



Im Pkw sind Hybridantriebe schon seit Jahren auf dem Vormarsch. Doch auch mobile Arbeitsmaschinen eignen sich wegen ihres typischen Stop-and-Go-Betriebs ideal für den Einsatz von Hybridantrieben. Der Motorspezialist Deutz AG und der Baumaschinenhersteller Atlas-Weyhausen haben mit Hilfe von dSPACE-Werkzeugen einen Radlader mit einem Hybridantrieb entwickelt, der gegenüber einem Antrieb mit reinem Dieselbetrieb eine Reihe von Vorteilen bietet.



# Mit Strom und Sprit

Entwicklung von Hybridantrieben für mobile Arbeitsmaschinen



### Wozu Hybrid?

Hybridantriebe (lateinisch: von zweierlei Herkunft) bestehen heute in den allermeisten Fällen aus einer Kombination von Verbrennungs- und Elektromotoren. Der Elektromotor spielt dabei eine Doppelrolle: Zum einen wirkt der Elektromotor beim Bremsen als Generator und speichert in einer Batterie die Energie, die ansonsten als Wärme verloren ginge. Zum anderen unterstützt er den Verbrennungsmotor in ungünstigen Betriebspunkten, beispielsweise beim Anfahren und bei kleinen Motordrehzahlen, wo Elektromotoren – anders als Verbrennungsmotoren – bereits ein hohes Drehmoment entwickeln. Dank dieser Vorteile erreichen Hybridantriebe bei geeigneten Applikationen einen höheren

Systemwirkungsgrad, der zu CO<sub>2</sub>- und Kraftstoffreduzierungen führt. Hybridantriebe werden daher immer populärer, um steigenden Kraftstoffpreisen und verschärften Emissionsrichtlinien zu begegnen.

