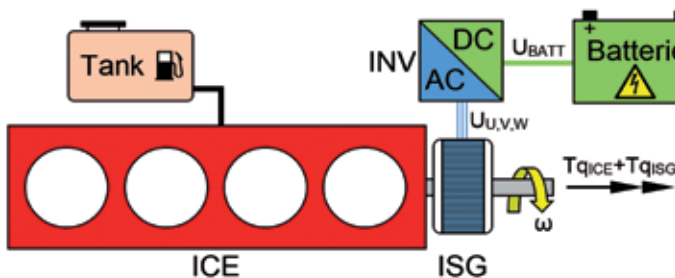


# Betriebsstrategien für Hybridantriebe

## Operating Strategies for Hybrid Drivetrains

Wolfgang Monschein, Peter Grabner



© Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik

**Abbildung 1:**  
Schema des dieselektrischen  
Parallelhybridantriebs.

*Figure 1:*  
Scheme of the diesel-electric  
parallel hybrid drive.

Im Rahmen der hier vorgestellten, von der FFG geförderten Forschungstätigkeiten wurden unterschiedliche Betriebsstrategien für ein Parallel-Hybrid-Antriebskonzept für Non-Road-Anwendungen unter kundinnen- und kundenrelevanten Einsatzprofilen entwickelt und untersucht. Die Bewertung erfolgte hinsichtlich Reduktion des Kraftstoffverbrauchs bzw. CO<sub>2</sub>-Ausstoßes und der Emissionen zur Einhaltung der aktuellen gesetzlichen Rahmenbedingungen.

Bei konventionellen mobilen Arbeitsmaschinen werden heute überwiegend Dieselmotoren eingesetzt. Die Verbesserung der Effizienz spielt bei der Entwicklung eines neuen, alternativen Antriebskonzepts die zentrale Rolle, da der Kraftstoffverbrauch aufgrund der zu erfüllenden Arbeitsaufgaben der Maschinen absolut gesehen, im Vergleich zum Pkw, sehr hoch ist. Im Speziellen wurde der Einsatz eines elektrifizierten Parallel-Hybrid-Antriebssystems, bestehend aus einem 6-Zylinder-Dieselmotor entsprechend der aktuellen Europäischen Emissions-Gesetzgebungsstufe Euro IV (Richtlinie 2004/26/EG) in Verbindung mit einer elektrischen Motor/Generator-Einheit und einer Hochvolt-Traktionsbatterie untersucht.

Als Basis für die Optimierungsaufgaben dienten reale Arbeitszyklen eines Radladers der Leistungs-kategorie 215 kW, die direkt bei verschiedenen Kundinnen und Kunden eines österreichischen Radlader-Herstellers aufgenommen wurden.

### Simulationsumgebung

Der Betrieb eines Hybridantriebs erfordert die Koordination der einzelnen Antriebskomponenten. >

*Different operating strategies for a parallel hybrid drivetrain for non-road use under customer-related application areas were investigated in the framework of a number of research activities. The investigation was funded by the Austrian Research Promotion Agency (FFG). The evaluation was made with a view to reducing fuel consumption (CO<sub>2</sub> emissions) and exhaust emissions in order to comply with the current legal emission standards.*

*Today, diesel engines are mainly used in conventional mobile machinery. Improving efficiency is central in the development of a new, alternative drive concept because the fuel consumption in absolute terms is very high compared to passenger cars due to the work tasks carried out by these machines. In particular the use of an electrified parallel hybrid drive system consisting of a 6-cylinder diesel engine in conjunction with an electric motor/generator unit and a high-voltage traction battery was investigated on the basis of the current European emission legislation Euro IV (Directive 2004/26/EC).*

*As a basis for the optimization tasks, real working cycles of a wheel loader of the power class 215 kW were used. These cycles were taken directly from the various customers of an Austrian wheel loader manufacturer.*

### Simulation Environment

*The operation of a hybrid drive requires the coordination of the individual drive components. The optimum split of drive power to the internal combustion engine and the electrical machine and the adjustment >*



Peter Grabner ist Teamleiter am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik und im Forschungsbereich Brennverfahrensentwicklung für Pkw- und Nfz-Motoren tätig.

*Peter Grabner is team leader at the Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics and in the research area of combustion process development for passenger car and heavy duty engines.*



Wolfgang Monschein ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik und im Forschungsbereich Brennverfahrensentwicklung für Pkw- und Nfz-Motoren tätig.

