

Diesel-Hybrid-Triebwagen

Ein Überblick über die Entwicklungen der letzten Jahre.

► Die Hybridisierung von Schienenfahrzeugen mit dieselmotorischem Antrieb verspricht eine deutliche Reduktion des Kraftstoffverbrauches sowie der Emissionen. Allen Hybridfahrzeugen gemein ist dabei das Vorhandensein eines zweiten Energiespeichers (neben dem Kraftstofftank) auf dem Fahrzeug, der einen Teil der während der Bremsvorgänge umgesetzten Energie aufnehmen kann. Rangierlokomotiven und Dieseltriebwagen für den Nah- und Regionalverkehr eignen sich besonders für diesen Ansatz. Im Falle der Rangierlokomotiven kann diesbezüglich vor allem die Diskrepanz zwischen den kurzzeitig abgerufenen Spitzenleistungen und der geringen abgegebenen mittleren Leistung in Verbindung mit einem hohen zeitlichen Leerlaufanteil herausgestellt werden [1].

Im Gegensatz dazu steht bei Dieseltriebwagen im Nahverkehr aufgrund der teilweise sehr geringen Haltestellenabstände das häufige Beschleunigen und Bremsen im Vordergrund; ein Umstand, der die Wiedergewinnung von Bremsarbeit mittels eines zusätzlichen Energiespeichers besonders attraktiv macht.

Es sind deshalb in den zurückliegenden Jahren zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten zur Frage der geeigneten Speicherauswahl und Antriebskonfiguration von Hybrid-Triebwagen durchgeführt worden (siehe u. a. [2, 3, 4, 5, 6, 22]).

Neben den genannten theoretischen Studien sind jedoch weltweit auch eine Reihe innovativer Fahrzeugkonzepte tatsächlich

realisiert worden, die in den meisten Fällen als Erprobungsträger dienen bzw. dienen oder sich, wie im Falle einiger fernöstlicher Hybrid-Triebwagen, bereits im regulären Betriebseinsatz befinden. Besonders in Japan und den Vereinigten Staaten von Amerika, teilweise aber auch in Europa, rückt derzeit schon die nächste Generation von Hybridfahrzeugen in den Mittelpunkt der Forschung. Dabei handelt es sich um Brennstoffzellen-Fahrzeuge, die um einen elektrochemischen Energiespeicher ergänzt werden (siehe u. a. [7, 8, 9, 10, 11]). Die hohen Kosten und geringe Leistungsfähigkeit der heute verfügbaren Brennstoffzellen, eine fehlende Wasserstoff-Infrastruktur sowie ungeklärte Fragen zur Sicherheit von Wasserstofftanks in Fahrzeugen zur Personenbeförderung setzen einer raschen Verbreitung dieser Technologie jedoch vorerst Grenzen [7]. Es ist daher auch weiterhin sinnvoll, die Beschäftigung mit „konventionellen“ Hybridfahrzeugen nicht zu vernachlässigen.

Im Folgenden wird eine Auswahl der im zurückliegenden Jahrzehnt projektierten Diesel-Hybrid-Triebwagen steckbriefartig vorgestellt. Eine tabellarische Übersicht wichtiger Kenndaten der betrachteten Fahrzeuge enthält Tabelle 1.

NEW ENERGY TRAIN (NE TRAIN)

Seit dem Jahr 2002 wird seitens der Ost-Japanischen Eisenbahngesellschaft (JR East Railway Company) die Entwicklung von



Dr.-Ing. Martin Kache

Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Technik spurgeführter Fahrzeuge, TU Dresden
martin.kache@tu-dresden.de

