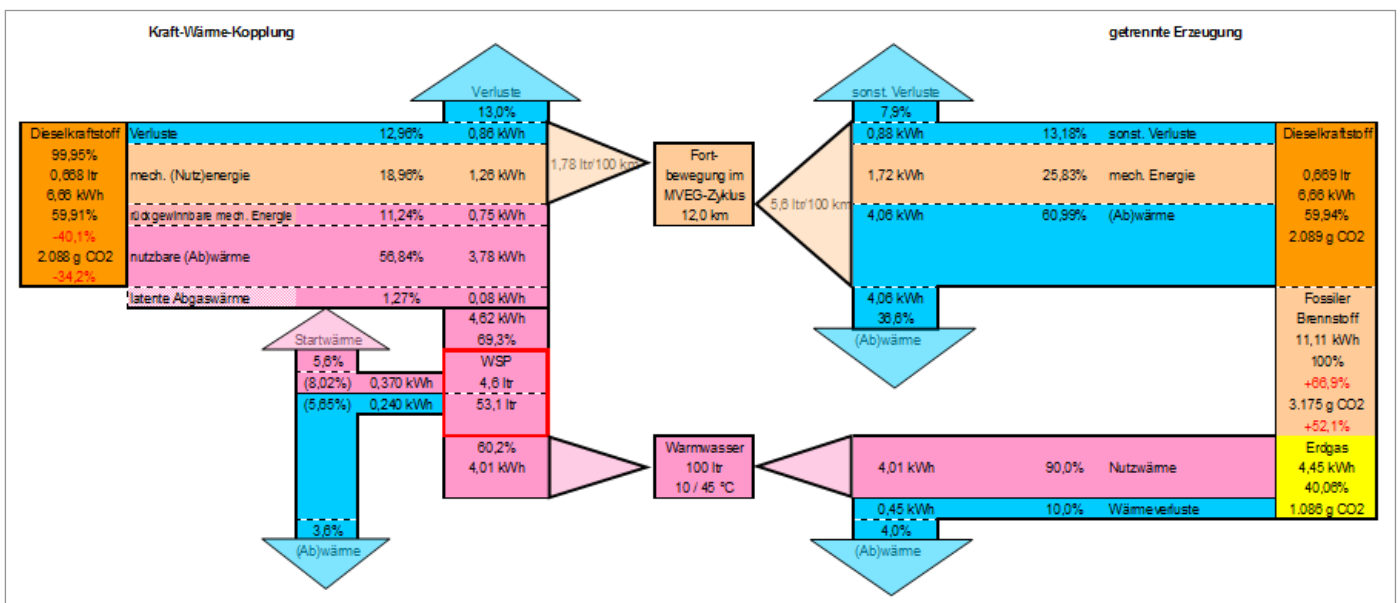
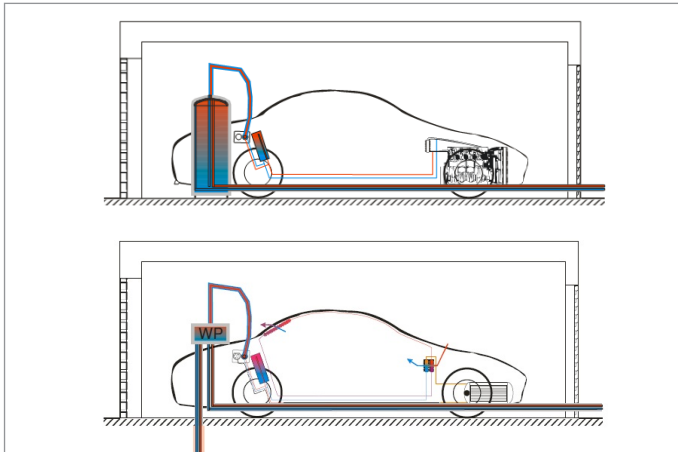


Abb. 6 · Energieflussdiagramm: Kraft-Wärme-Kopplung im Vergleich mit getrennter Energieerzeugung.



