

# ZIM ORC

## Flexible, zweistufige Organic Rankine Cycle Turbine zur bedarfsgeführten Erzeugung von Strom, Wärme und Kälte aus Abwärme

## Flexible, two-staged Organic Rankine Cycle Turbine for Demand Driven Generation of Electricity, Heating and Cooling from Exhaust Heat

### Kontakt/Contact

Klaus-Peter Priebe

E-Mail: klaus-peter.priebe@fh-dortmund.de

Tel: +49 (0231) 9112 -587

### Beteiligte Wissenschaftler/Mitarbeiter

#### Involved Scientists/Staff

Prof. Dr. Peter Schulz

Prof. Dr. Carsten Wolff

Hueseyin Igci

Mathias Knirr

Klaus-Peter Priebe

Jörn Strumberg

### Kooperationspartner

#### Cooperation partners

Fachhochschule Dortmund

Universität Padaborn

Lütkemüller GmbH

Smart Mechatronics GmbH

### Gefördert durch/Supported by

AiF/Bundesministerium für

Wirtschaft und Energie

AiF /Federal Ministry for

Economic Affairs and Energy

### Förderkennzeichen/Funding-ID

KF3338401ST4 FH-Dortmund

KF2795210ST4 FH-Dortmund



Die Notwendigkeit zur bestmöglichen Nutzung von Abwärmepotenzialen zur nachgelagerten Strom-, Kälte- und Nutzwärmeerzeugung ist unbestritten. Hier ist die Klimaerwärmung auf der einen Seite mit der Notwendigkeit der Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen ebenso zu erwähnen wie auf der anderen Seite das absehbare Ende fossiler Brennstoffe mit absehbaren Verknappungen und Preissteigerungen. Im ZIM-ORC-Projekt wird mit Förderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) eine zweistufige ORC-Anlage (Organic Rankine Cycle) zur Verstromung nicht genutzter Abwärme entwickelt, die technisch besonders effizient und damit wirtschaftlich rentabel ist.

Organic Rankine Cycle Turbinen können aus Niedertemperaturwärme effizient mechanische Arbeit bzw. Strom erzeugen. Im Rahmen des Vorhabens wird ein voll funktionsfähiges Kleinkraftwerk als Prototyp aufgebaut. Die FH Dortmund übernimmt das elektrische und kommunikative Nervensystem und das Gehirn der Anlage für eine optimale strom- und wärmebedarfsgeführte Regelung. Außerdem sind am Projekt die Universität Paderborn für die thermodynamische Auslegung, die Smart Mechatronics GmbH für die Regelungstechnik und die Lütkemüller GmbH sowie die Heim Präzisionstechnik GmbH für die Mechanik der Anlage und der Turbinen beteiligt.

Der Aufbau des Kleinkraftwerkes folgt einer Konzeption austauschbarer Module – in der Abbildung 1 ist von rechts nach links zunächst das Modul 1 mit dem Direktverdampfer, dann das Modul 2 mit dem Hochtemperaturarbeitskreis mit Arbeitstemperaturen bis 300 °C, das Modul 3 mit dem Niedertemperaturkreis und Arbeitstemperaturen bis 110 °C und zuletzt das Modul 4 mit dem Direktverflüssiger dargestellt. Durch den modularen Aufbau können Anlagen mit einer oder zwei ORC-Turbinen aufgebaut werden, so dass eine Anpassung an unterschiedliche Abwärmeprofile erfolgen kann. Zudem kann die Anlage schon mit Abwärme ab einer Leistung von 500 kWth

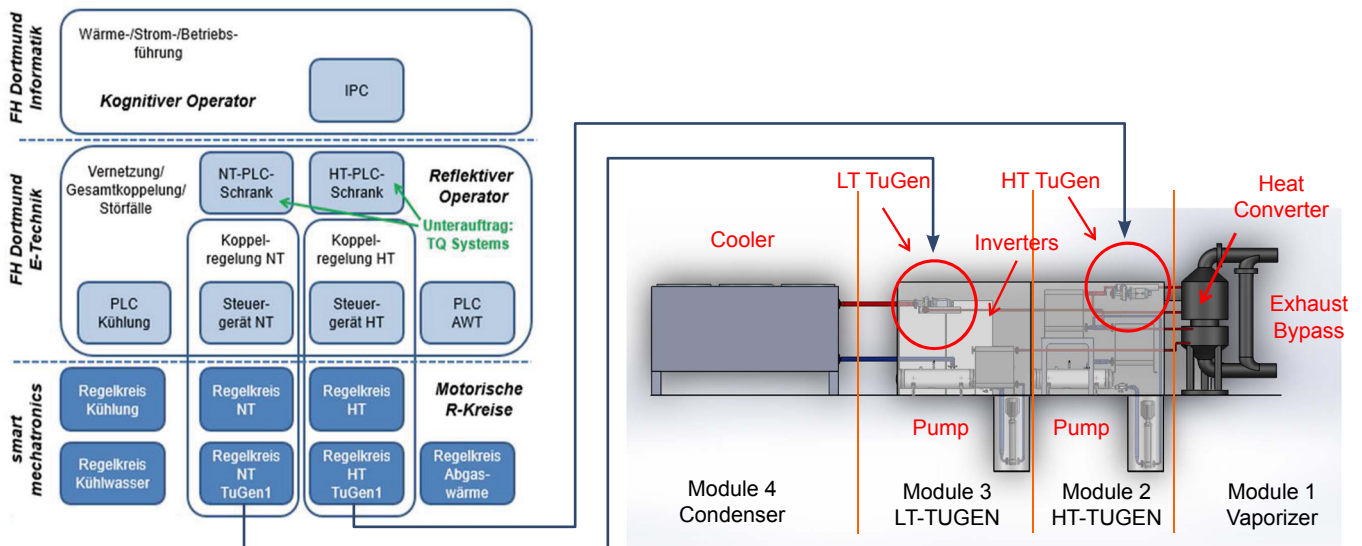
Climate change, the need to minimise CO<sub>2</sub> emissions and the finite availability of fossil fuels are all driving the undisputed need for maximising the exploitation of waste heat. Organic Rankine Cycle turbines can efficiently generate direct mechanical work and electricity from low temperature heat.

The ZIMORC-Project for the development of a most efficient, double-staged ORC-facility for the generation of electricity from waste heat is supported by the German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. A fully functioning prototype of a small power plant is being constructed.

UAS Dortmund is looking after the electrical and communication networks and the brain of the installation for optimal power and thermal control. The University of Paderborn is responsible for the thermodynamic design, Smart Mechatronics for the control engineering, and Lütkemüller and Heim Precision Technology for the mechanics and turbines.

The construction contains a number of replaceable modules. Figure 1 illustrates these modules from right to left. Module 1 represents the direct evaporator followed by module 2, the high temperature system up to 300 °C, module 3, the low temperature system up to 110 °C and finally module 4, the liquefier. Due to the modular design, systems can be built with one or two ORC turbines, allowing adaptation for different waste heat profiles. The system can be configured to work with waste heat input of only 500 kWth. Currently available solutions require far greater thermal input for economic feasibility.

Development of demand based control for the two stage installation is particularly challenging. A hierarchical management and control system, based on the Operator-Controller-Module (OCM) from the University of Paderborn is being developed. Control of the first level depends on Paderborn University's thermodynamic



arbeiten, während bisherige Lösungen erst bei weitaus größeren Wärmeleistungen wirtschaftlich werden.

Eine besondere Herausforderung stellt die Entwicklung der bedarfsgeführten Regelung der zweistufigen Anlage dar. Dazu wird ein hierarchisches Steuerungs- und Regelungssystem basierend auf dem Operator-Controller-Module (aus dem SFB614 der Universität Paderborn) entwickelt. Hier baut die Regelung in der ersten Ebene auf den thermodynamischen Daten des Projektpartners Universität Paderborn für die einzelnen Stoffkreisläufe und dem thermodynamischen Verhalten der einzelnen Apparate auf. Die Regelung in der zweiten Ebene der motorischen Regelkreise wurde modellbasiert mittels Matlab/Simulink in Form eines Model Predictive Controllers (MPC) realisiert. Auf Ebene 3 des OCM-Modells ist das kommunikative Nervensystem in Form des reflektiven Operators mit den Ablaufsteuerungen und der Störfallbehandlung realisiert, um z.B. bei Fehlern korrigierend automatisch einzugreifen bzw. die Anlage kontrolliert herunterzufahren. Schließlich findet sich in der 4. Ebene des kognitiven Operators das selbstlernende Optimierungsprogramm zum ertragsoptimalen Betrieb der Anlage bei wechselnden Anforderungen unter Einbeziehung wie Wartungszyklen und -kosten.

Die Zielmärkte dieser Technologie finden sich überall dort, wo Abwärme ab 300 °C bei einer Abwärmeleistung von mehr als 300 kWth anliegt. Diese Wärmequellen finden sich bei Biogasanlagen und in der Industrie sowie bei solarthermischer Energieerzeugung. Als Entwicklungsziel wird angestrebt, den zusätzlichen Strom aus Abwärme zur Bedingung „besser als grid parity“ zu erzeugen, d.h. 1 kWh aus Abwärme darf in der Vollkostenrechnung ohne Förderung nicht mehr als 0,12 € je kWh kosten (bei einer pay back Periode < 6 Jahre). Der Prototyp wird im Frühjahr 2016 in Betrieb gehen und bis zum Herbst 2016 erprobt und optimiert.

data for the various material cycles, as well as on the thermodynamic behaviour of the devices in the system. Regulation of the second level control circuits comes from a Model Predictive Controller (MPC) and based on Matlab/Simulink modelling. Level 3 of the OCM model is the communication network and control centre of the machine. It is implemented as a reflective operator for process control and error handling and can automatically correct faults, or carry out a controlled shut down if necessary. Finally, level 4 of this cognitive operator contains the self-learning optimisation programme, designed to optimise economic operation of the whole system under varying conditions and with due consideration for maintenance cycles and costs.

The target markets of this technology can be found wherever there is waste heat above 300 °C with more than 300 kWth of power. These levels of available heat are common in biogas power plants and in industry, and also in solar thermal power generation. The development goal is to generate additional electricity from waste heat at “better than grid parity”. This means, 1 kWh from waste heat must cost no more than 0,12 €/kWh, including all costs and without support funding, and with a pay back period of less than six years. The prototype will become operational in spring 2016 and then be tested and optimised until the autumn of 2016.

**Abb. 1:** Hierarchische Steuerungs- und Regelstruktur nach dem Operator-Controller-Module (OCM)

**Fig. 1:** Hierarchical Management and Control Structure with the Operator-Controller-Module (OCM)