Hybrid-Dieseltriebwagen vorangetrieben [12, 13]. Dabei wurde zunächst ein Versuchsträger gebaut, der als „New Energy Train“ oder kurz „NE-Train“ bezeichnet wurde und möglichst viele Baugruppen aus regulären Bestandsfahrzeugen enthalten sollte (z. B. Drehgestelle, Wagenkasten, Fahrmotoren). Es wurde eine dieselektrische Grundkonfiguration des Antriebes gewählt, die durch die Einbindung einer Lithium-Ionen-Batterie in den elektrischen Zwischenkreis zu einem seriell-hybriden Antrieb erweitert wurde. Das Ergebnis war ein Bo'2'-Triebwagen, der über einen neu entwickelten emissionsarmen Dieselmotor mit einer Leistung von 331 kW verfügte und über einen Drehstrom-Asynchron-Generator zwei Fahrmotoren (ebenfalls Drehstrom-Asynchron-Maschinen) mit je 95 kW Leistung versorgte. Da der Lithium-Ionen-Speichertechnologie auf dem Gebiet der elektrischen Speichertechnik das größte Entwicklungspotential zugetraut wurde, entschied man sich für einen solchen Speicher mit einem Nenn-Energieinhalt von 10 kWh.

Bei der Wahl der Antriebskonfiguration spielte von vornherein die Erwägung eine

TABELLE 1: Ausgewählte Charakteristika der vorgestellten Hybrid-Triebwagen

Bezeichnung	NE Train	KiHa E200	HB-E300	InnoTech Train	V-train 2	LIREX Experimental	BR 642 Hybrid
Betreiber	JR East	JR East	JR East	JR Hokkaido	Network Rail	DB AG	DB AG
Status	Erprobungsträger	Serienfahrzeug	Serienfahrzeug	Erprobungsträger	Erprobungsträger	Erprobungsträger	Erprobungsträger
Hybridart	seriell	seriell	seriell	parallel	seriell	seriell	parallel
Fahrzeugmasse	k. A.	40,0 t	163,1 t	34,2 t	k. A.	149,0 t	ca. 70 t
Radsatzanordnung	2'Bo'	2'Bo'	2'Bo'+Bo'2'	2'B'	Bo'Bo'+2'2'	A'1'A'A'+A'A'1'A'	B'(2)B'
Dieselmotorleistung	331 kW	331 kW	2 x 331 kW	243 kW	1678 kW	1352 kW	2 x 315 kW
Speichertyp	Li-Ionen-Batterie	Li-Ionen-Batterie	Li-Ionen-Batterie	Li-Ionen-Batterie	Li-Ionen-Batterie	Schwungmassenspeicher	Li-Ionen-Batterie
Speichermasse	k. A.	ca. 200 kg	ca. 2x200 kg	k. A.	1000 kg	400 kg	k. A.
Speicherenergieinhalt	10,0 kWh	15,2 kWh	2 x 15,2 kWh	7,5 kWh	48,0 kWh	2 x 2,0 kWh	k. A.

Rolle, den Dieselmotor mittelfristig durch Brennstoffzellen zu ersetzen und den Versuchsträger somit auch nach Abschluss der Untersuchungen zum diesel-hybriden Antrieb zu Experimenten mit weiteren innovativen Antriebskonfigurationen zu nutzen.

Im Jahre 2003 begann der Testbetrieb des „New Energy Train“ auf verschiedenen Strecken im Großraum Tokio [12]. Dabei wurde die Leistungsfähigkeit des Prototyps unter Beweis gestellt und das Wechselspiel unterschiedlicher Betriebszustände untersucht. Das Fahrzeug konnte im reinen Batteriebetrieb auf eine Geschwindigkeit von 70 km/h beschleunigt werden. Ein vollständiges Nachladen der Batterie durch generatorisches Bremsen allein war nicht möglich, sodass von der Möglichkeit, den Ladezustand der Batterie durch einen Energietransfer vom Dieselmotor anzuheben, Gebrauch gemacht werden musste. Streckenabhängig konnten zwischen 14 und 33% der Traktionsenergie rekuperiert werden. Die erreichbare Kraftstoffeinsparung wurde seitens JR East mit 10 bis 20% angegeben.

HYBRID-TRIEBWAGEN KIIHA E200

Auf den mit dem „New Energy Train“ gesammelten Erfahrungen aufbauend, wurden von JR East die Hybrid-Triebwagen der Baureihe KiHa E200 entwickelt [14]. Drei Fahrzeuge sind im Jahre 2007 in Betrieb genommen worden und verkehren seitdem im Regelbetrieb auf der Koumi-Linie der genannten Eisenbahngesellschaft. Zum Herbst 2010 wurden weitere 10 Fahrzeuge durch den Betreiber bestellt, die vor allem für touristische Verkehre eingesetzt werden sollten [15].