*Wolfgang Monschein is research associate at the Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics and in the research area of combustion process development for passenger car and heavy duty engines.*



**Abbildung 2:**  
**HiL-Prüfstandsgebung.**  
*Figure 2:*  
*HiL test bench environment.*

Die optimale Aufteilung der Antriebsleistung auf Verbrennungsmotor und elektrische Maschine sowie die Regelung des Betriebsdrehzahlenniveaus in Abhängigkeit vom aktuellen Lastniveau erfolgt über ein zentrales Hybrid-Control-System (HCU), welches das Energiemanagement sowie die Betriebsstrategie beinhaltet. Die Entwicklung der dafür erforderlichen Funktions-Software erfolgte mithilfe einer virtuellen Entwicklungsumgebung in Form einer echtzeitfähigen Abbildung des Systemverhaltens des Hybridantriebs. Die Software-Funktionsentwicklung der HCU zur Steuerung, Regelung und Überwachung des Antriebs forderte, im Hinblick auf kurze Entwicklungszeiten und schnelle Erreichung der definierten Ziele, die Möglichkeit einer simulationsunterstützten vollständigen Überprüfung des Quellcodes. Durch eine CAE-gestützte Softwareentwicklung konnten Testmöglichkeiten in MiL, SiL und HiL (Model-, Software- und Hardware-in-the-Loop) eröffnet und genutzt werden. Der Zeitaufwand zur Erreichung eines hohen Reifegrades der Software konnte durch Nutzung dieser Entwicklungswerkzeuge und Methodik kurz gehalten werden. Auch der experimentelle Testaufwand in der anschließenden Validierungsphase am Motorprüfstand kann dadurch erheblich reduziert werden. Zeitaufwendige Entwicklungsschleifen durch Fehler in den Softwarefunktionen können bereits in frühen Entwicklungsstadien erkannt und behoben werden. Das Gesamtmodell des Antriebsstrangs

control of operating speed levels depending on the current load level is achieved via a central hybrid control unit (HCU), which includes the energy management and operating strategy. The development of the necessary functional software was carried out using a virtual development environment in the form of a real-time modeling of the system behavior of the hybrid drive. With regard to short development times and fast achievement of the objectives defined, the functional software development of the HCU for control, regulation and monitoring of the propulsion required the possibility of a simulation-assisted complete review of the source code. Through CAE-based software development, testing capabilities in MiL, SiL and HiL (Model, Software and Hardware-in-the-Loop) could be opened and used. The time required to achieve a high degree of maturity of the software could be kept short by using these development tools and methodology. Also, the experimental complexity in the subsequent validation phase on the engine test bench could be significantly reduced. Time-consuming development cycles caused by errors in the software functions can be detected and corrected in early stages of development. The overall model of the drivetrain as well as the hybrid controller and the energy management has been implemented in the program package MathWorks MATLAB/SIMULINK.

#### **Experimental investigations**

For the experimental investigations, the diesel-electric parallel hybrid drive was built up on a transient engine dynamometer within a specially developed HiL environment (hardware-in-the-loop environment) with RP-system (Rapid-Prototyping system) and bat-

wie auch der Hybrid-Regler sowie das Energiemanagement wurden im Programmpaket MathWorks MATLAB/SIMULINK umgesetzt.

**Experimentelle Untersuchungen**

Für die experimentellen Untersuchungen war der dieselelektrische Parallelhybridantrieb auf einem transienten Motorprüfstand innerhalb einer dafür entwickelten HiL-Umgebung (Hardware-in-the-Loop-Umgebung) mit RP-System (Rapid-Prototyping-System) und Batteriesimulator (BattSim) am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik aufgebaut. Als RP-Werkzeug war eine durchgängige Produktkette von ETAS in Verwendung. Mit einer Integrationssoftware erfolgte die Vernetzung der Software mit der vorhandenen Hardware. Die Kommunikation zwischen den Komponenten innerhalb der HiL-Umgebung wurde über CAN-Busse realisiert. Die Beschreibung dieser Schnittstellen sowie die Parametrierung des Echtzeit-Betriebssystems (RTOS) und das Kompilieren des Maschinencodes wurden ebenfalls mit der Integrationssoftware durchgeführt. Als RP-Hardware kam eine kompakte Echtzeitplattform mit entsprechendem Schnittstellenmodul zum Einsatz.