- 6 bis 100 km Wegstrecken - wirtschaftliche Kraft-Wärme-Kopplung im MIV 2002
  - 48 % der täglichen Wegstrecken nur mit MIV 2002, entspr.
  - 775.846.000 km/d
- 36 bis 40 % Energieeinsparung
- 75 bis 86 % Energienutzungsgrad
- 56 bis 68 % Senkung des Brennstoffverbrauchs für die Fortbewegung
- 277.500 MWh/d Energieeinsparung
  - 200 Tage im Jahr Nutzung
  - 55,5 Mrd. kWh/a Energieeinsparung, entspr.
    - 9 % der in Haushalten verbrauchten Energie - Energieflussbild 2007
    - 50 % der Wärme für Warmwasserbereitung - 18 kWh/m<sup>2</sup>a; ohne ZI-Verluste
    - 12,6 fache der Energieeinsparung mit Solarthermie 2007 - BEE
    - 12,3 Mio. t CO<sub>2</sub>/a Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen - (Erd)gasäquivalent

**Abb. 7 - Potential der Kraft-Wärme-Kopplung im motorisierten Individualverkehr in Deutschland.**



**Abb. 8 - Oben: Entladung des Wärmespeichers eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor über einen stationären Wärmeverbraucher. Unten: Beladung des Wärmespeichers eines Elektrofahrzeugs über eine Wärmepumpe.**

## Zum Projekt

Den Umbau realisierten wir mit einem sehr versierten Heizungs- und Kälteanlagenbaumeister aus der Region. Das erste Kraft-Wärme-Fahrzeug wird normal genutzt und dient der Sammlung von Messwerten und Erfahrungen. Die Automobil- und die Heizungsindustrie zeigen momentan noch kein Interesse an der speichergestützten Kraft-Wärme(-Kälte)-Kopplung. Da wir in Zukunft jedoch durch schwindende fossile Ressourcen und zur Begrenzung des Klimawandels gezwungen sein werden, jedes verfügbare (Ab)wärmepotential einer Nutzung zuzuführen, werden früher oder später auch die Verkehrsmittel in einen bidirektionalen Energieverbund einbezogen werden.

Für eine erfolgreiche Umsetzung wird dann eine – bisher nicht erforderlich gewesene – Kooperation der beiden antipoden Welten unumgänglich sein, der „mobilen Fahrzeugtechnik“ und der „stationären Heizungstechnik“. Wie die gelungene Umrüstung des Referenzfahrzeuges und seine Einbindung in das Heizsystem eines Einfamilienhauses zeigen, steht dem grundsätzlich nichts entgegen.

An einer solchen Ausrüstung interessierte Fahrzeugbesitzer, Fuhrparkbetreiber und Heizungsbauer können sich beim Verfasser melden. Bei größerem Interesse besteht die Möglichkeit, Bausätze für verschiedene Fahrzeugtypen zu entwickeln und an qualifizierte Umrüstunternehmen zu liefern, um auf diese Weise die flächendeckende Einführung der Kraft-Wärme-Kopplung im Verkehr zu beschleunigen.

stationären Wärmepumpe wird mit der (Ab)wärme verbrennungsmotorisch angetriebener Fahrzeuge Kälte für die Klimatisierung von Elektrofahrzeugen generiert.

Es bleibt zu hoffen, dass diese Möglichkeiten und Chancen von allen Beteiligten erkannt werden, in unser aller Interesse. ■

[Dr.-Ing. Frank Triesch]

## Literatur:

- [1] Vocks, O.; Triesch, F.: Wird die Kesselleistung bei Niedrigenergiehäusern von der Warmwasserbereitung bestimmt? Heizungsjournal 09/2003; S. 40-43
- [2] Gut integriert – Buderus präsentiert neuen Gas-Kompaktheizkessel Heizungsjournal 03/2007; S. 60
- [3] Bericht von der ISH 2007 – Viessmann; Heizungsjournal 07-08/2007; S. 26
- [4] Mobilität in Deutschland 2002; [www.mobilitaet-in-deutschland.de/03\\_kontiv2002/publikationen.htm](http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/03_kontiv2002/publikationen.htm)

- [5] Pott, E.: Energieflußmanagement zur Kraftstoffverbrauchs-, Emissions- und Heizkomfortoptimierung; ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 100 (1998) 7/8; S. 480-488
- [6] Beetz, K.; Kohle, U.; Eberspach, G.: Beheizungskonzepte für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 112 (2010) Nr. 4, S. 246-249

- [7] Elektrische Fahrentriebe – Zukunft der Mobilität; [www.infocomma.net/main/?p=17094](http://www.infocomma.net/main/?p=17094)

## KONTAKT

Thermo Integral GmbH & Co. KG  
 Ingenieurbüro  
 Gutsparkstraße 5  
 D-04328 Leipzig  
 Telefon (0341) 2522762  
 Fax (0341) 2522763  
 triesch@gmx.de  
[www.shk-code.de](http://www.shk-code.de)  
 SHK-Code-Nummer: 107397