Die Antriebsausrüstung entspricht weitgehend der des „New Energy Trains“, allerdings wurde der Nenn-Energieinhalt der Batterie auf 15,2 kWh erhöht.

Bezüglich der 79 km langen Koumi-Strecke, auf der die ersten 3 Fahrzeuge regelmäßig verkehren bzw. verkehrten, wurde eine Reduzierung des Kraftstoffbedarfes um 10% erzielt, die mit einer Senkung der in den Abgasen enthaltenen Schadstoffe von 60% einherging [14]. Allerdings muss bei diesen Werten beachtet werden, dass auf ähnliche Fahrzeuge einer älteren Fahrzeuggeneration referenziert wird und sich damit Effekte von Remotorisierung und Hybridisierung überlagern.

HYBRID-TRIEBWAGEN HB-E300

Bei den im Jahre 2010 von der Ostjapanischen Eisenbahngesellschaft (JR East) eingeführten Hybrid-Triebwagen der Baureihe HB-E300 handelt es sich um die Adaption des aus der Baureihe KiHa E200 und dem



BILD 1: Alstom LIREX Experimental nach seiner Abstellung im Werk Delitzsch (Foto: Autor)

„New Energy Train“ bekannten Antriebskonzeptes für ein zweiteiliges Fahrzeug [13]. Die Fahrzeuge verkehren auf verschiedenen Regionalstrecken im Regelbetrieb.

INNOVATIVE TECHNOLOGY TRAIN

Der „Innovative Technology Train“ ist ein Versuchsfahrzeug der japanischen Hokkaido Eisenbahngesellschaft, dessen Entwicklung im Jahre 2002 begann. Es handelt sich um einen Hybrid-Dieseltreibwagen, der vor dem Umbau unter der Bezeichnung KiHa 160 geführt wurde und eine hydromechanische Leistungsübertragung aufwies. Das Fahrzeug und seine Ausrüstung werden in [7] und [16] ausführlicher beschrieben.

Im Gegensatz zu den vorstehend beschriebenen Fahrzeugen von JR East handelt es sich in diesem Falle um eine parallel-hybride Antriebskonfiguration. Im Zuge der Entwicklung des Erprobungsträgers wurde das herkömmliche hydromechanische Getriebe gegen ein neu entwickeltes mechanisches Lastschaltgetriebe ausgetauscht, das die mechanische Verbindung sowie den Leistungsaustausch zwischen Treibrädern, Dieselmotor und Hybridzweig realisiert. Letzterer besteht aus einer Drehstrom-Asynchronmaschine mit einer Nennleistung von 123 kW im motorischen bzw. 150 kW im generatorischen Betrieb, einem Umrichter sowie einer Lithium-Ionen-Batterie mit einem Energieinhalt von 7,5 kWh. Ein komplexes Leistungsmanagement sorgt dafür, dass über 30(!) Betriebszustände realisiert werden können. Für einen Standard-Fahr-

zyklus ist dabei eine rein elektrische Beschleunigung bis zu einer Geschwindigkeit von 45 km/h vorgesehen, erst dann wird der Dieselmotor zugeschaltet. Eine Aufladung der Batterie erfolgt nicht nur während der Bremsungen, sondern auch im Fahrzeugauslauf, sodass der Verbrennungsmotor sich in diesem Betriebsmodus nicht im Leerlauf befindet, sondern Leistung direkt in den Hybridzweig abgibt. Die im Vorfeld der in den Jahren 2007 und 2008 absolvierten Testfahrten durchgeführten Simulationsrechnungen ließen eine Kraftstoffeinsparung zwischen 15 und 20% erwarten. Die praktischen Erfahrungen mit diesem Versuchsträger sollten in die Entwicklung kommerziell genutzter Serienfahrzeuge einfließen, allerdings sind dazu bislang keine dem Autor zugänglichen Veröffentlichungen verfügbar.