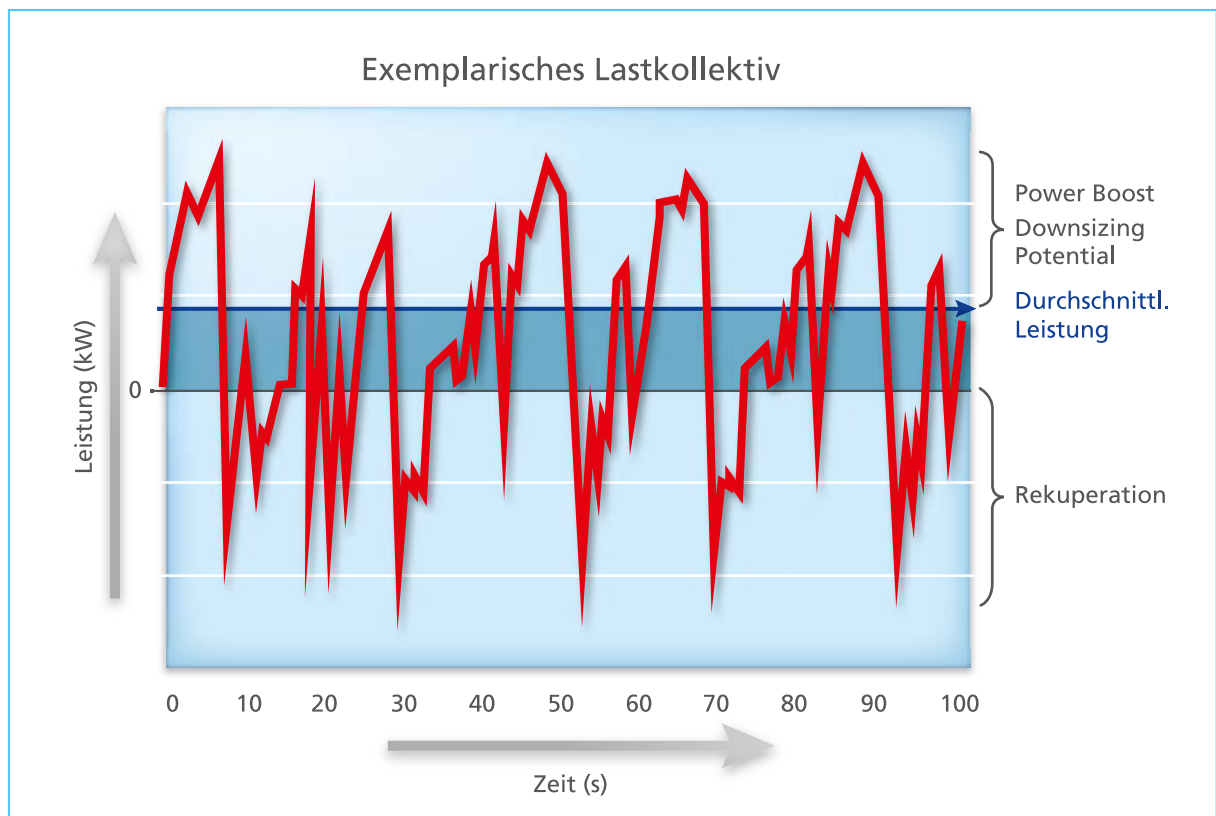
### Nützlich auch abseits der Straße

Hybridantriebe können ihre Vorteile besonders dort ausspielen, wo oft beschleunigt und gebremst wird, denn dann lässt sich viel Bremsenergie rückgewinnen (Rekuperation). Denkt man an Fahrzeuge abseits der Straße, bieten sich daher Bagger, Radlader oder Gabelstapler als ideale Kandidaten an. All diesen „Off-Roadern“ ist gemeinsam: häufiges Bremsen und Beschleunigen, kurze Wegstrecken, hohe Lastspitzen – optimale Voraussetzungen für den Einsatz von Hybridantrieben. Hinzu

kommen Leerlaufphasen, in denen sich durch automatisches An- und Abschalten des Motors zusätzlich Kraftstoff sparen lässt.

### Radlader mit Hybridantrieb

In Zusammenarbeit mit dem Radladerspezialisten Atlas-Weyhausen haben wir für einen Atlas-Weyhausen Radlader vom Typ AR-65 Super mit Hilfe von dSPACE-Werkzeugen ein sogenanntes „Mild“-Hybridsystem entwickelt. Mild bedeutet, dass der Elektromotor starr an den Dieselmotor gekoppelt ist und die häufigen Brems- und Beschleunigungsvorgänge unterstützt. Dies grenzt den milden sowohl vom sogenannten Mikro-Hybrid ab, der lediglich eine automatische Start-Stopp-Funktion beinhaltet, als auch vom Voll-Hybrid, der rein elektr-



*Belastungskurve einer mobilen Arbeitsmaschine. Typisch ist die schnelle Folge von Brems-, Beschleunigungs- und Leerlaufphasen – ideal für den Einsatz von Hybridantrieben.*



## Die implementierten Hybridfunktionen im Überblick

- **Power-Boost**  
Zuschalten des Elektromotors bei Leistungsspitzen
- **Lastpunktanhebung/ Lastpunktverschiebung**  
Verschieben des Dieselmotor-Betriebspunktes in einen Bereich mit höherem Wirkungsgrad
- **Start/Stop**  
An-/Abschalten des Motors während Leerlaufphasen
- **Energierückgewinnung (Rekuperation)**  
Speicherung überschüssiger Energie in der Li-Ionen-Batterie

Durch die implementierten Funktionen ergibt sich eine Kraftstoffersparnis von 20 % bei gleichzeitig reduziertem CO<sub>2</sub>-Ausstoß.

„Das RTI CAN MultiMessage Blockset erlaubte uns ein schnelles und komfortables Aufsetzen der gesamten CAN-Kommunikation.“

Marco Brun, Deutz AG

ches Fahren ermöglicht. Durch mehrere Faktoren eröffnet sich dabei ein großes Potenzial zur Kraftstoffersparnis:

