

**PROJEKTGRUPPE ICT / IWM - NEUE ANTRIEBSSYSTEME (NAS)
FRAUNHOFER - INSTITUT FÜR CHEMISCHE TECHNOLOGIE ICT**

Kurzbericht

VERBUNDFORSCHUNGSPROJEKT „RESTWÄRMENUTZUNG FÜR MOBILE ANWENDUNGEN“ 2-4332.62-ICT/28 (159-102032)

- Gefördert durch das Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg –



Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR FINANZEN UND WIRTSCHAFT

1 Kurzfassung

Die Europäische Kommission hat rechtlich verbindliche Emissionsgrenzwerte für Neuwagen mit 130 g/km Kohlendioxid (CO₂) im Jahr 2015 und 95 g / km ab dem Jahr 2020 festgelegt. Ein indikativer Zielkorridor von 68 bis 78 g Kohlenstoffdioxid-Ausstoß pro Kilometer wird derzeit für das Jahr 2025 diskutiert. Damit ist die Effizienzsteigerung im Antriebsstrang zu einem zentralen Entwicklungsthema für die Automobilhersteller geworden.

Im Rahmen dieses Projektes wurden Energierückgewinnungssysteme für einen konventionellen PKW-Antriebsstrang untersucht. Bei den Technologien zur Restwärmenutzung für das Verbundforschungsvorhaben wurde nach Lösungsansätzen zur Umwandlung von Restwärme aus dem Abgasstrang in mechanische bzw. elektrische Energie gesucht. Die Ergebnisse der Konzept-/Entwicklungsarbeiten wurden an entsprechenden Demonstratoren validiert. Hierdurch wurde die Konzeption und Simulation im Gesamtsystem verifiziert.

2 Projektziele

Der Entwicklungsfokus der meisten europäischen OEM's liegt auf dem „niedriglastigen“ Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ). Durch neue Brennverfahren und die zunehmende Hybridisierung des PKW-Antriebsstrangs wird das Abgasenergieangebot in den aktuell gültigen Zertifizierungszyklen deutlich sinken. Im Hinblick auf die zukünftig geplante Änderung des Zertifizierungszyklus auf „World Harmonized Transient Procedure“ (WLTP) wurde der Fokus der Arbeiten auf den Realfahrbereich mit ausreichendem Abgasenergieangebot gelegt.

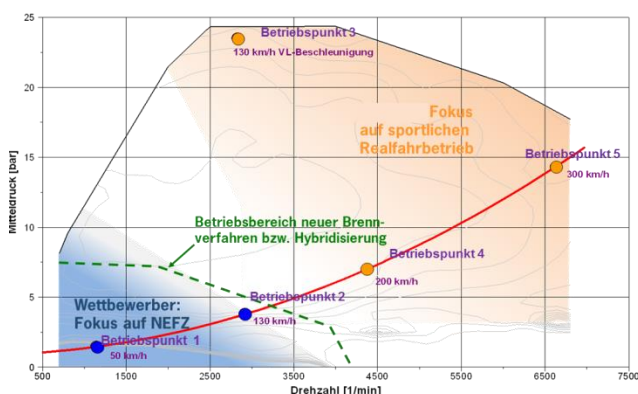


Abbildung 1: Bewertung der Technologien anhand von 5 Betriebspunkten im Motorenkennfeld

Die Bewertung der untersuchten Technologien sollte daher anhand von fünf stationären Betriebspunkten im Motorenkennfeld untersucht und bewertet werden, die diesen Realfahrbereich hinreichend genau repräsentieren (Abbildung 1). Die Aufteilung der Projektinhalte unter den Projektpartnern wurde wie in der nachfolgenden Grafik (Abbildung 2) dargestellt aufgeteilt.

Vorgang	Partner
Zieldefinition • Anwendungsfall, Package	OEM Forschungs-institut
Konzeptphase • Literaturrecherche • Benchmarking von Konzepten zur Abgasenergienutzung • Bewertung und Auswahl von Lösungskonzepten	Forschungs-institut
Ausarbeitung Lösungskonzepte • Simulation der zwei vielversprechendsten Systeme	KMU 1 Forschungs-institut
Prinzipuntersuchungen • Beschaffung der Komponenten • Untersuchung/Vermessung auf Komponentenprüfstand	Forschungs-institut KMU 2
Demonstratoraufbau und Validierung • Aufbau eines Prüfstandsmonstrators • Validierung der Ergebnisse	OEM Forschungs-institut

Abbildung 2: Aufteilung der Projektinhalte nach Projektpartnern

3 Erzielte Ergebnisse

In der Projektphase wurden Benchmark und Bewertung der Technologien bezüglich Nutzen und technischer Realisierbarkeit auf Basis von Literaturrecherche und Simulationen durchgeführt. Diese Untersuchungen bilden die Ausgangslage für die Auswahl der am besten geeigneten Restwärmenutzungstechnologien. Mit Hilfe der hierbei erzielten Ergebnisse konnte eine Eingrenzung und Entscheidung für Technologien anhand realer Randbedingungen und des realen PKW-Anwendungsfalls erfolgen. Als Ergebnis verschiedener Simulationsberechnungen und einer von der Arbeitsgruppe erstellten Bewertungsmatrix haben sich der offene Joule-Prozess und der Dampfkreisprozess (Organic Rankine) als die zielführenden Technologien herauskristallisiert. Beide Systeme wurden wie im nachfolgend abgebildeten Schema (Abbildung 3) nacheinander verifiziert.