HITACHI V-TRAIN 2

Am 03.05.2007 wurde der britischen Öffentlichkeit ein Hybridfahrzeug als Erprobungsträger für die Lithium-Ionen-Speichertechnologie präsentiert, das auf einem Triebkopf der britischen dieselelektrischen Baureihe 43 (auch als „High Speed Train (HST) bekannt) beruhte. Die folgenden Ausführungen stützen sich im Wesentlichen auf die Veröffentlichungen zum Thema in der Railway Gazette International [17, 18].

Der dieselelektrische Antriebsstrang dieser für den hochwertigen Reisezugdienst konzipierten Fahrzeuge wurde um einen elektrochemischen Energiespeicher ergänzt. Ferner wurden die herkömmlichen »



BILD 2: Siemens Desiro Hybrid-Triebwagen auf der InnoTrans 2012

(Foto: Autor)

Gleichstrom-Fahrmotoren durch zeitgemäße Drehstrom-Asynchronmaschinen ersetzt und die entsprechende Leistungselektronik eingebaut. Der Energiespeicher umfasste 48 Lithium-Ionen-Batteriemodule mit einem Energieinhalt von je 1 kWh sowie einer Masse von 20 kg je Einheit. Da die Speichermasse und das Speichervolumen auf dem Bestandsfahrzeug der Class 43 nicht untergebracht werden konnten, wurde der unmittelbar hinter dem Triebkopf laufende Waggon zu einem „Batterie-Tender“ umgebaut. Die Ladung der Batterie erfolgte während der Bremsungen durch die generatorisch betriebenen Fahrmotoren, konnte aber auch während der Fahrt bei überschüssiger Dieselmotorleistung durchgeführt werden. Während des Fahrzeugstillstands (etwa in Bahnhöfen) war eine Abschaltung des Dieselmotors vorgesehen. Die Beschleunigung des Fahrzeuges erfolgte bis zu einer Geschwindigkeit von 30 km/h rein elektrisch, erst dann wurde der konventionelle Antriebsstrang zugeschaltet.

Das Fahrzeug wurde zunächst auf einer museal betriebenen Strecke erprobt und dann im Rahmen eines Mess-Zuges (genannt „New Measurement Train“) des britischen Infrastrukturbetreibers Network Rail eingesetzt. Die Erprobung endete im Sommer 2008, danach erfolgte ein Rückbau des Triebkopfes auf konventionelle Antriebstechnik. Im Betrieb konnten Kraftstoffersparungen zwischen 12% auf Strecken mit langen und 20% auf solchen mit kurzen Haltestellenabständen nachgewiesen werden [19].

ALSTOM CORADIA LIREX

In Deutschland wurde die Entwicklung hybrider Antriebstechnik zunächst von der Firma Alstom mit der Entwicklung des Alstom Coradia LIREX Experimentals vorangetrieben. Bei diesem handelt es sich um einen sechsteiligen, modular aufgebauten, dieselektrischen Nahverkehrstriebzug, der

als Technologie-Träger für verschiedene Innovationen im Schienenfahrzeugbau diente, wobei die Applikation von Schwungmassenspeichern den im Zusammenhang mit dieser Übersicht wichtigsten Aspekt darstellt. Das Fahrzeug wurde in enger Kooperation von Alstom LHB und Deutscher Bahn AG entwickelt und auf der Fachmesse InnoTrans 2000 erstmals der Öffentlichkeit vorgestellt. Im Zuge der Projektierung des Zuges wurde der Einbau großer Schwungräder mit einem Nenn-Energieinhalt von 6 kWh erwogen. Allerdings wurden wegen einer beschleunigten Fahrzeug-Zulassung schließlich technisch ausgereifere Speicher mit 2 kWh Energieinhalt verbaut [20].

Regelungstechnisch waren 6 verschiedene Betriebsmodi vorgesehen, die eine Wiedergewinnung von Bremsarbeit, einen emissionsfreien Betrieb, eine Versorgung der Hilfsbetriebe durch die Speicher im Fahrzeugstillstand und den kombinierten Antrieb durch Dieselmotoren und Schwungmassenspeicher erlaubten.

Während der Projektstart und die Speicher- bzw. Antriebsauslegung in der Fachliteratur ausführlich dargestellt worden sind (siehe u. a. [20, 22]), lassen sich kaum Aussagen zu den konkreten Ergebnissen der Betriebserprobung finden. Einzig für kurze Haltestellenabstände wird eine praktisch erzielte Kraftstoffersparnis zwischen 9 und 10% angegeben [21, 23].