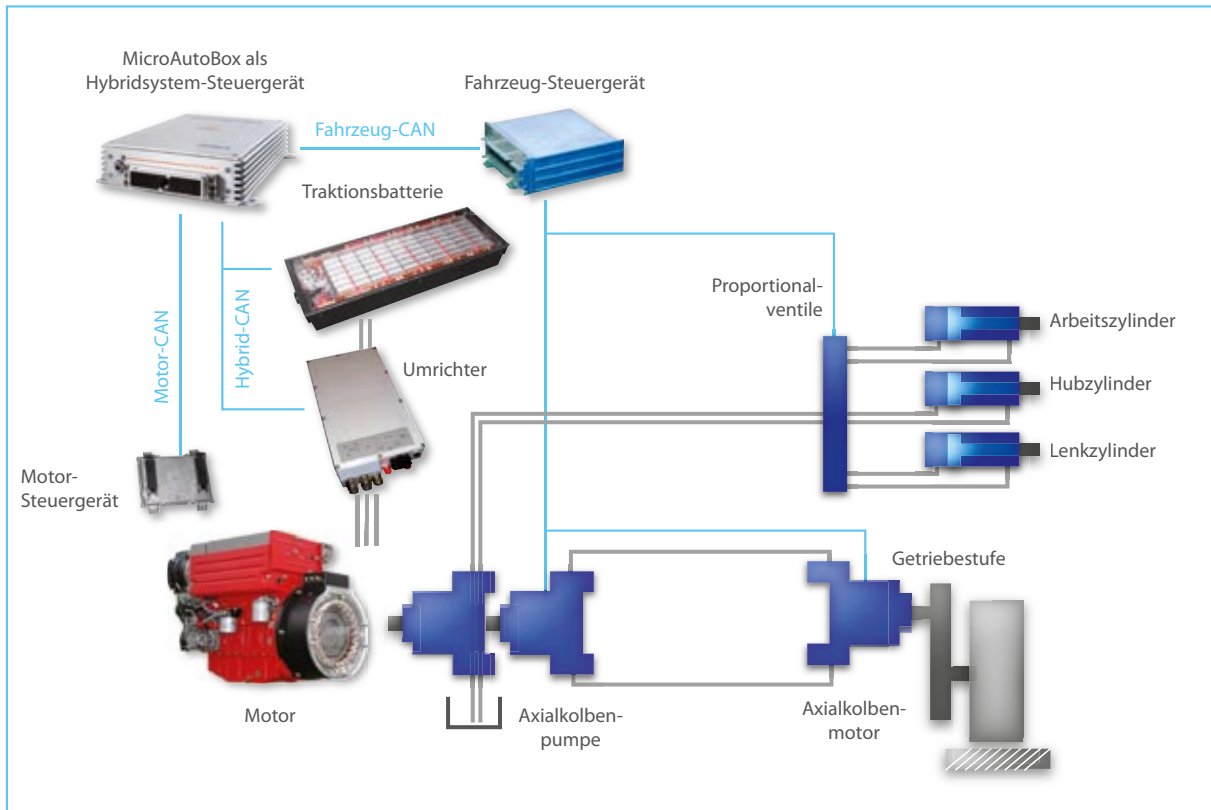
- Downsizing des Dieselmotors (Durch den zusätzlichen Elektromotor lässt sich ein Dieselmotor mit kleinerer Leistung verwenden.)
- Lastpunktanhebung und -verschiebung (Betreiben des Dieselmotors in Bereichen mit optimalem Wirkungsgrad)
- Energierückgewinnung (Rekuperation – d. h. Bremsenergie wird in der Batterie gespeichert)
- Start-Stopp-Betrieb (automatisches Abschalten des Motors in Leerlaufphasen)

### Systemaufbau

Angetrieben wird der Radlader zum einen von einem DEUTZ Dreizylinder-Dieselmotor, der bei einer Drehzahl von 2.100 min<sup>-1</sup> 36,9 kW leistet. Zum anderen ist der Antriebsstrang mit einer permanent erregten Synchronmaschine ausgestattet, die über eine Nenn- bzw. Spitzenleistung von 15 bzw. 30 kW verfügt und in die Schwungradglocke des Dieselmotors integriert ist. Der Rotor ist hierbei direkt mit der Kurbelwelle gekoppelt. Durch diese Integration ließ sich der Hybridantrieb problemlos mechanisch installieren, denn die E-Maschine benötigt kaum zusätzlichen Platz. Als Traktionsbatterie dient dem Hybridsystem eine Lithium-Ionen-

Batterie mit einer Nennspannung von 400 V, die über einen Umrichter mit der E-Maschine verbunden ist. Mittels feldorientierter Regelung ist der Umrichter für die Kommutierung der Synchronmaschine und für die Momentenregelung verantwortlich.

Verbunden ist dieser Hybridantrieb mit zwei hydraulischen Pumpen, zum einen der Fahrpumpe und zum anderen der Arbeitspumpe. Die Fahrpumpe ist genau wie der hydraulische Fahrmotor als Axialkolbenmaschine ausgeführt und für die Erzeugung des hydraulischen Volumenstroms für den Fahrmotor verantwortlich. Man spricht hierbei von einem hydrostatischen Fahrantrieb – ein mechanisches Schaltgetriebe sucht man hier vergebens. Durch die Arbeitspumpe gelangt das Hydrauliköl durch Proportionalventile zu den Hydraulikzylindern, die für das Anheben der Schaufel und das Lenken des Radladers sorgen.



Schematischer Aufbau des Mild-Hybridsystems im Radlader. Die MicroAutoBox dient als übergeordnetes Hybridsystem-Steuergerät.

### Entwicklung mit dSPACE Hard- und Software

Für die Entwicklung der Softwarefunktionen des Hybridsystem-Steuergeräts haben wir mehrere dSPACE-Werkzeuge eingesetzt:

- MicroAutoBox (als Hybridsystem-Steuergerät)
- Real-Time Interface (zum Aufsetzen der I/O-Schnittstellen für die MicroAutoBox)
- RTI CAN MultiMessage Blockset (zum Aufsetzen der CAN-Kommunikation)
- ControlDesk und CalDesk (zur Applikation der Hybridfunktionen)

Durch RTI und das RTI CAN MultiMessage Blockset konnten wir in nur drei Monaten eine funktionsfähige Systemsoftware auf der

MicroAutoBox implementieren. Hierbei erwies sich insbesondere das RTI CAN MultiMessage Blockset als ein sehr komfortabel zu bedienendes Werkzeug, das durch die Möglichkeit, CAN-Konfigurationsdateien (DBC-Dateien) zu verlinken, ein sehr schnelles Aufsetzen der CAN-Kommunikation ermöglichte.