Abbildung 3: Schema zur Vorgehensweise bei der Umsetzung und realem Vergleich der beiden Konzepte

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass für den Open Joule Prozess eine Empfehlung für den Einsatz in einer PKW-Anwendung **nicht** sinnvoll ist. Die Sensibilität des Systems bezüglich der Betriebsparameter beim Verlassen des optimalen Auslegungspunktes ist sehr groß. Eine Abweichung des Wärmeübertragerwirkungsgrades um 5-10 % resultiert in 90-100 % Einbußen der erzielbaren Nutzleistung. Die Prozesssicherheit ist dabei aufgrund der relativ kleinen Differenzleistungen nicht gegeben. Die Energie für den Startvorgang des Systems aufgrund der thermischen und rotatorisch-mechanischen Trägheit, müssen im System ebenfalls berücksichtigt werden. Die angestellten Untersuchungen haben gezeigt, dass Joule-Wärmeübertrager mit den geforderten hohen Wirkungsgraden im Fahrzeugpackage nicht darstellbar sind. Eine Tier 1-Vorauslegung eines realen Joule-Wärmetauschers ergab eine realistische Wirkungsgradcharakteristik von etwa 40 % im Bestpunkt – notwendig wäre allerdings ein Minimalwert von 60 %. Für eine stationäre oder quasi-stationäre Anwendung kann diese Technologie allerdings durchaus sinnvoll sein.

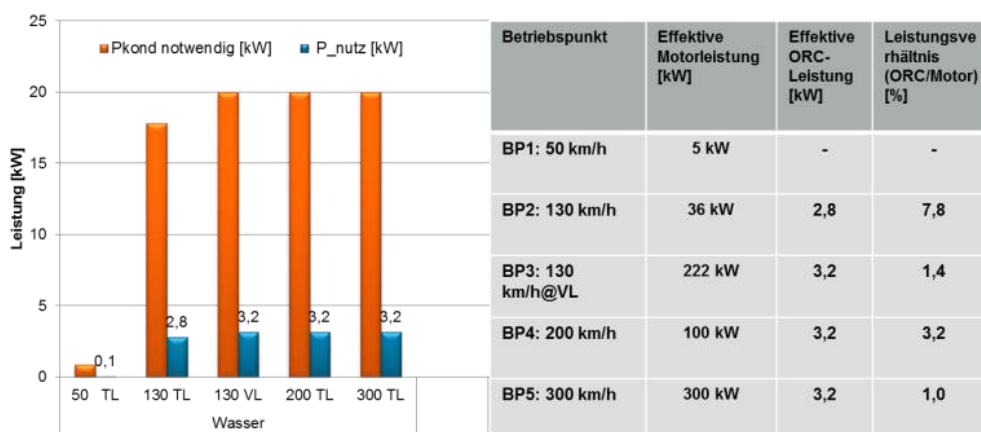


Abbildung 4: Prognostizierte Rankine-Nettoleistung durch Abwärmerecuperation

Der Rankine Prozess stellt aufgrund seiner hohen thermischen Wirkungsgrade und der Möglichkeit einer variablen Prozessanpassung an die vorhandenen Wärmequellen im Fahrzeug eine sinnvolle Abwärmenutzungsmethode für mobile Anwendungen dar. Für das System wurden im betrachteten Anwendungsfall vergleichsmäßig hohe Rekuperationsleistungen bei relativ gutem Leistungsgewicht nachgewiesen. Es wurde gezeigt, dass im Auslegungspunkt eine Expanderleistung von 2,8 kW bei einer Gesamtmotorleistung von 36 kW rekuperierbar ist. Das entspricht einem Leistungsverhältnis von 7,8 % (Abbildung 4).

Als Fazit der Rankine-Prozesses-Technologiebewertung bleibt zusammenfassend festzuhalten, dass eine Empfehlung für eine weiterführende Untersuchung für den Einsatz in einer PKW-Anwendung sinnvoll ist. Begründen lässt sich dies über folgende Punkte:

- Hohe Rekuperationsleistungen bei relativ guten Leistungsgewichten
- Elektrische Rückkopplung in den Antriebsstrang möglich
- Gute Adaption des Systems an die Wärmequelle (vom Abgasturbolader bis zum Katalysator)
- Wärmetauscher/Verdampfer mit erforderlicher Wirkungsgradcharakteristik in der Fahrzeugumgebung darstellbar (Zulieferer-Recherche)
- Indirekte Kühlung des Kondensators über Motorkühlkreislauf kann im Kaltstart Vorteile bringen: Kaltstartverkürzung bei geeigneter Betriebsstrategie

Als ein wesentlicher Nachteil kann der Reifegrad von verfügbaren Expansionsmaschinen und Speisepumpen identifiziert werden. Ein bemerkenswertes Ergebnis der Markt- und Literaturrecherche war, dass zwischen den Automobilherstellern, genauso wie zwischen Zulieferern, kaum gemeinsame strategische Kooperationen auf diesem Fachgebiet existieren. Dieser Trend könnte ebenfalls ein Indiz für das nicht Vorhandensein einer gemeinsamen OEM-Technologie-Road-Map für solche Systeme sein.

Ansprechpartner:

Fraunhofer - Institut für Chemische Technologie ICT
Projektgruppe ICT / IWM - Neue Antriebssysteme
Rintheimer Querallee 2 (Gebäude 70.03)
76131 Karlsruhe

Dipl.-Ing. Ivica Kraljevic
Leiter Forschungsbereich Konventionelle Antriebe

Tel.: +49 (0) 721 91 50 38 - 18
Fax: +49 (0) 721 91 50 38 - 99
Email: ivica.kraljevic@ict.fraunhofer.de