Das Fahrzeug wurde im Jahre 2006 abgestellt und ist seitdem nicht mehr im regulären Einsatz bei der DB AG gewesen.

Während es in Deutschland derzeit keine dem Autor bekannten weiterführenden Projekte zur Integration von Schwungradspeichern auf Schienenfahrzeugen gibt, wurde in Großbritannien im Sommer 2012 ein solches Vorhaben angekündigt [24]. Dabei sollen Dieseltriebwagen mit hydro-mechanischer Leistungsübertragung um einen Schwungradspeicher der Firma Ricardo ergänzt werden, der mit einem neuartigen

ventilgesteuerten hydrostatischen Antrieb (der „Artemis Digital Displacement™ Maschine“) gekoppelt ist.

BR 642 DER DB AG MIT MTU HYBRID-POWERPACK™

Auf der InnoTrans 2012 stellte die Deutsche Bahn AG einen Versuchsträger zur Erprobung des von der Firma MTU konzipierten Hybrid-Powerpacks™ vor [25]. Dabei handelt es sich um einen umgebauten Triebwagen der Baureihe 642 (Siemens Desiro Classic). Das Hybrid-Powerpack™ wurde von MTU bereits auf der vorangegangenen Messe (2010) präsentiert und zunächst auf einem Prüfstand getestet. Es handelt sich im Wesentlichen um ein konventionelles MTU-Powerpack™, das um einen Lithium-Ionen-Speicher und eine leistungsfähige elektrische Maschine erweitert wurde, die als „Kurbelwellenstartergenerator“ zwischen dem Hauptantrieb des Dieselmotors und dem Getriebeeingang der hydromechanischen Leistungsübertragung angeordnet ist [26]. Mit dieser parallel-hybriden Antriebskonfiguration sollen verschiedene Betriebsmodi (kombinierter Betrieb, Rekuperationsbremsung, emissionsfreier Betrieb u. a.) umgesetzt werden.

Um die durch die Hybridrüstung zusätzlich auf dem Fahrzeug unterzubringende Masse zu kompensieren, wurde die Inneneinrichtung derart geändert, dass die Flächen für Stehplätze und Traglasten reduziert wurden. Die Masse des Fahrzeuges bei maximaler Auslastung konnte so begrenzt werden.

Das mittels Simulation ermittelte Kraftstoffesparpotential durch die Hybridisierung wird von MTU mit 15 – 25% angegeben [27]. Nach erfolgter Zulassung des Erprobungsträgers für den Fahrgastbetrieb, deren Einholung bis Ende 2012 geplant war, wurde ein Probetrieb im regulären Reisezugdienst auf der Maintalbahn zwischen Aschaffenburg und Miltenberg durchgeführt.

ZUSAMMENFASSUNG

Wie die aufgeführten Beispiele für realisierte Hybrid-Triebwagen-Projekte zeigen, lassen sich durch die Implementation zusätzlicher Energiespeicher und (elektrischer) Antriebsausrüstung auf Dieseltriebwagen deutliche Reduktionen des Kraftstoffverbrauches erzielen. Wie dargelegt, wurden sowohl parallel- als auch seriell-hybride Antriebskonfigurationen umgesetzt und teilweise bis zur Serienreife entwickelt. Ähnlich wie im Automobilbau nimmt Japan bislang auch im Bereich der schienengebundenen Hybridfahrzeugentwicklungen eine Pionierrolle ein. Auf die Ursachen hierfür soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden, da eine

eingehende Analyse sicherlich genug Material für einen eigenständigen Artikel böte. Es bleibt jedoch zu hoffen, dass den ersten erfolgreichen Projekten sowohl in Deutschland als auch in weiteren europäischen Ländern weitere Fahrzeugentwicklungen folgen werden und das Potential dieser neuen Klasse von Fahrzeugen vollumfänglich im praktischen Betrieb ausgenutzt werden kann. Es wäre dabei wünschenswert, wenn Fragen der Finanzierung und Förderung sowie der Zulassungsfähigkeit von Prototypen und Serienfahrzeugen im Interesse des technischen Fortschrittes pragmatisch und mit strategischem Weitblick gelöst werden können. ◀

Literatur

[1] Kache, Martin „Hybridlokomotive – ein globaler Überblick“, in: ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, Bd. 63, H. 10, 2014, S. 32–36

[2] Discher, Andreas: „Prototyp zur hydrostatischen Energie-Rekuperation bei Dieseltriebwagen“, Dissertation, TU Dresden, 2010

[3] Dittus, Holger; Hülsebusch, Dirk; Ungethüm, Jörg: „Reducing DMU fuel consumption by means of hybrid energy storage“, in: European Transport Research Review 3 (2011), S. 149–159, <http://dx.doi.org/10.1007/s12544-011-0053-6>, ISSN 1867–0717

[4] Leska, Maike; Prabel, Robert; Rauh, Andreas; Aschermann, Harald: „Simulation and Optimization of the Longitudinal Dynamics of Parallel Hybrid Railway Vehicles“ in: Schnieder, Eckehard (Hrsg.); Tarnai, Geza (Hrsg.): FORMS/FORMAT 2010. Springer Berlin Heidelberg, 2011. – ISBN 978–3–642–14260–4, S. 155–164

[5] Kache, Martin: „Modellierung, Simulation und Bewertung parallel-hybrider Antriebskonfigurationen für dieselhydraulische Triebwagen im Nah- und Regionalverkehr“, Dissertation, TU Dresden, 2014 <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-149909>

[6] Read, M. G.; Griffiths, C und Smith, R. A.: „The effect of driving strategy on hybrid regional diesel trains.“ in: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit 224 (2010), S. 1–9. <http://dx.doi.org/10.1243/09544097JRRRT374>

[7] Furuta, Ryosuke; Kawasaki, Junji und Kondo, Keiichiro: „Hybrid Traction Technologies with Energy Storage Devices for Nonelectrified Railway Lines“ in: IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Bd. 5, H. 3, 2010, S. 291–297

[8] Miller, A. R.; Hess, K. S.; Barnes D. L. und Erickson, T. L.:

„System design of a large fuel cell hybrid locomotive“, in: Journal of Power Sources, Bd. 173, H. 2, 2007, S. 935–942

[9] Miller, A. R.; Hess, K. S.; Barnes D. L. und Erickson, T. L.: „Zero-Emission, Hydrogen-Fuelcell Locomotive for Urban Rail“, in: Proceedings of the 8th World Congress on Railway Research, Seoul (Korea), 2008

[10] Miller, Arnold R.; Hess, Kris S.; Erickson, Timothy L. und Dippe, James L.: „Fuelcell-Hybrid Shunt Locomotive: Largest Fuelcell Land Vehicle“, in: IET Conference on Railway Traction Systems (RTS 2010)

[11] Yamamoto, Takamitsu; Hasewaga, Hitoshi; Furuya, Takemasa und Ogawa, Kenichi: „Energy Efficiency Evaluation of Fuel Cells and Battery Hybrid Railway Test Vehicles“, in: Quarterly Report of the Railway Technical Research Institute, Bd. 51, H. 3, 2010, S. 115–121

[12] Fujii, Taketo; Teraya, Nobutsugu und Osawa, Mitsuyuki: „Development of an NE train“, in: JR East Technical Review, H. 4/2004, S. 62–70

[13] Japan Overseas Rolling Stock Association: Japanese Railway Information No. 119, März 2012

[14] Shiraki, N.; Satou, H. und Arai, S.: „A hybrid system for diesel railcar series Ki-Ha E200“, in: International Power Electronics Conference (IPEC) 2010, Konferenzband, S. 2853–2858

[15] N.N.: „JR East announces hybrid train fleet“, in: Online-Ausgabe der Railway Gazette International, <http://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/jr-east-announces-hybrid-train-fleet.html>, abgerufen am: 19.09.2014

[16] Ihara, H.; Kakinuma, H.; Sato, I.; Inaba, T.; Anada, K.; Morimoto, M.; Oda, T.; Kobayashi, S.; Ono, T.; Karasawa, R.: „Development of Motor-Assisted Hybrid Traction System.“ in: Proceedings of the 8th World Congress on Railway Research. Seoul, Korea : International Railway Research Board, 2008. – http://www.uic.org/cdrom/2008/11_wccr2008/pdf/R.2.2.3.4.pdf - abgerufen am 21.09.2014

[17] Grantham, Andrew: „Hybrid High Speed Train unveiled“ in: Online-Ausgabe der Railway Gazette International (04.07.2007), <http://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/hybrid-high-speed-train-unveiled.html>, abgerufen am: 19.09.2014

[18] Grantham, Andrew: „Hybrid technology enters the real world“ in: Online-Ausgabe der Railway Gazette International (01.07.2007), <http://www.railwaygazette.com/news/business/single-view/view/hybrid-technology-enters-the-real-world.html>, abgerufen am: 19.09.2014

[19] N.N.: „Battery hybrid trial ends“, in: Railway Gazette International, Bd. 164, Nr. 10, 2008

[20] Witthuhn, Martin: „Schwungradspeicher in Dieseltriebfahrzeugen“, in: Elektrische Bahnen (eb), Bd. 100, H. 3, 2002, S. 110–113

[21] Söffker, Carsten: „Einsatz eines Rotationsenergiespeichers in einem dieselelektrischen Triebzug“, in: Konstruktion/Zeitschrift für Produktentwicklung und Ingenieur-Werkstoffe, Bd. 57, H. 5, 2005, S. 28–30

[22] Söffker, Carsten: „Konzeption und Erprobung eines

Schwungradspeichers in einem diesel-elektrischen Triebzug“, Dissertation, TU Clausthal, 2006, veröffentlicht in: Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 616

[23] Söffker, Carsten und Tutzaer, René: „Bahn-Antriebstechnik für sensible Streckenabschnitte und zur Energierückgewinnung“, in: Elektrische Bahnen (eb), Bd. 105, H. 7, 2007, S. 403–411

[24] N.N.: „DMUs to test regenerative braking.“ in: Railway Gazette International Bd. 168 (2012), H. 6, S. 46

[25] N.N.: „Deutsche Bahn und MTU stellen Hybridtriebwagen vor“, in: ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, Bd. 61, H. 9, 2012, S. 36–37

[26] Lehmann, Ingo; Schmalzing, Claus-Oliver; Werner, Claus und Bold, Uwe: „Hybrid-Powerpack für nachhaltigen und umweltfreundlichen Triebwagenantrieb“, in: ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, Bd. 60, H. 11, 2011, S. 18–23

[27] Riegger, Peter; Lehmann, Ingo; Werner, Claus und Kohl, Thomas: „Alternative Antriebskonzepte für Diesel-Triebwagen unter Verwendung eines Hybrid-PowerPacks und Nachweis der technischen Alltagstauglichkeit“, in: Tagungsband 11. Internationale Schienenfahrzeugtagung Rad-Schiene, Dresden, 2011, S. 50–52

► SUMMARY

Diesel-hybrid multiple units – a historical synopsis of the developments of recent years

The development of diesel multiple units with hybrid drives has made massive progress in recent years. The Japanese railway companies in particular have developed this technology far enough to be ready for series production and already have a comparatively large number of hybrid multiple units in regular revenue operation. The article sums up the hybrid vehicle projects that have reached completion in both the Far East and Europe in the recent past. The author both outlines the technical specifications of the selected vehicles and summarises the operational results that have been published. The latter show that the fuel saving that can be achieved through hybrid drives in real operations lies between 10 and 20%.

KORRIGENDUM

Zu zwei der Abbildungen (Bild 5 und 6) aus dem Beitrag Hybridlokomotive – Ein globaler Überblick von Dr. Martin Kache

in ETR 10/14, Seite 32 bis 36 gibt es noch etwas nachzutragen: Bei der Berechnung der Steigfähigkeit war versehentlich die Lokomotivmasse unterschlagen worden, sodass sich insbesondere für kleine An-

hängmassen und geringe Geschwindigkeiten Abweichungen von den korrekt berechneten Werten ergeben.

Hier zudem die korrigierten Abbildungen.