Im Radlader wurden drei CAN-Kanäle aufgebaut: Motor-CAN, Hybrid-CAN und Fahrzeug-CAN. Durch das direkte Programmieren der Systemsoftware in Simulink konnten wir die erstellten Softwarefunktionen sofort an einem Streckenmodell (MIL) erproben, das die Komponenten Dieselmotor, E-Maschine, Umrichter, Batterie, Arbeits- und Fahrhydraulik enthält. Damit war ein Test der Softwarefunktionen bereits möglich, lange

bevor die ersten Prototyp-Komponenten verfügbar waren. Dies war wegen der sehr kurzen Entwicklungszeit für dieses Projekt zwingend erforderlich. Mittels der vorgetesteten Softwarefunktionen und der per RTI konfigurierten In- und Outputs (Digital, Analog, PWM, CAN) haben wir einen auf der MicroAutoBox laufenden Softwarestand erstellt und am Prüfstand erprobt. Erprobung und Applikation der Funktionen, wie z. B. der Start/Stopp-Funktion, erfolgten mittels ControlDesk und CalDesk.

Anschließend wurde der Radlader mit der MicroAutoBox als übergeordnetem Hybridsystem-Steuergerät in Betrieb genommen und die Funktionen Power-Boost, Lastpunktanhebung und Lastpunktverschiebung implementiert.

### Emissionen reduziert und Kosten gespart

Der Hybridantrieb sorgt durch den reduzierten Kraftstoffverbrauch nicht nur für einen verringerten CO<sub>2</sub>-Ausstoß, sondern auch für erhebliche Kosteneinsparungen. Eine Beispielrechnung macht dies deutlich: Legt man eine Kraftstoffeinsparung von 20 % zugrunde, so ergibt sich bei einem typischen Arbeitsalltag (bei einem angenommenen Kraftstoffverbrauch von 6,5 l/Std. und einem Dieselpreis von 1,30 Euro) eine Ersparnis von 1,70 Euro pro Stunde bzw. 1.500 Euro pro Jahr. Umgerechnet auf die Lebenszeit eines Radladers würden die höheren Anschaffungskosten des Hybridantriebs damit mehr als wettgemacht.

### 2010 in Serie

Wegen der offensichtlichen Vorteile hinsichtlich Emissions- und Kostenreduktion sehen wir ein großes Potenzial für Hybridantriebe im Bereich mobiler Arbeitsmaschinen. Daher werden wir im nächsten Schritt weitere Radlader und Baumaschinen – jeweils bestückt mit einer dSPACE MicroAutoBox – bei verschiedenen Kunden einsetzen, um Erfahrungen aus der Alltagspraxis zu sammeln. Mitte 2010 möchten wir dann mit diesem Hybridsystem die Serienreife erreichen. ■

Marco Brun  
Deutz AG  
Deutschland



Äußerlich ist der einzige Unterschied zum Standard-Radlader die am Dach angebrachte Lithium-Ionen-Batterie.

Entwicklung der Software-Funktionen mit Model-in-the-Loop:

- Modellbildung von Dieselmotor, Steuergerät, Umrichter, Elektromotor und BMS (Batterie-Management-System)
- Aufsetzen der Hybrid-Software-Funktionen mit anschließendem MIL-Test
- Aufsetzen der I/O- und CAN-Schnittstellen
- Test der Kommunikation im Steuergeräteverbund



Inbetriebnahme des Hybrid-systems am Prüfstand:

- Aufbau von Dieselmotor, Elektromotor, Umrichter, Li-Ionen-Batterie, Hybrid-Steuergerät
- Inbetriebnahme der Sicherheitsfunktionen
- Inbetriebnahme des Steuergeräteverbunds
- Test und Vorabstimmung der Hybridfunktionen



Inbetriebnahme und Applikation der Funktionen im Radlader:

- Applikation des Wiederholstarts bei Lenkradbewegung/Gas/Inchpedalbetätigung/Joystickberührung
- Applikation der Power-Boost-Funktion, Lastpunktverschiebung und Energierückgewinnung



Der Ablauf bei der Entwicklung der Hybrid-Software-Funktionen. Bereits nach drei Monaten war eine funktionstüchtige Systemssoftware auf der dSPACE MicroAutoBox im Radlader implementiert.