

Hybridlokomotive – Ein globaler Überblick

Welche Ansätze zum Bau von Hybridlokomotiven wurden bisher praktisch umgesetzt und welche Einspareffekte sind von diesen innovativen Fahrzeugen zu erwarten?

EINFÜHRUNG

Dieseltreibfahrzeuge leisten noch immer einen wesentlichen Beitrag zur Erfüllung der Transportaufgaben im Eisenbahnverkehr. Auch in Ländern mit hohem Elektrifizierungsgrad werden Diesellokomotiven im Personenverkehr auf Nebenstrecken sowie im Rangier-, Werks- und Verteilerverkehr oder im grenzüberschreitenden Verkehr eingesetzt. Auf dem amerikanischen Kontinent oder in Australien bilden Diesellokomotiven demgegenüber das Rückgrat des schweren Güterverkehrs und sind im Rangierdienst ebenfalls unverzichtbar. Allerdings spielt weltweit die Reduktion von Kraftstoffkosten sowie der Lärm- und Abgasmissionen eine immer wichtigere Rolle, sodass vermehrt nach alternativen Antrieben für Triebfahrzeuge auf nicht elektrifizierten Streckenabschnitten gesucht wird. Hybriden Antriebssträngen kommt dabei als Brückentechnologie bei dem Übergang von der klassischen Diesel-Antriebstechnik zu den

Antrieben der Zukunft eine hohe Bedeutung zu.

Im Folgenden soll deshalb ein globaler Überblick über verschiedene Hybridlokomotive gegeben und die dabei zugrunde liegenden Konzepte umrissen werden.

GRUNDSÄTZLICHE ERWÄGUNGEN

Ein hybrider Antriebsstrang ermöglicht die Erzeugung von Antriebskräften mit Hilfe zweier unabhängiger Energiespeicher, die beide auf dem Fahrzeug mitgeführt werden. Der erste Speicher ist der konventionelle Kraftstofftank, während die zweite Speichertechnologie nach Abwägung vielfältiger Randbedingungen (Leistungsfähigkeit, Sicherheit, Lebenszykluskosten u. a.) gewählt wird. Die Konzeption hybrider Antriebsstränge umfasst also immer die Implementierung mindestens eines zusätzlichen Energiespeichers auf dem Fahrzeug inklusive der ggf. erforderlichen Peripherie zu dessen



Dr.-Ing. Martin Kache

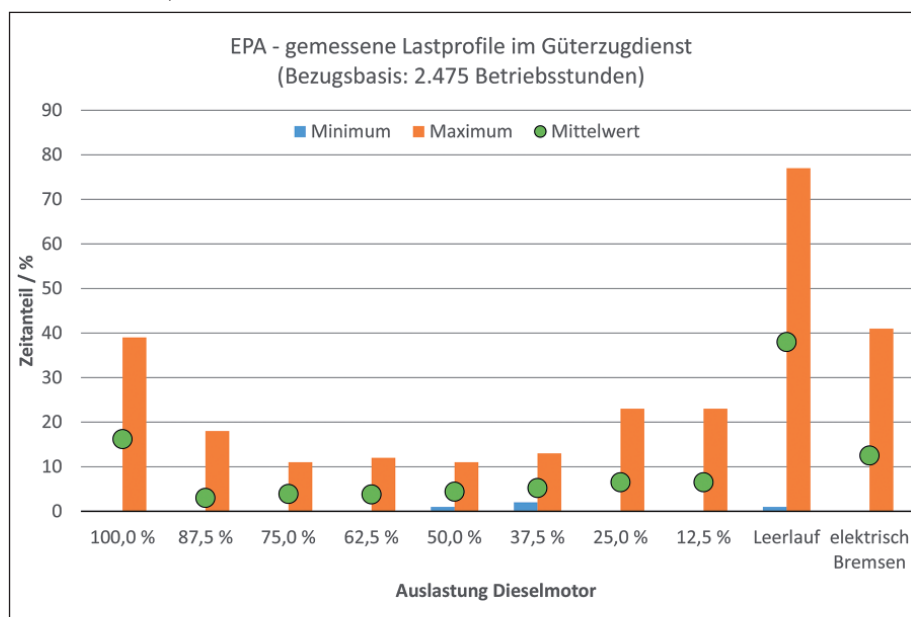
Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Technik spurgeführter Fahrzeuge, TU Dresden
martin.kache@tu-dresden.de

Überwachung, Ansteuerung, Befestigung, Kapselung und Kühlung. Dies geht gewöhnlich mit der Reduktion der Dieselmotorleistung (Downsizing) einher, da der zusätzliche Raumbedarf auf anderem Wege nicht geschaffen werden kann bzw. die zulässige Fahrzeugmasse überschritten würde.

Die Praktikabilität eines Hybridierungsansatzes ist deshalb eng mit dem Lastprofil der jeweiligen Fahrzeuge verbunden, da die Reduktion der Dieselmotorleistung nur dann keinen nennenswerten Einfluss auf das Betriebsverhalten der Fahrzeuge hat, wenn die Maximalleistung möglichst selten bzw. nur für kurze Zeiträume gefordert wird.

Verschiedene Akteure haben deshalb in den letzten Jahren umfangreiche empirische Untersuchungen zu Lastprofilen für verschiedene Verkehrsarten vorgenommen. Die von der US-amerikanischen Umweltschutzbehörde EPA (U.S. Environmental Protection Agency) veröffentlichten Ergebnisse [8] werden in den Bildern 1-3 wiedergegeben. Dabei werden sowohl die ermittelten durchschnittlichen Zeitanteile (Bilder 1-3: grüne Punkte) der verschiedenen Motorauflastungen als auch die jeweils gemessenen Minimal- und Maximalwerte (Bilder 1-3: blaue bzw. orange Säulen) dargestellt. Es wird zunächst ersichtlich, dass die Streuung der abgeforderten Dieselmotorleistungen in allen Einsatzszenarien sehr hoch ist und es deshalb keine Hybridlösung geben wird, die optimal auf alle möglichen Einsatzprofile innerhalb der genannten Kategorien (Rangier-, Güter- und Reisezugverkehr) abgestimmt ist. Andererseits wird gerade für die Klasse der Rangierlokomotiven (Bild 2) deutlich, dass diese in besonderem Maße für eine Hybridisierung des Antriebsstranges geeig-

BILD 1: EPA-Lastprofil für Diesellokomotiven im Güterverkehr [8]



net ist. So wird die maximale Dieselmotorleistung im klassischen Rangierbetrieb nur für sehr kurze Perioden (<5% der gesamten Betriebszeit) tatsächlich ausgenutzt und es gibt überdies sehr lange Zeiträume, in denen die Motoren im Leerlauf betrieben werden. Zudem ist davon auszugehen, dass die Einsatzbedingungen im Rangierbetrieb überall auf der Welt ähnlich sind, da sie im Vergleich zum Reise- und Güterzugverkehr weniger stark von landesspezifischen Faktoren (wie reguläre Zugmassen, Streckentopographie und -höchstgeschwindigkeiten, Haltestellenabstände etc.) beeinflusst werden. So lassen sich die in Bild 2 gezeigten Richtwerte am ehesten auch auf europäische Verhältnisse übertragen. Die in [1] veröffentlichten Analysen des Betriebsverhaltens der französischen Diesellok BB 63000 im Rangier- und Verschiebedienst zeigen beispielsweise mit einem Leerlauf-Anteil von ca. 65% gegenüber einem Anteil der Voll- und hohen Teillast von 15% ein ähnliches Lastspektrum.

Aus den zuvor genannten Gründen handelt es sich bei den bis dato entwickelten Hybridlokomotiven im Wesentlichen um solche für den Rangier- und leichten Verschiebedienst, wie im Folgenden gezeigt wird.

RAILPOWER GG20B (GREENGOAT)

Anfang der ersten Dekade dieses Jahrhunderts entwickelte die amerikanisch-kanadische Firma Railpower Technologies Corporation hybride Rangierlokomotiven auf Basis von ventilgeregelten Blei-Säure Batterien [3]. Die Fahrzeuge gingen aus dem Umbau von Altbau-Diesellokomotiven mit elektrischer Leistungsübertragung hervor, die ursprünglich über Dieselmotoren mit einer Nennleistung von 670–2600 kW verfügten. Diese wurden jeweils durch ein kleineres Diesel-Generator-Aggregat (GenSet) mit einer Leistung von 224 kW ausgetauscht [7], das in einem energetisch günstigen Betriebspunkt betrieben wird und dabei ausschließlich die Batterien nachlädt. Die Auslegung erfolgte dabei so, dass kurzzeitig eine Traktionsleistung von 1500 kW durch die Batterien erzeugt werden kann. Die Rekuperation von Bremsarbeit ist aufgrund der kurzen Bremszeiten im Rangierbetrieb und der schlechten Ladeakzeptanz der Blei-Säure-Batterien nicht vorgesehen.

Im realen Betrieb konnten Kraftoffeneinsparungen zwischen 40 und 60% nachgewiesen werden [1, 7], was vor allem auf die drastische Reduzierung der Zeiträume zurückzuführen ist, in denen der Motor in Leerlauf betrieben wird. Nach anfänglichen Verkaufserfolgen traten Zuverlässigkeitsprobleme auf und es kam zu einem einzelnen Feuerschaden.

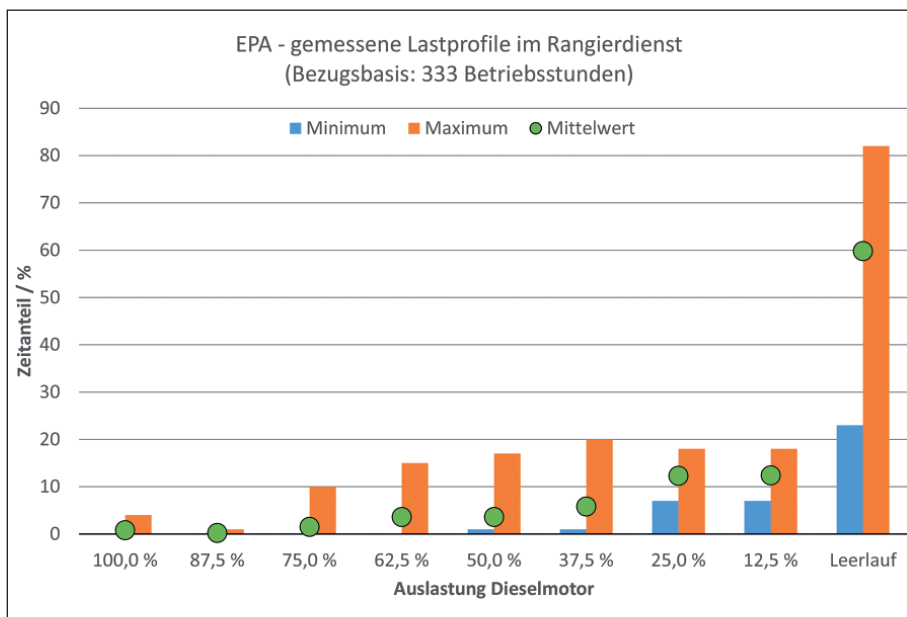


BILD 2: EPA-Lastprofil für Diesellokomotiven im Rangierverkehr [8]

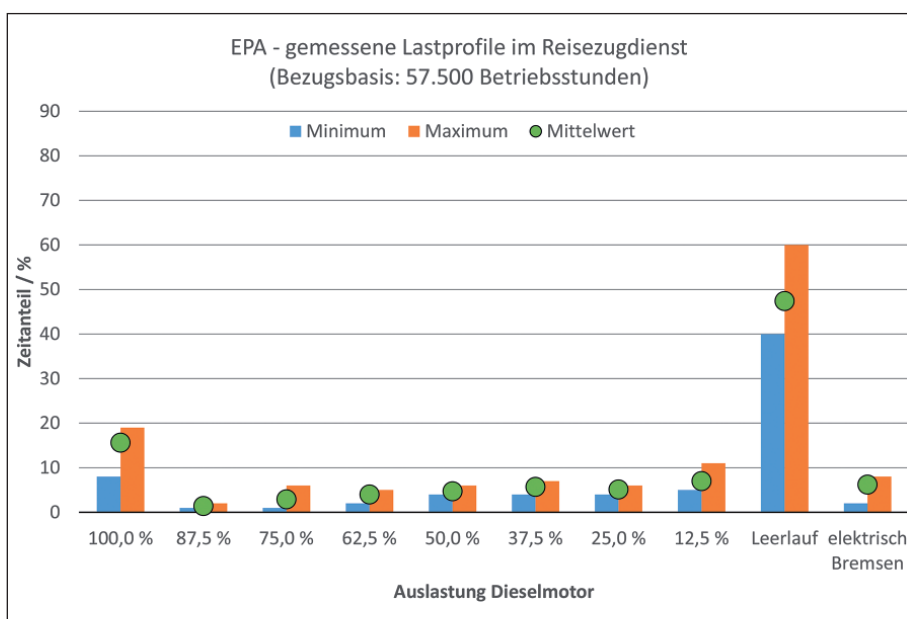


BILD 3: EPA-Lastprofil für Diesellokomotiven im Reisezugverkehr [8]

Beides führte dazu, dass der Hersteller die ausgelieferten Fahrzeuge im Rahmen einer Rückrufaktion überprüfte und überarbeitete [13]. Das Geschäft mit diesen auf technische Einfachheit und geringe Kosten ausgelegten Hybrid-Rangierlokomotiven entwickelte sich in der Folge suboptimal. Die Firma Railpower Technologies ist deshalb mittlerweile in der Unternehmensgruppe R.J. Corman Railroad aufgegangen.

Eine weitere Hybridlokomotiventwicklung für den amerikanischen Markt ist die GE Evolution Hybrid von General Electric, für die der Hersteller durch die Nutzung der Bremsarbeitsrekuperation eine Kraftstoffersparnis von 10% verspricht [14]. Allerdings gibt es

dazu bisher nach Kenntnis des Autors leider keine substantiellen Publikationen.

PROJEKT PLATHÉE (FRANKREICH)

Die im Rahmen des „Plathée“-Projektes¹⁾ in Frankreich entwickelte Hybridlokomotive auf Basis der Baureihe BB 36000 der SNCF fußt auf einem ähnlichen Konzept wie die bereits vorgestellte kanadisch-amerikanische Lokomotive. Auch hier fungiert ein elektrischer Speicher als Puffer von Leis-

1) Das Akronym PLATHEE steht sinngemäß für „Plattform für hybride, energiesparende und umweltfreundliche Züge.“ »



BILD 4:
BR203H von Alstom
(Foto: Autor)

ALSTOM HYBRID

In Deutschland trieb die Firma ALSTOM die Entwicklung hybrider Rangierlokomotiven voran. Dazu wurden nicht mehr benötigte dieselhydraulische Lokomotiven der V100-Familie der Deutschen Reichsbahn einem umfassenden Umbau unterzogen (Bild 4) [12]. Die erste so entstandene Hybridlok wurde der Öffentlichkeit im Rahmen der InnoTrans 2006 präsentiert. Der ursprüngliche Dieselmotor sowie das Strömungsgetriebe wurden entfernt und durch ein Diesel-Generator-Aggregat (Leistung: 238 kW) ersetzt. Dieses speist Energie in einen Zwischenkreis ein, aus dem sowohl die zwei Drehstrom-Asynchron-Traktionsmotoren (1 Motor pro Drehgestell) als auch die Neben- und Hilfsbetriebe versorgt werden. Zusätzlich wird eine Nickel-Cadmium (NiCd)-Batterie (Nennspannung: 600 V, Energieinhalt: 102 kWh) in den Zwischenkreis eingebunden, die sowohl durch das Dieselgenerator-Aggregat als auch durch die während der Bremsungen generatorisch wirkenden Traktionsmaschinen aufgeladen werden kann [12]. Im Traktionsbetrieb kann die Batterie einerseits unterstützend wirken und damit die Traktionsleistung maximieren oder andererseits als alleinige Energiequelle dienen und somit einen lokal emissionsfreien Betrieb ermöglichen.

Das Demonstratorfahrzeug wurde bei verschiedenen Eisenbahnverkehrsunternehmen im praktischen Einsatz getestet. Es konnten Kraftstoffeinsparungen von 30% im Vergleich zu modernen diesel-elektrischen Rangierlokomotiven erreicht werden [4]. Die positiven Erfahrungen führten zum Bau von vier weiteren baugleichen Hybridlokomotiven, die von der Mitteldeutschen Eisenbahngesellschaft (MEG) angemietet wurden [2].

Die Erfahrungen mit der BR 203H flossen bei Alstom auch in die Entwicklung einer neuen Lokomotiv-Generation ein. So wird auch die neu entwickelte 3-achsige Rangierlok als Hybrid-Variante angeboten werden [9].

TOSHIBA HD300 (JAPAN)

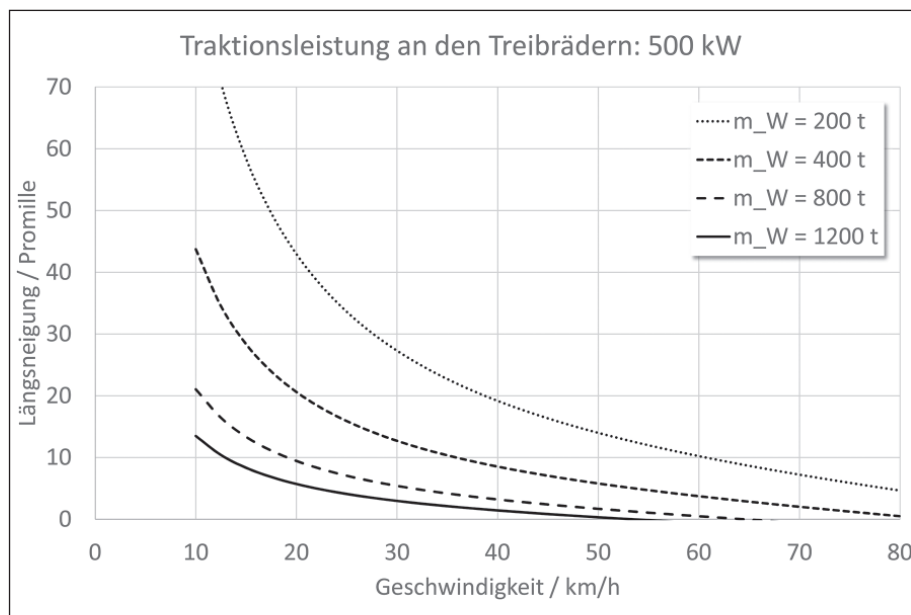
Im März 2010 produzierte die Güterverkehrssparte der Japanischen Eisenbahn (Japan Freight Railway Company) eine Hybrid-Rangierlokomotive für den Betriebsdienst auf dem Tokioter Güterbahnhof [5]. Sie verfügt über einen Dieselmotor mit einer Leistung von 242 kW und eine Lithium-Ionen-Batterie mit einem Nenn-Energieinhalt von 67,4 kWh. Der Antrieb erfolgt über Permanentmagnet-Synchronmaschinen, die hinsichtlich ihrer Energieeffizienz den Drehstrom-Asynchronmaschinen überlegen sind [15]. Damit stellt die HD300 im Rahmen des

tungsspitzen und wird bei Bedarf von einem GenSet (235 kW) nachgeladen [16]. Allerdings ist der elektrische Speicher wesentlich komplexer als im Falle der Railpower GG20B, da er als Kombinationsspeicher aus Doppelschichtkondensatoren (Energieinhalt: 12 kWh) und elektrochemischen Speicherelementen auf Nickel-Cadmium-Basis (Energieinhalt: 50 kWh) ausgebildet ist. Erstere dienen vor allem der Abdeckung kurzer Leistungsspitzen, während Letztere die Basisleistung für die Traktion und zur Versorgung der Hilfsbetriebe zur Verfügung stellen.

Mit der so konfigurierten Lokomotive wurde ein umfangreiches Testprogramm absolviert, das sowohl Streckenfahrten als auch Rangierbetrieb umfasste. Die Versuche wur-

den ebenfalls mit einer Schwestermaschine, die über einen konventionellen dieselektrischen Antriebsstrang verfügte, durchgeführt, um Referenzdaten zu erheben. Dabei zeigte sich, dass die Hybridlokomotive im Streckenbetrieb ca. 20% weniger Kraftstoff verbrauchte [6]. Allerdings gelang es nicht, die elektrischen Speicher am Ende der Fahrt wieder vollständig aufzuladen, da der Leistungsüberschuss des GenSets im Durchschnitt nicht für das Nachladen ausreichte [16]. Erwartungsgemäß zeigten sich die größten Einspareffekte im Rangierbetrieb (-40% im Vergleich zum konventionellen Fahrzeug) sowie während der Fahrzeughalte (-86%) [6, 16].

BILD 5: Abschätzung der Steigfähigkeit von beladenen Güterzügen bei einer verfügbaren Treibradleistung von 500 kW



hier gegebenen Überblickes die fortschrittlichste Lokomotive dar.

Die Traktionsbatterie wird über einen großen Ladehub ausgenutzt und ist so ausgelegt, dass auch bei niedrigen Umgebungstemperaturen ein sicherer Betrieb möglich ist. Die Betriebsstrategie sieht einen rein elektrischen Betrieb vor, solange der Ladezustand der Batterie hoch ist. Bei Unterschreitung eines Grenz-Ladezustandes wird das Diesel-Generator-Aggregat angeschaltet und mit konstanter Leistung bei optimalem Wirkungsgrad betrieben, um die Traktionsbatterie wieder aufzuladen [15].

Bei Versuchen auf dem Tokioter Güterbahnhof wurde bei Rangierarbeiten mit Containerzügen, deren Masse im Durchschnitt 700 t betrug, eine Kraftstoffeinsparung von 36% sowie eine Reduzierung von Stickoxid-Emissionen von 61% im Vergleich zu den herkömmlichen diesel-elektrischen Rangierloks erzielt [15].

SONSTIGE PROJEKTE

Im Jahre 2011 haben die beiden russischen Hersteller Sinara und Polyet jeweils eine neu entwickelte Hybrid-Rangierlok vorgestellt

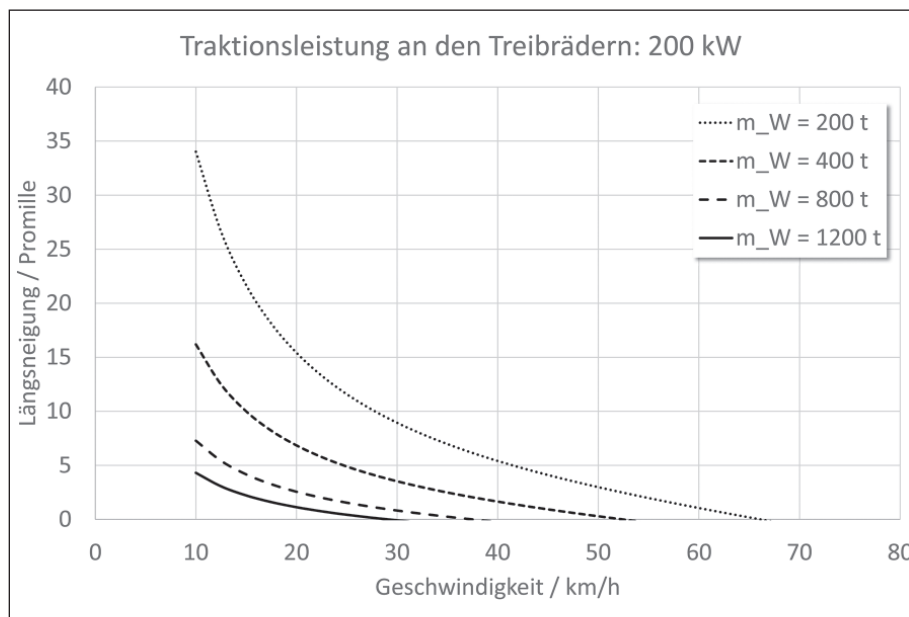


BILD 6: Abschätzung der Steigfähigkeit von beladenen Güterzügen bei einer verfügbaren Treibradleistung von 200 kW

[10]. Erstgenannter Hersteller entwickelte eine als TEM9H bezeichnete Lokomotive, die neben einem Dieselmotor mittlerer Leistung (630 kW) auch über einen kombinierten elektrischen Energiespeicher aus Lithium-

ionen-Batterien und Doppelschichtkondensatoren verfügt. Der Loktyp ist für einen Einsatz im gesamten europäischen Raum konzipiert und sollte ab 2013 in Serie produziert werden. Der Hersteller verspricht eine »

Nord-Lock® – die zuverlässige Schraubensicherung



Die **Nord-Lock Keilsicherungstechnologie** ist seit Jahrzehnten das bewährte Prinzip zur Sicherung von Schraubenverbindungen.

Die original Nord-Lock Keilsicherungsscheiben **mit Zulassung des Eisenbahn-Bundesamtes** sind nach DIN 25 201 ein rein mechanisches Befestigungselement. Sie sichern zuverlässig Schraubenverbindungen verschiedener **Ankersysteme** von Lärmschutzwänden. Spontanes Lösen von Schraubenverbindungen bei der **Befestigung von Lärmschutzwänden**, aufgrund von Vibrationen durch Druck- und Sogwirkungen, kann somit verhindert werden.

Die Vorteile

- Maximale Sicherheit für Ankersysteme von Lärmschutzwänden
- Sicherung durch Klemmkraft anstatt durch Reibung
- Schnelle und einfache Montage



	Railpower GG20B	Plathée	BR 203H	Toshiba HD300
Status	Serie	Versuchsträger	Serie	Serie
Dieselmotorenleistung	224 kW	220 kW	238 kW	242 kW
Max. Traktionsleistung	1500 kW	400 kW	ca. 420 kW	500 kW
Energiespeicherart	Blei-Säure	DSK + NiCd	NiCd	Li-Ionen
Energiespeicherinhalt (nominell)	840 kWh	12 kWh + 50 kWh	102 kWh	67 kWh
Höchstgeschwindigkeit	96 km/h	80 km/h	60 km/h	55 km/h
Masse	130 t	68 t	68 t	60 t
Radsatzfolge	B'B'	B'B'	B'B'	Bo'Bo'

TABELLE 1:
Ausgewählte Kenndaten
der im Beitrag vorgestellten
Hybridlokomotiven
[1, 2, 4, 5, 6, 7, 12, 15, 16]

Kraftstoffersparnis von bis zu 40% gegenüber herkömmlichen Rangierlokomotiven [10].

Bei dem zweiten erwähnten Produkt des Herstellers Polyet handelt es sich um ein Fahrzeug mit vergleichsweise geringer Leistungsfähigkeit, das für den Rangierbetrieb auf Werks- und Anschlussbahnen in Russland entwickelt wurde. Es verfügt über einen Dieselmotor, der lediglich 60 kW leistet und mit einer herkömmlichen Blei-Säure-Batterie interagiert [10].

Auch die chinesische Fahrzeugindustrie engagiert sich in Hybrid-Lokomotiv-Projekten. Es wurde eine 6-achsige schwere Rangierlok gebaut und einem zweijährigen Testprogramm unterzogen. Es soll dabei eine Kraftstoffeinsparung von 45% erzielt worden sein [11].

SCHLUSSBEMERKUNGEN

Die wichtigsten Kenndaten der vier eingangs beschriebenen Lokomotiven sind noch einmal in Tabelle 1 zusammengefasst. Es wird deutlich, dass von den verschiedenen Akteuren sehr unterschiedliche Strategien hinsichtlich des Einsatzes elektrischer Speichertechnologien verfolgt wurden. So standen bei der amerikanischen Entwicklung (GG20B) vor allem die Kosten und die Forderung nach Einfachheit im Vordergrund. Demgegenüber ist die japanische Konzeption einer Lokomotive mit Li-Ionen-Speichern und permanent-erregten Drehstromsynchronmotoren sehr ambitioniert und fortschrittlicher als die übrigen vorgestellten Lokomotiven.

Allen im Rahmen dieses Artikels betrachteten Fahrzeugen ist gemein, dass sie aufgrund der limitierten Leistungsfähigkeit der elektrischen Speicher über deutlich geringere Traktionsleistungen als vergleichbare konventionelle Lokomotiven verfügen. Obwohl kurzzeitige Leistungsspitzen, wie sie für den Rangier- und Verschiebedienst charakteristisch sind, kurzzeitig generiert werden können, ist das Spektrum der Dauerleistungen, insbesondere dann, wenn die elektrischen

Speicher entleert sind, auf einem vergleichsweise geringen Niveau angesiedelt. Dies führt jedoch dazu, dass eine Freizügigkeit beim Einsatz solcher Fahrzeuge nur bedingt gegeben ist. Die Bilder 5 und 6 zeigen eine Abschätzung der Steigfähigkeit von lokbespannten Güterzügen in Abhängigkeit der Wagenzugmasse für jeweils 200 und 500 kW Treibradleistung. Insbesondere in Einsatzfällen, bei denen die Lokomotiven sowohl für Rangier- als auch Übergabefahrten genutzt werden, wie etwa im Einzelwagen- bzw. Verteilerverkehr, ist es absehbar, dass die vorgestellten Konzepte an ihre Grenzen stoßen. Das gilt insbesondere dann, wenn Zugmassen von mehr als 200 t über Strecken befördert werden müssen, bei denen aufgrund dichter Zugfolge höhere Geschwindigkeiten (>60 km/h) angestrebt werden sollen (Bild 5 und 6).

Mit der Weiterentwicklung der elektrischen Speichertechnik wird dieser Nachteil wahrscheinlich verringert oder beseitigt werden können. Für Traktionsleistungen, die sich ausschließlich auf den Rangier- oder Werksverkehr beschränken, sind die vorgestellten Fahrzeugkonzepte jedoch heute schon hervorragend geeignet und können einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung von Kraftstoffverbrauch und Emissionen leisten. ◀

Literatur

- [1] Akli, Cossi R.: Conception systématique d'une locomotive hybride, Université de Toulouse, Institut National Polytechnique Toulouse, Dissertation, Juni 2008
- [2] Ciry, Bernard: Les locomotives hybrides d'Alstom. In: Revue générale des chemins de fer (2011), Januar, S. 56–57
- [3] Cousineau, R.: Development of a hybrid switcher locomotive the Railpower Green Goat. In: Instrumentation Measurement Magazine, IEEE 9 (2006), Februar, Nr. 1, S. 25–29. <http://dx.doi.org/10.1109/MIM.2006.1634954>. – DOI 10.1109/MIM.2006.1634954. – ISSN 1094–6969
- [4] Girard, Hervé: Hybrid Shunter Locomotive. In: Proceedings of the 8th World Congress on Railway Research. Seoul, Korea : International Railway Research Board, Mai 2008
- [5] Japan Overseas Rolling Stock Association: Japanese Railway Information No. 119. Version: März 2012. <http://jorsa.or.jp/en/jri/>, Abruf: 21.11.2012.
- [6] Jeunesse, Alain: Plathée: la locomotive hybride de la SNCF. In: Revue générale des chemins de fer (2012), Avril (April), Nr. 4, S. 6–45

- [7] Locomotive Technology Taskforce: Locomotive Vehicle/Technology Overview / AASHTO – American Association of State Highway and Transport Officials. 2011. – Report. – url: http://www.highspeed-rail.org/Documents/technology-vehicle_report-final-2011aug11.pdf – abgerufen am: 21.11.2012
- [8] N.N.: Locomotive Emission Standards / United States Environmental Protection Agency. Version: 1998. <http://www.epa.gov/otaq/documents/420r98101.pdf>. (EPA-420-R-98-101). – Regulatory Support Document
- [9] N.N.: Alstom entwickelt neue Plattform für Rangierlokomotiven. In: ZEVrail 135 (2012), November-Dezember, Nr. 11-12, S. 478
- [10] N.N.: Hybrid-Rangierloks aus Russland. In: EI – Der Eisenbahningenieur 43 (2012), Februar, Nr. 2, S. 59
- [11] N.N.: Hybrid shunting locomotive offers 45% fuel saving. Online-Ausgabe der Railway Gazette International. <http://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/hybrid-shunting-locomotive-offers-45-fuel-saving.html>. Version: November 2012. – abgerufen am: 23.11.2012
- [12] Oostra, J. ; Dunger, W.: Hybrid-Rangierlokomotive: Technik und Anwendungen. In: ZEVrail 133 (2009), September, Nr. 9, S. 365–369
- [13] railwaygazette.com: Green Goats penned. <http://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/green-goats-penned.html>. Version: Juli 2007. – Abruf: 18.07.2014
- [14] railwaygazette.com: GE unveils hybrid locomotive. <http://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/ge-unveils-hybrid-locomotive.html> Version: Juli 2007. – Abruf: 18.07.2014
- [15] Soeda, Tadashi: Type HD300 Hybrid Shunting Locomotive. In: Japanese Railway Engineering 52 (2012), Juli, Nr. 176, S. 1–4
- [16] Thiounn-Guermeur, Marina: Evaluation of the hybrid locomotive PLATHEE – A Platform for Energy Efficiency and Environmentally Friendly Hybrid Trains, 9th World Congress on Railway Research, Lille, 2011

► SUMMARY

Hybrid locomotive projects – a global overview

Hybrid locomotives hold out the promise of substantial fuel savings and emission reductions, provided, however, that the operational constraints are favourable for the deployment of hybrid drives. Pure shunting operations are particularly appropriate for the use of such vehicles. The author presents an overview of the various hybrid locomotive projects that have been developed in recent years. Selected vehicle concepts are illustrated along with the savings potential achieved with them in practice.

The author also draws attention to the limitations imposed by the restricted continuous output of hybrid drives for special deployment cases on the basis of a rough calculation of vehicle dynamics.