





aus werden sowohl das Drehmoment als auch die Drehzahl kontinuierlich angepasst, um die geänderte Leistung bereitzustellen.

Der drehzahlkontinuierliche Modus kann demnach die Effizienzvorteile bringen. Nachteilig ist die komplexere Regelung. Ob diese Steuerungsstrategie maßgebend zur Kraftstoff- und Emissionsreduzierung beiträgt, kann mithilfe einer Simulation des Betriebsverhaltens untersucht werden. Dazu wurde die Gesamtstruktur des HELMS-Antriebssystems in Matlab/Simulink nachgebildet.

#### 4. Simulation der beiden Betriebsmodi

Zur Verifizierung des Simulationsmodells wurden die Messdaten eines realen Fahrzyklus verwendet, der in einem Prüfstand vom DB Werk Cottbus mit einem Prototyp der HELMS-Lokomotive gefahren wurde (Bild 3).

Das Antriebssystem wurde im Referenzfahrzyklus im drehzahldiskreten Modus be-

trieben. Es wurden Beschleunigungs- und Bremsvorgänge sowie Fahrten mit konstanter Geschwindigkeit nachgebildet. Die in der Prüfstandmessung erfassten Messwert-Zeit-Verläufe wurden als Eingangsgrößen für die Verifizierung des Modells verwendet. Die Simulationsergebnisse des drehzahldiskreten Betriebsmodus stimmen insgesamt gut mit den Prüfstandmessungen überein.

Im drehzahlkontinuierlichen Betriebsmodus wird der Dieselmotor in den verbrauchsoptimalen Betriebspunkten betrieben. Bei gleichem Fahrprofil der Lokomotive unterscheiden sich die Drehzahl und das Drehmoment des Dieselmotors im Vergleich zur drehzahldiskreten Betriebsweise. Die Verschiebung der Betriebspunkte des Dieselmotors im drehzahlkontinuierlichen Modus ist in den blau hervorgehobenen Zeitbereichen in Bild 3 auffallend. In den übrigen Streckenabschnitten des Fahrzyklus sind die Dieselmotorbetriebspunkte auch bei der dreh-

zahldiskreten Betriebsweise schon optimal eingestellt.

Der Verbrauch liegt im drehzahlkontinuierlichen Betriebsmodus nur leicht unter dem Wert des drehzahldiskreten Betriebsmodus. Die Reduzierung des Verbrauches beträgt für den gesamten Fahrzyklus 0,62%.

Die nur geringe Einsparung des Kraftstoffes im drehzahlkontinuierlichen Betriebsmodus erklärt sich dadurch, dass der Dieselmotor im Referenzfahrzyklus schon überwiegend in BP sehr nah oder auf der BOL betrieben wurde (BP A<sub>1</sub> – A<sub>5</sub>, Bild 2).

Es wird auch deutlich, dass Verbrauchseinsparungen des drehzahlkontinuierlichen Betriebsmodus im Vergleich zum drehzahldiskreten Modus vom Fahrprofil abhängen. Je weiter ein BP im drehzahldiskreten Betriebsmodus von der BOL entfernt ist, desto mehr wirkt sich ein drehzahlkontinuierlicher Betrieb des Dieselmotors auf den Kraftstoffverbrauch aus.

Angemerkt werden muss an dieser Stelle, dass es sich bei den hier dargestellten Simulationsergebnissen um einen Vergleich zwischen zwei Modi des neuen HELMS-Antriebes handelt. Im Vergleich zur Altlok BR 294 werden mit der HELMS-Lokomotive deutlich höhere Kraftstoffeinsparungen von bis zu 20% erreicht!

#### 5. Zusammenfassung

Im drehzahlkontinuierlichen Betriebsmodus der HELMS-Rangierlokomotiven kann eine Verbrauchs- und Emissionsreduktion im Vergleich zum drehzahldiskreten Modus erzielt werden. Das erreichbare Kraftstoffeinsparpotenzial ist betriebspunktabhängig und kann somit für verschiedene Fahrstrecken variieren. Inzwischen sind beide Betriebsmodi im HELMS-Antriebssystem implementiert. In der noch laufenden Betriebsbewährungserprobungsphase werden weitere Erkenntnisse zum Kraftstoffverbrauch aus realen Fahrzyklen gesammelt.

#### Summary

#### Simulation and comparison of two operating modes of the drive system for HELMS locomotives

The new serial-parallel-hybrid-driven system of HELMS-shunting locs (Hybrid-Electro-Mechanical-Shunter) is very flexible and therefore allows different operating strategies of the newly named locomotives BR 1094. Two basic operating modes of the hybrid drive are compared simulatively.