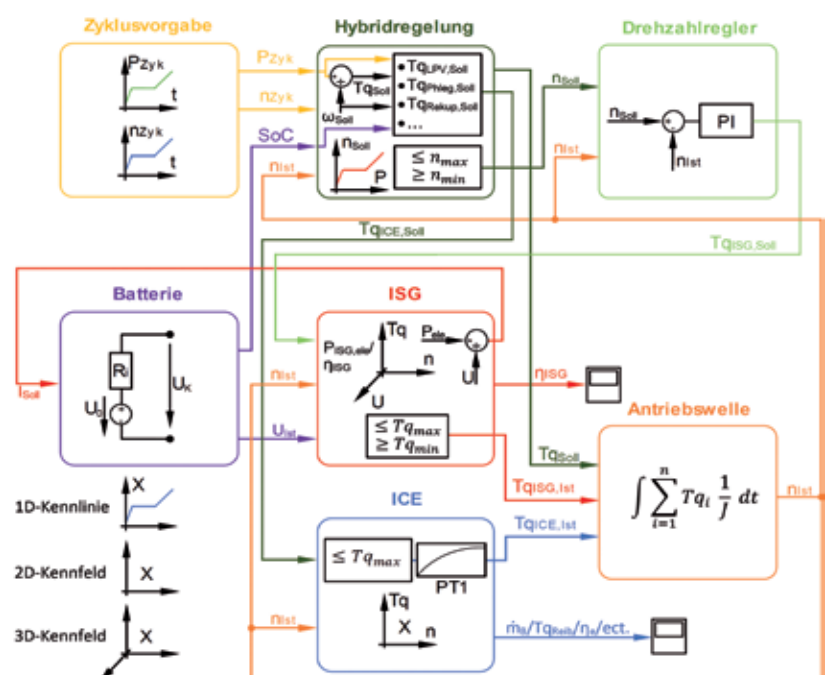
**Bewertung**

Zur Bewertung des dieselelektrischen Parallelhybridantriebs wurden zunächst die Arbeitszyklen sowie der Gesetzgebungszyklus zur Ermittlung der Referenzniveaus mit dem Versuchsmotor im rein dieselmotorischen Betrieb am Prüfstand vermessen. Im Anschluss folgten die Untersuchungen mit dem Hybridantrieb und den unterschiedlichen Betriebsstrategien. Mit den im Rahmen dieses Forschungsprojekts entstandenen Ergebnissen konnte gezeigt werden, dass mit einem dieselelektrischen Parallelhybridantrieb in mobilen Arbeitsgeräten Verbrauchseinsparungen unter Einhaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen von bis zu 10 Prozent möglich sind. Aus wirtschaftlicher Sicht werden auch im Bereich der mobilen Arbeitsmaschinen die Mehrkosten für den komplexeren Antrieb und die effektiv mögliche Einsparung an Betriebskosten darüber entscheiden, inwieweit hybride Antriebslösungen vonseiten der Kundinnen und Kunden Akzeptanz finden. ■

tery simulator (BattSim) at the Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics. As RP-tool a continuous chain of ETAS products were used., The networking of the software with the existing hardware was achieved using an integration software. The communication between the components in the HiL environment was realized through a CAN bus. The description of these interfaces and the parameterization of the real-time operating system (RTOS) and the compiling of the machine code were also performed with the integration software. A compact real-time platform with the suitable interface module was used as RP hardware.

**Evaluation**

To evaluate the diesel-electric parallel hybrid drive, first of all, the real working cycles and the legislative cycle were measured on the test bench to determine the reference levels with the test engine in pure diesel-engine operating mode. Next, investigations using the hybrid drive and the different operating strategies were carried out. The results of this research project show that with a diesel-electric parallel hybrid drive in mobile machines, fuel savings of up to 10 % are possible in compliance with the legislative framework. From an economic perspective in the field of mobile machines, the additional cost of the more complex drive and the effective savings in operating costs will be a crucial factor with respect to whether or not hybrid drive solutions will find acceptance by customers. ■



**Abbildung 3:**  
**MiL-/SiL-Simulationsumgebung.**  
 Figure 3:  
 MiL/SiL simulation environment.

© Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik