

Vectron Dual Mode – keeps going where the wire ends

Vectron Dual Mode – keeps going where the wire ends

Dipl.-Ing. Irene Brade, Dipl.-Ing. Jochen Emde, Erlangen (Deutschland),
Dipl.-Ing. Maximilian Röpfer, München (Deutschland), Dipl.-Ing. Jürgen Schurr, Erlangen (Deutschland)

Zusammenfassung

Der Vectron Dual Mode ist die Antwort auf die Transportherausforderungen der heutigen Zeit. Basierend auf der ausgereiften Technik des Eurorunner ER20 und des Vectron DE bietet er weiterhin die Flexibilität einer großen Streckendiesellok. Darüber hinaus bietet der Vectron Dual Mode die Möglichkeit, bei Erreichen eines elektrifizierten Streckenabschnittes die elektrische Energie aus der Fahrleitung zu beziehen und somit sowohl Instandhaltungs- als auch Energiekosten deutlich zu reduzieren und dabei einen wesentlichen Umweltbeitrag zu leisten. Das Umschalten zwischen Elektro- und Dieselmotoren ist ohne anzuhalten und größtenteils automatisiert möglich. Die Traktionscharakteristik ist in beiden Betriebsarten etwa gleich. Somit ist der Vectron Dual Mode die richtige Lokomotive für Verkehre auf teilweise elektrifizierten Strecken, unter Nutzung der Fahrleitung wo vorhanden. Der Vectron Dual Mode vereint das Beste aus zwei Welten.

Abstract

Vectron Dual Mode is the answer for today's transport challenges. Building on the mature technology of Eurorunner ER20 and Vectron DE, it offers the flexibility of a large mainline diesel locomotive. In addition, Vectron Dual Mode allows power to be taken from the overhead wire in electrified track sections, distinctly reducing both maintenance and energy costs while making a significant environmental contribution. Switching between electric and diesel operation is largely automated and can be done without stopping. The traction characteristic is nearly the same in both modes. All this makes Vectron Dual Mode the right locomotive for traffic on partially electrified tracks, using the overhead wire where available. Vectron Dual Mode combines the best of two worlds.

1 Ausgangslage

Aufgrund der aktuellen Umweltdiskussionen und des damit verbundenen Rufes nach Minimierung der Lärm- und Abgasemissionen werden klassische Diesellokomotiven in Europa heute als ‚kritisch‘ angesehen. Die Forderungen nach Fahrverboten von Dieselfahrzeugen in den Ballungsräumen und Innenstädten werden künftig voraussichtlich nicht nur für PKW gelten, sondern eventuell auch für Schienenfahrzeuge.

Der Großteil der Gütertraktion auf der Schiene erfolgt heute auf stark ausgelasteten, elektrifizierten Hauptstrecken durch leistungsfähige E-Lokomotiven. Auf den

nicht elektrifizierten Strecken abseits der Hauptkorridore (ca. 40% des deutschen Streckennetzes!) sowie auf Anschlussgleisen wird dieser Verkehr durch Streckenlokomotiven mit Dieselantrieb oder Rangierlokomotiven bewerkstelligt.

Mittlerweile werden die verschiedensten alternativen Antriebskonzepte, wie beispielsweise Batterie-, Wasserstoff- oder Brennstoffzelle, diskutiert. Einige sind – vorwiegend im Bereich der Triebzüge mit kleinem Leistungsbedarf – bereits in der Umsetzung.

Die derzeit verfügbaren Batterien besitzen bei weitem noch nicht die Kapazität, um die Antriebsenergie zum Bewegen schwerer Güterzüge auf typischen, d.h.

hügeligen und bogenreichen Strecken in ausreichender Geschwindigkeit und über einen längeren Zeitraum bereit zu stellen. Daher führt für betrieblich sinnvolle Güterverkehre auf nicht elektrifizierten Strecken, für die eine hohe Leistungsdichte bei gleichzeitig hoher Reichweite erforderlich ist, mittelfristig kein Weg an dem klassischen Dieselantrieb vorbei.

Allein schon aus wirtschaftlichen Gründen muss dieser Dieselantrieb einen minimal möglichen Kraftstoffverbrauch und damit CO₂-Ausstoß aufweisen. Ebenso müssen Abgas- und Lärmemissionen so gering wie möglich ausfallen. Im Hinblick auf eine weitere Verringerung des CO₂-Ausstoßes besteht darüber hinaus noch

Potenzial durch die Nutzung synthetischer, CO₂-neutral erzeugter Kraftstoffe. Das Entwicklungsziel war eine moderne, umweltfreundliche und leistungsstarke Streckenlokomotive, die die Vorzüge beider Traktionsarten in sich vereint, und es somit Betreibern ermöglicht, lange Zugläufe mit ein und demselben Triebfahrzeug im Wechsel auf elektrifizierten und fahrdrahtlosen Strecken zu führen. Ein solches Fahrzeug ergibt, sofern es zu einem attraktiven Preis verfügbar ist, für die Betreiber verringerte Investitionskosten (nur einer anstatt mindestens zwei Lokomotivtypen), eine relevante Zeiterparnis durch Entfall des Lokwechsels, sowie verringerte Trassenbenutzungsbühren durch kürzere Trassenbelegung bzw. Belegung von Trassen, die heute wegen ihrer nur abschnittswisen Elektrifizierung tendenziell weniger attraktiv und damit preiswerter sind. Der Instandhaltungs- und kostenintensive Dieselantrieb wird nur dann genutzt, wenn er wirklich betrieblich notwendig ist. Lange Laufzeiten des Verbrennungsmotors unter Fahrdraht werden somit effektiv vermieden.

2 Konzeptfindung

Vor diesem Hintergrund hat Siemens Mobility entschieden, die bestehende dieselelektrische Lokomotive Vectron DE durch das Hinzufügen der für den Elektrobetrieb erforderlichen Komponenten zu einer Zweikraft-Lokomotive (Dual Mode) weiterzuentwickeln. Ziel war es, den Entwicklungsaufwand möglichst gering zu halten sowie Grundkonzept und Komponenten vom betriebsbewährten Vectron DE zu übernehmen. Ferner sollten Erkenntnisse aus den bisherigen Betriebserfahrungen einfließen.

Ein weiteres zwingendes Ziel war es, dass der Anschaffungspreis eines Vectron Dual Mode im Vergleich zum Vectron DE nur unwesentlich höher ist und die aufgrund des erweiterten Funktionsumfangs zwangsläufig vorhandenen Mehrkosten sich durch die konzeptionellen Vorteile der Lok in wenigen Jahren amortisieren.

Aufgrund des Potenzials dieses Fahrzeugkonzepts erfolgte die Entwicklung des Vectron Dual Mode ohne vorliegenden Kundenauftrag, d.h. Siemens Mobility GmbH ist hierbei in Vorleistung gegangen. Dieses Vorgehen hat sich bereits bei

der Entwicklung der gesamten Vectron-Plattform bewährt.

Der Vectron Dual Mode stellt somit ein weiteres Mitglied der Vectron-Plattform dar. Er profitiert von der permanenten Weiterentwicklung der Plattform und von Funktionserweiterungen, welche abhängig von den Marktanforderungen hinzugefügt werden. Aber auch im After Sales sind aufgrund der in vielen Fällen gleichen Komponenten die Vorzüge der großen Vectron-Flotte von Nutzen.

Bei den bestehenden Komponenten des Vectron DE wurde besonderes Augenmerk auf den vorhandenen Dieselmotor gelegt. Um diesen ebenfalls zukunftsfähig zu machen, wurde er zur Erfüllung der nächsten Abgasstufe (EU Stage V) ab 1.1.2021 weiter ertüchtigt, ohne die Maschinenanlage zu verändern. Da bei den Betriebskosten des Dieselmotors der Anteil der Kraftstoffkosten je nach Einsatzprofil bis zu 90% beträgt, wurde bereits bei der Entwicklung des Vectron DE größter Wert auf einen optimal niedrigen Kraftstoffverbrauch gelegt.

Die dafür wesentlichen Faktoren

- verbrauchsgünstiger Dieselmotor MTU 16V 4000 R84,
- verbrauchsoptimale Betriebsführung des Dieselmotors,
- hoher Wirkungsgrad der Komponenten in der Leistungsübertragung und
- niedriger Leistungsbedarf der Hilfsbetriebe,

haben den Vectron DE zur verbrauchsgünstigsten Diesellok ihrer Leistungsklasse gemacht. Dieses Alleinstellungsmerkmal gilt ohne Einschränkung auch für den Vectron Dual Mode.

Bezüglich der Leistungsauslegung bestand die Vorgabe, am Rad sowohl im Elektrobetrieb als auch im Dieselmotorbetrieb eine etwa gleiche Traktionscharakteristik zu realisieren. Das mag zunächst „bescheiden“ klingen. Wenn man jedoch berücksichtigt, dass ein wesentliches Einsatzgebiet der Lokomotive die Beförderung von Zügen sein wird, die bereits heute von Dieselloks, teils unter Fahrdraht, befördert werden, so ergibt dies Sinn. Insbesondere erlaubt diese Auslegung auch weiterhin ein kostengünstiges 4-achsiges Fahrzeug, für den der bewährte Antriebsstrang des Vectron DE unverändert übernommen werden konnte. Auch der zen-

trale Stromrichterblock konnte – bis auf die Ergänzungen für den Einspeisebetrieb aus der Fahrleitung – vom Vectron DE übernommen werden.

Das Prinzipschaltbild der Traktionsausrüstung des Vectron Dual Mode ist in *Bild 1* dargestellt.

Die wichtigsten Kenndaten der Lok zeigt die *Tabelle 1*.

3 Leistungsauslegung

Mit einer Anfahrzugkraft von 300 kN in beiden Betriebsarten sowie einer hochwirksamen Adhäsionsregelung ist der Vectron Dual Mode uneingeschränkt für die Beförderung schwerer Züge geeignet. Durch eine Optimierung der Antriebsteuerung konnte die maximale Leistung im E-Betrieb auf 2.400 kW gesteigert werden. *Bild 2* zeigt das Zugkraft-Geschwindigkeitsdiagramm für beide Betriebsarten sowie die Fahrwiderstandskennlinien der zur Leistungsauslegung herangezogenen Züge für den Einsatz im Güterverkehr. Hierbei werden folgende Zugkraftüberschüsse erreicht:

- 2,5 N/kN Zugkraftüberschuss bei Geschwindigkeit 100 km/h mit Güterzug 1
- 3 N/kN Zugkraftüberschuss bei Geschwindigkeit 80 km/h mit Güterzug 2
- 3 N/kN Zugkraftüberschuss bei Geschwindigkeit 80 km/h mit Güterzug 3
- 2 N/kN Zugkraftüberschuss bei Geschwindigkeit 70 km/h mit Güterzug 4

Das Diagramm zeigt, dass Güterzüge mit üblichen Anhängelasten auch auf dicht belegten, elektrifizierten Hauptstrecken ohne Einschränkung befördert werden können.

Beim dynamischen Bremsen im Elektrobetrieb wird die Bremsenergie, wie bei modernen Drehstrom-Triebfahrzeugen üblich, in das Fahrleitungsnetz rückgespeist, wodurch der Energieverbrauch der Lokomotive um ca. 10% zurückgeht. Die Leistung der elektrischen Bremse beträgt im Elektrobetrieb 2.100 kW am Rad, im Dieselmotorbetrieb 1.700 kW (wie bereits beim Vectron DE).

Bild 3 zeigt das Bremskraft-Geschwindigkeitsdiagramm für elektrodynamisches Bremsen in beiden Betriebsarten.

Damit ist der Vectron Dual Mode für die zu erwartenden Transportaufgaben bestens ausgelegt und bietet ausreichend Beschleunigungsreserven, um die im Betrieb

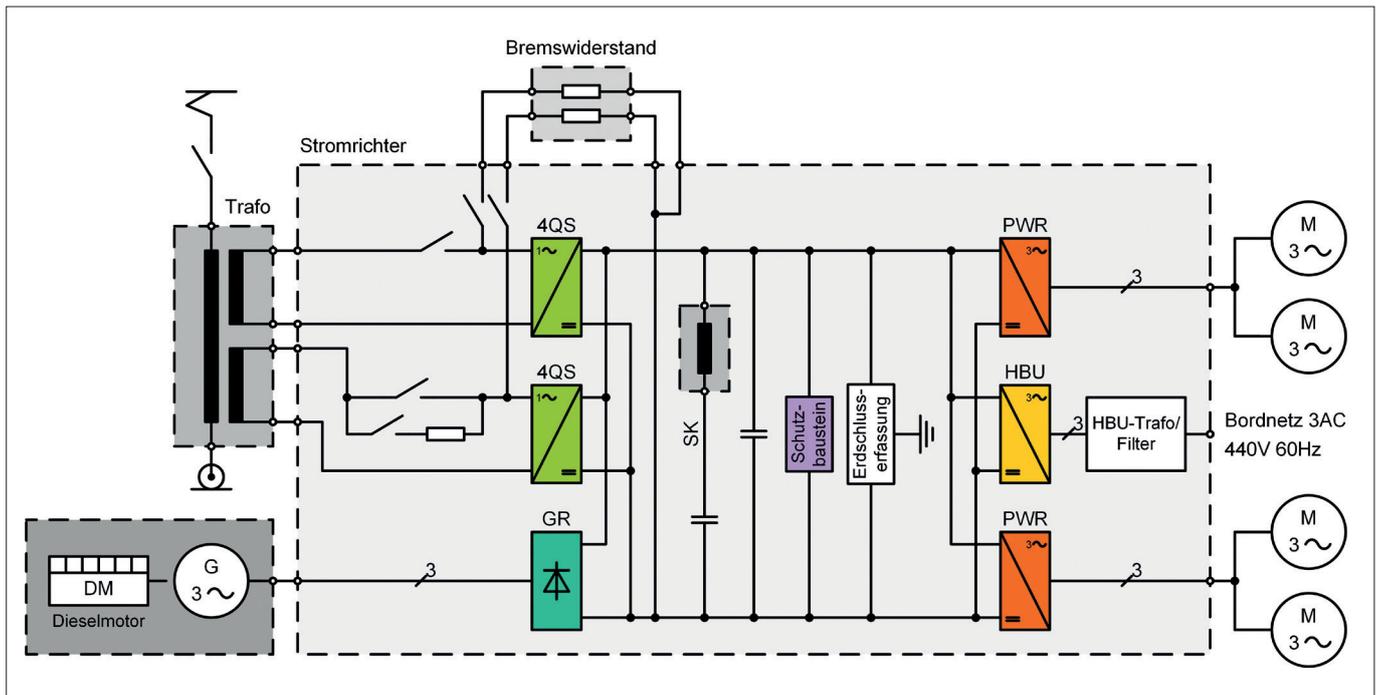


Bild 1: Prinzipschaltbild des Vectron Dual Mode

erforderlichen Höchstgeschwindigkeiten zu erreichen. Der erfolgreiche, mehrjährige Einsatz zweier Vectron DE-Lokomotiven im anspruchsvollen Autozug-Einsatz nach Sylt unter teilweise widrigsten Umgebungsbedingungen sowie Fahrten anderer Vect-

ron DE-Lokomotiven mit Anhängelasten > 3.000 t haben dies eindrucksvoll unter Beweis gestellt. Eine Mehrfachtraktion mit anderen Vectron-Lokomotiven sowie mit dem Eurorunner ER20 ist beim Vectron Dual Mode selbstverständlich möglich.

4 Mechanischer Aufbau

Die Lokomotive ist als Streckenlokomotive mit zwei Endführerständen und der Radsatzanordnung Bo'Bo' konzipiert. Die Führerräume sind identisch zur Vectron E-Lokomotive bzw. zur bisherigen Vectron DE-Lokomotive. Konzeptbedingt erfolgt der Übergang vom Führerraum in den Maschinenraum über eine Flucht- oder Wartungsgangtür. Die konstruktive Überleitung vom Vectron DE zum Vectron Dual Mode sichert durch das damit einhergehende Gleichteilekonzept die Ersatzteilversorgung beider Loktypen mit gleichen Komponenten. Der Maschinenraum (Bild 4) ist funktionsbedingt mittels zweier schraubbarer Trennwände in drei separate Kammern unterteilt:

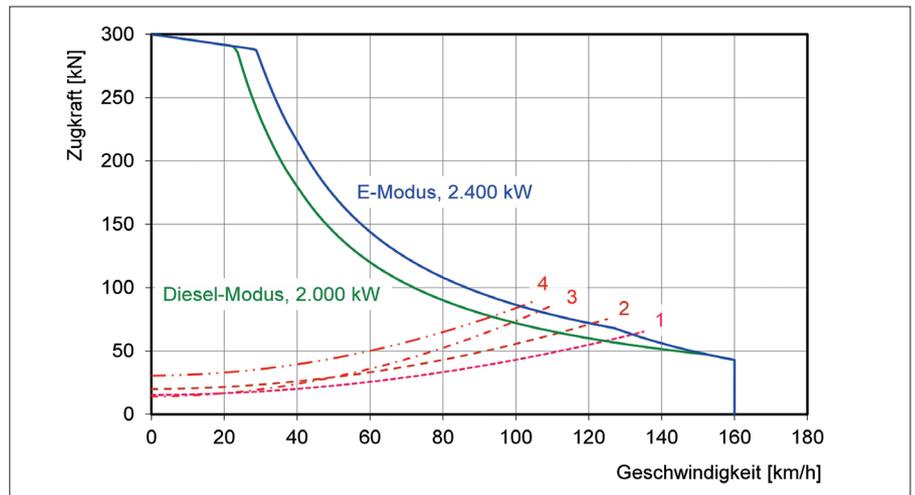
- Die hinter Führerraum 1 befindliche E-Kammer (Kammer 1) enthält die wichtigsten elektrischen Funktionsbaugruppen. Dazu zählen der Stromrichter (mit integriertem Umschaltgerüst zur Umschaltung des Energieflusses zwischen Elektrobetrieb und Dieseltbetrieb), das Hilfsbetriebezeug, die pneumatische Bremsausrüstung sowie die Luftfilteranlage für den Dieselmotor.

		Vectron Dual Mode
Radsatzanordnung		Bo'Bo'
Spurweite	[mm]	1.435
Betriebsmasse	[t]	88
Länge über Puffer	[mm]	19.975
Drehgestellmittenabstand	[mm]	10.800
Drehgestellradsatzabstand	[mm]	2.700
Treibraddurchmesser (neu/abgenutzt)	[mm]	1.100 / 1.020
Umgebungstemperatur	[°C]	-30 bis +40
Höchstgeschwindigkeit	[km/h]	160
Dieselmotorleistung (UIC)	[kW]	2.400
Anfahrzugkraft	[kN]	300
Max. Traktionsleistung am Rad	[kW]	Elektrobetrieb: 2.400 Dieseltbetrieb: 2.000
Dynamische Bremskraft	[kN]	150
Bremsleistung der dynamischen Bremse am Rad	[kW]	Elektrobetrieb: 2.100 Dieseltbetrieb: 1.700
Antriebsart		Ritzelhohlwellenantrieb (RHA)
Getriebeübersetzung		5,1
Kraftstoffbehälter Nutzbares Tankvolumen	[l]	2.600

Tabelle 1: Technische Kenndaten Vectron Dual Mode

- In der Mitte der Lokomotive befindet sich die nach außen hin vollständig gekapselte - und damit schalldämmte - Dieselmotorkammer (Kammer 2) mit Dieselantriebsanlage, Abgasanlage und Vorwärm-/Warmhaltegerät für den Dieselmotor.
- Im dritten Maschinenraumsegment befinden sich die Dieselmotorkühlanlage, der Bremswiderstand und der standardmäßig eingebaute Zugsicherungschrank.

Alle Komponenten im Maschinenraum sind mittig angeordnet. Zwei durchlaufende Seitengänge gewährleisten eine gute Zugänglichkeit zu Wartungszwecken bzw. zum Fahrtrichtungswechsel. Ein wesentliches Merkmal einer wenig komplexen Maschinenanlage ist die Verwendung lediglich eines Dieselmotors sowie die Zusammenfassung aller Baugruppen in sinnvolle, möglichst wenige und leicht tauschbare Einzelmodule. Hierdurch ergibt sich eine geringe Anzahl an Schnittstellen, was wiederum die Anzahl der möglichen elektrischen und mechanischen Fehlerquellen wie beispielsweise Öl-, Kühlmittel- oder Kraftstoffleckagen auf ein Minimum reduziert. Direkt oberhalb des Dieselmotors ist der in einem kompakten, robusten selbsttragenden Stahlgehäuse integrierte Partikelfilter inkl. Schalldämpferfunktion thermisch isoliert angeordnet. Im Inneren des Partikelfilters befinden sich einzeln tauschbare Filterelemente. Durch die gewählte Anordnung des Partikelfilters oberhalb des Motors werden Anzahl und Länge der thermisch hoch belasteten



- 4 Vectron DM + beladener Containerzug/Ganzzug 2.500 t Anhängelast in der Ebene
- 3 Vectron DM + gemischter Güterzug 1.200 t Anhängelast in der Ebene
- 2 Vectron DM + beladener Containerzug/Ganzzug 1.600 t Anhängelast in der Ebene
- 1 Vectron DM + beladener Containerzug/Ganzzug 1.200 t Anhängelast in der Ebene

Bild 2: Zugkraft-Geschwindigkeitsdiagramm für Elektro und Dieselbetrieb sowie Fahrwiderstandskennlinien der zur Leistungsauslegung herangezogenen Züge für den Einsatz im Güterverkehr

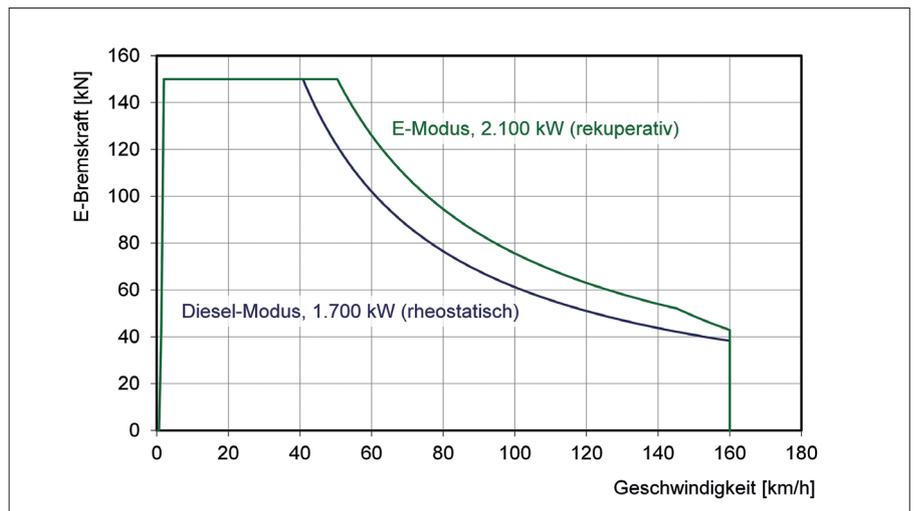


Bild 3: Elektrodynamisches Bremskraftdiagramm des Vectron Dual Mode

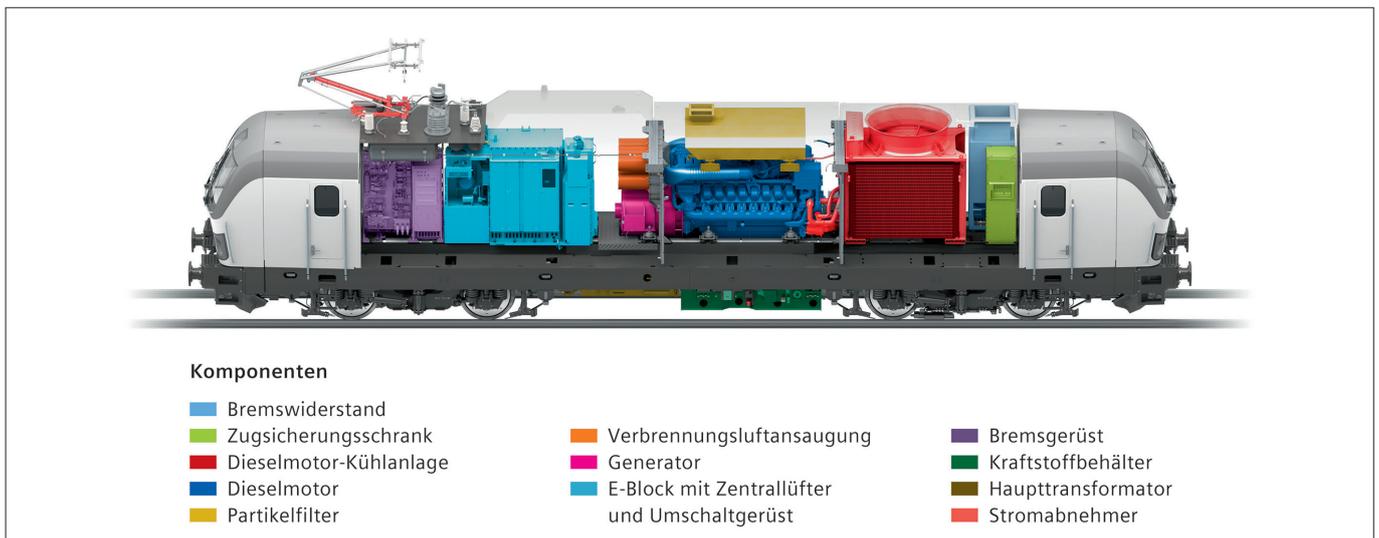


Bild 4: Maschinenraum-Layout des Vectron Dual Mode

Abgasleitungen sowie die Wärmeabstrahlung in die Motorkammer minimiert.

Direkt unterhalb der Maschinenanlage befindet sich der beidseitig befüllbare Kraftstofftank mit einem nutzbaren Volumen von 2.600 Liter sowie der Haupttransformator mit zugehöriger Kühlanlage. Die Kühlanlage des Haupttransformators weist drei Lüfter auf, die bedarfsweise einzeln zu- und abgeschaltet werden. Dadurch wird die Geräuschemission gerade in Bahnhöfen minimiert.

Ein Vorwärm-/Warmhaltegerät mit einer installierten Heizleistung von 35 kW sorgt für den verschleißarmen Start des Dieselmotors. Der Start selbst erfolgt mit Hilfe eines Anlasssystems auf der Basis von Doppelschichtkondensatoren, so genannten Ultra-Caps. Diese Energiespeicher sind, im Gegensatz zu konventionellen Starterbatterien, kleiner und leichter, praktisch wartungsfrei und haben ein wesentlich besseres Tieftemperaturverhalten. Dieses Konzept wurde erstmalig durch Siemens auf den ER20-Lokomotiven realisiert und hat sich mittlerweile aufgrund seiner Vorteile branchenweit durchgesetzt.

Die Seitenkühlanlage in Turmbauform dient ausschließlich der Kühlung des Dieselmotors. Hauptmerkmale des Kühlers sind der hydrostatisch angetriebene, stufenlos geregelte Kühlerlüfter und die Hochleistungsradiatoren aus Aluminium. Die Leistung der Kühlanlage wurde für hohe Belastung ausgelegt, so dass

der Dieselmotor bei Außentemperaturen von bis zu 35°C keine Leistungsreduzierung erfährt. Für Kontroll- und Wartungsarbeiten kann der Innenraum der Kühlanlage über eine stirnseitig angeordnete Wartungstüre niveaugleich betreten werden.

Im Gegensatz zu rein elektrischen Lokomotiven erfordert eine Lokomotive mit einem leistungsstarken Dieselaggregat einen wesentlich höheren Luftdurchsatz. Daher ist der Wagenkasten speziell an den Luftbedarf des Dieselaggregats angepasst. Die Verbrennungsluft wird gezielt durch die seitlich angebrachte Öffnung in der E-Kammer angesaugt. Ein Ansaugen von Abgas – wie es bei der Anordnung der Lufteinlässe im Dachbereich unweigerlich erfolgen würde – wird somit vermieden. Für den hohen Luftbedarf von Dieselmotorkühler und Bremswiderstand stehen großflächige Ansaugöffnungen im Kühlerabteil zur Verfügung. Auch hier wurde darauf geachtet, aerodynamische Kurzschlüsse zu vermeiden.

Die Lokomotive ist serienmäßig mit einer zweiteiligen Brandbekämpfungsanlage ausgerüstet. Wird durch die in Kammer 1 oder 2 installierten Rauch- und Feuerwarnrückmelder ein Brand detektiert, so erfolgt – abhängig vom Meldort des Sensors – eine gezielte Brandbekämpfung. In Kammer 1 strömt, nach Aktivierung der dortigen Löschanlage, das CO₂-Löschgas in den Raum sowie in die darin befindlichen Gerüste und

löscht den Brand rückstandsfrei. Sollte ein Brand in Kammer 2 detektiert werden, so wird er durch die hier vorhandene, separate Schaumlöschanlage wirkungsvoll gelöscht.

5 Dieselantriebsanlage

Der im Vectron Dual Mode eingesetzte Dieselmotor der Baureihe 4000 von MTU Friedrichshafen wurde bereits im Vectron DE verwendet (Bild 5). Die 16 Zylinder sind als V-Motor aufgebaut und liefern je Zylinder 150 kW, d.h. zusammen 2.400 kW Leistung an der Kurbelwelle. Im Leerlauf erfolgt durch die Motorsteuerung eine Zylinderabschaltung, d.h. der Motor wird in diesem Betriebszustand nur mit jeweils 8 Zylindern im Wechsel betrieben, wodurch der Kraftstoffverbrauch auch in diesem Betriebsbereich minimiert wird. Der Motor ist zweistufig aufgeladen. Die anteilige, motorinterne Abgasemissionsminderung erfolgt über eine gekühlte Abgasrückführung.

Durch die Auswahl eines speziell für die Bahnanwendung optimierten Großdieselmotors ist es möglich, diesen mittels geeigneter Motorsteuerungsparametrierung perfekt auf das Optimum von maximaler Traktionsleistung bei minimiertem Kraftstoffverbrauch unter Einhaltung der gegebenen Abgasgrenzwerte einzustellen.

5.1 Anforderungen an die Abgasemissionen durch den Gesetzgeber

Der europäische Gesetzgeber hat in den letzten zwanzig Jahren die Grenzwerte für Stickoxide und Partikel zum Schutz der Bevölkerung und der Umwelt stufenweise deutlich gesenkt. Die nachstehende Grafik zeigt diese Entwicklung der einzelnen Abgasstufen (Bild 6).

Der im Vectron Dual Mode eingesetzte Dieselmotor erfüllt bereits heute die ab 2021 gültige, europäische Abgasstufe V. Dabei ist es dem Hersteller gelungen, die darin geforderten Grenzwerte für die Stickoxide NO_x nur durch innermotorische Maßnahmen zu erreichen. Die Einhaltung der Grenzwerte für die Rußpartikel wird durch einen kombinierten Partikelfilter mit Schalldämpfer bewerkstelligt. Der Beladungszustand der im Partikelfilter eingesetzten Filterelemente wird durch die Motorsteuerung automatisch überwacht. Hat die Filterbeladung



I Bild 5: Dieselmotor MTU Reihe 4000

einen bestimmten Grenzwert erreicht, erfolgt – ebenfalls automatisch – eine Regeneration der Filterelemente durch die Motorsteuerung. Somit ist ein Ausbau der Filterelemente nur alle 8.000 Betriebsstunden erforderlich und kann im Rahmen eines Instandhaltungsschrittes erledigt werden.

Im Gegensatz zu vielen anderen modernen Dieselmotoren, welche die Abgasstufe EU V lediglich mithilfe einer aufwendigen Abgasnachbehandlung durch Harnstoffeinspritzung und Selective Catalytic Reduction (SCR) erfüllen, kommt die Diesel-Maschinenanlage des Vectron Dual Mode ohne diese Zusatzeinrichtung aus. Das Mitführen eines zusätzlichen Harnstofftanks sowie das regelmäßige Nachfüllen ist nicht erforderlich.

Dies ist gerade im Streckenlok-Betrieb mit oftmals wechselnden Betriebshöfen unterschiedlicher, infrastruktureller Ausstattungen ein großer Vorteil, da dadurch kein weiterer Betriebsstoff nachgefüllt werden muss. Abgesehen von den zusätzlichen Kosten und die zusätzlichen Tankstellen, kann für das Wartungspersonal der Umgang mit diesem stark korrosiven Betriebsstoff vermieden werden.

5.2 Kraftstoffverbrauch

Der Optimierung des Kraftstoffverbrauchs wurde von Anfang an höchste Bedeutung beigemessen.

Dieser wurde im Rahmen der Entwicklung des Vectron DE nach Auswertung vorhandener Felddaten in mehreren Iterationsschleifen optimiert, so dass er heute – bestätigt durch entsprechende Rückmeldungen bisheriger Kunden und temporärer Mieter – trotz strengerer Abgasemissionsgesetzgebung und Leistungssteigerung um 20% Verbrauchswerte aufweist, welche die Werte des bereits als verbrauchsgünstig geltenden Vorgängermodells ER20 (Abgasstufe UIC II) noch unterbieten.

6 Traktionsausrüstung

Auch beim elektrischen Traktions- und Hilfsbetriebkonzept wurde ein einfacher Aufbau mit wenigen Schnittstellen zwischen den Baugruppen realisiert. Das Konzept steht für eine hohe Zuverlässigkeit, die besonders bei Lokomotiven kleiner und mittlerer Leistung einen hohen Stellenwert hat, da dort oft bereits

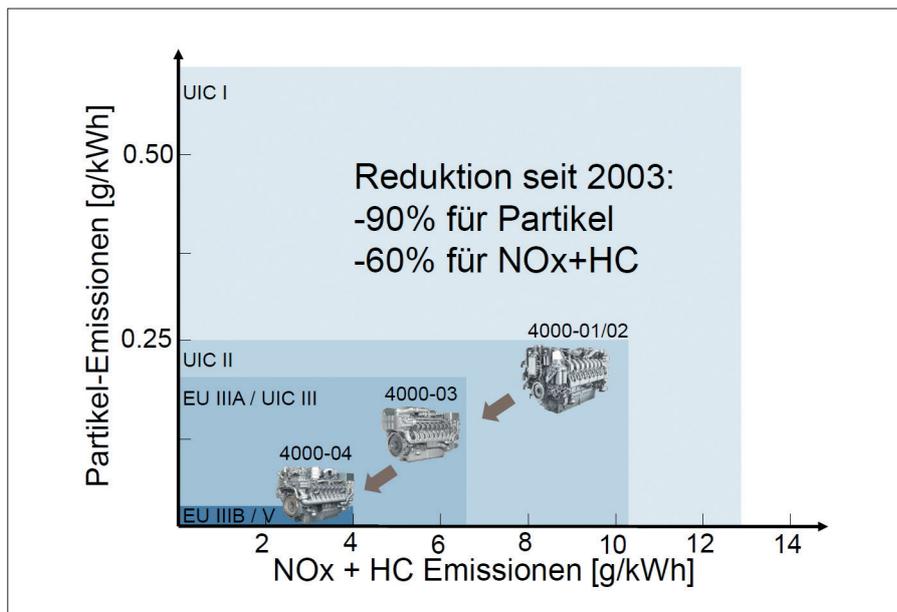


Bild 6: Entwicklung der gesetzlichen Grenzwerte für Stickoxid- und Partikelemissionen

der Teilausfall einer Anlage (mit der daraus resultierenden Reduzierung der Leistung) zu einer Hilfslokgestellung führt. Der Energiebedarf für die Hilfsbetriebe wurde auf das notwendige Minimum reduziert.

Der elektrische Antriebsstrang (Bild 1) der Lokomotive besteht aus einem fremderregten Drehstromsynchrongenerator, der Hochspannungsausrüstung, einem Transformator, einem Stromrichter mit IGBT-Leistungshalbleitern und vier vom Stromrichter versorgten Drehstrom-Asynchronfahrmotoren.

Der zentrale Stromrichterblock (E-Block), der im Wesentlichen vom Vectron DE übernommen wurde, beinhaltet die gesamte elektrische Ausrüstung zur Steuerung der Lokomotive. Dieses Konzept wurde zum ersten Mal bei der Lokomotive Eurorunner ER20 umgesetzt. Nach der Umstellung auf IGBT-Halbleiter wurden Weiterentwicklungen dieses Konzeptes in Projekten für die litauische, die vietnamesische sowie die französische Staatsbahn realisiert. Mit dem Stromrichterblock für den Vectron DE bzw. Dual Mode wurde der nächste Evolutionsschritt vollzogen. Im Wesentlichen wurde hierbei die Leittechnikstruktur der Diesellokomotiven mit derjenigen der Elektrolokomotiven vereinheitlicht.

Je zwei Fahrmotoren werden durch einen Pulswechselrichter (PWR) aus dem Spannungszwischenkreis versorgt. Der Zwischenkreis wird über eine ungesteuerte Gleichrichterbrücke aus einem schleif-

ringlosen Drehstromsynchrongenerator gespeist.

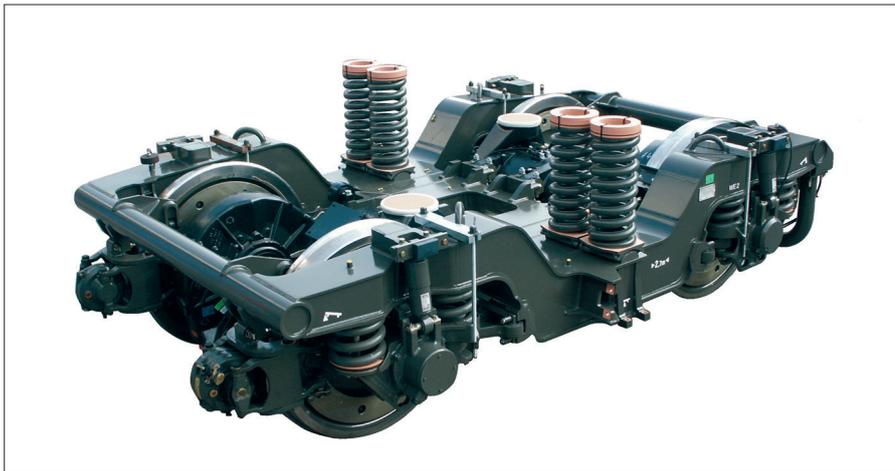
Der Stromrichterblock enthält außerdem einen Hilfsbetriebwechselrichter (HBU), der aus dem Zwischenkreis ein 3AC 440 V 60 Hz HilfsbetriebeNetz zur Versorgung der internen Verbraucher speist.

Die Anordnung von Pulswechselrichtern und Hilfsbetriebeumrichter an einem gemeinsamen Zwischenkreis ermöglicht im elektrischen Bremsen eine Versorgung der Hilfsbetriebe aus der rückgespeisten Bremsenergie und damit einen energieoptimalen Betrieb der Lokomotive.

Ein beim Vectron DE bereits konzeptionell vorgehaltener Freiraum zwischen E-Block und Generator konnte für eine Verlängerung des Stromrichters um 600 mm genutzt werden. In diesem zusätzlichen Einbauraum sind im Wesentlichen die Kondensatoren des 33,3 Hz-Saugkreises und einige Trenner für die Umschaltung zwischen den beiden Betriebsarten untergebracht.

Durch eine geänderte Anordnung der Luftbehälter in einem Dachaufbau wurde am Dachsegment über dem Stromrichter Platz geschaffen für die Hochspannungsausrüstung, die aus einem Stromabnehmer, dem Hauptschalter mit angebaute Erdungsschalter sowie zwei Überspannungsableitern besteht. Die Spannungsabstände berücksichtigen bereits eine mögliche 25 kV-Variante der Lokomotive.

Beim vorgesehenen Einsatz des Vectron DM kann davon ausgegangen werden,



I Bild 7: Drehgestell Vectron Dual Mode

dass ein erheblicher Teil der Fahrstrecke unter Fahrdrabt und somit elektrisch absolviert wird. Deshalb konnte der Inhalt des Kraftstofftanks von 4.000 Liter auf 2.600 Liter verkleinert werden. Im dadurch freiwerdenden Einbauraum zwischen den Drehgestellen wurde der Haupttransformator samt Kühlanlage untergebracht. Anspruchsvoll gestaltete sich dabei die Verlegung der zusätzlichen Hauptstromleitungen, da das Grundkonzept der Lokomotive mit bereits fertig definierten Kabelkanälen beibehalten werden sollte.

Der Haupttransformator zeichnet sich durch eine besonders kompakte Bauform aus. Im mit einem synthetischen Ester gefüllten Trafokessel befindet sich auch die Saugkreisdrossel.

Die Bremsenergie beim elektrodynamischen Bremsen wird im Elektrobetrieb in das Fahrleitungsnetz rückgespeist (rekuperatives Bremsen). Im Dieselmotorbetrieb wird die überschüssige, nicht für die Versorgung der Hilfsbetriebe nutzbare Bremsenergie über Bremssteller und den Bremswiderstand abgeführt (rheostatisches Bremsen).

Im Gegensatz zur ER20 ist der Bremswiderstand in Turmbauform wie bei den elektrischen Varianten des Vectron aufgebaut. Dadurch konnte die Leistung auf 1.700 kW gesteigert werden. Dieser bewährte Bremswiderstand wurde vom Vectron DE unverändert übernommen.

Der Antrieb des Vectron Dual Mode besteht aus dem bewährten Ritzelhohlwellenantrieb, wie er bereits standardmäßig in allen Siemens Diesellokomotiven vom Typ Eurorunner ER20 eingesetzt wird. Dieser unterscheidet sich vom

Antrieb der E-Lokvarianten des Vectron durch die an den Dieselmotor angepasste Bemessungsleistung. Dadurch wird eine – gerade bei der Dual Mode-Lok hochwillkommene – Gewichtseinsparung erreicht.

Das Drehgestell des Vectron Dual Mode (Bild 7) ist eine Weiterentwicklung des lange bewährten Drehgestells SF3 des Eurorunner ER20. Es wurde an die aktuelle Normenlage angepasst und die maximale Geschwindigkeit von 140 km/h auf 160 km/h erhöht. Damit ist neben dem Güterverkehr auch der Regionalpersonenverkehr vollumfänglich abgedeckt. Zudem wurde die maximal zulässige Radatzlast auf 22,5 t erhöht.

7 Transition

Eine wesentliche Funktion einer Zweikraftlokomotive ist die Transition zwischen Elektro- und Dieselmotorbetrieb.

Diese Transition ist beim Vectron Dual Mode während der Fahrt möglich. Dabei bleibt der Zwischenkreis geladen, die Hilfsbetriebe werden ohne Unterbrechung versorgt. Die Dauer der Zugkraftunterbrechung während der Transition ist mit einigen Sekunden minimal und hat somit auf den Fahrbetrieb keinen Einfluss.

Der Transitionsprozess wird durch den Lokführer über das Display gestartet und erfolgt weitestgehend automatisch. Aufgrund von Sicherheitsanforderungen sind einige wenige Bedienhandlungen/Quittierungen durch den Lokführer erforderlich. Beispielsweise muss er das Heben des Stromabnehmers bewusst einleiten, um sicherzustellen, dass

sich die Lokomotive unter Fahrdrabt befindet.

Durch ein geeignetes Vorwärm-/Warmhaltekonzept ist eine verschleißarme Startbereitschaft des Dieselmotors stets gewährleistet.

8 Neue Ausrüstungspakete gegenüber dem Vectron DE

Der Vectron Dual Mode ist, wie bereits erwähnt, eine Weiterentwicklung des Vectron DE. Im Zuge dieser Weiterentwicklung wurden neue Funktionen und Ausrüstungen in das Fahrzeug integriert.

Alle Vectron Dual Mode sind standardmäßig mit der beschriebenen Brandbekämpfungsanlage ausgerüstet. Somit ist das Befahren auch längerer Tunnel (Länge > 5 km) zulässig. Dies bekommt eine besondere Bedeutung, da im Zuge des Lärmschutzes immer häufiger Lärmschutzüberbauungen errichtet werden, welche zulassungstechnisch ebenfalls als Tunnel gelten.

Da die Lokomotive vorrangig für den Güterverkehr konzipiert ist, wurde die Sandungsanlage so ausgeführt, dass in beiden Fahrtrichtungen die vorauslaufenden Radsätze beider Drehgestelle gesandet werden (8-fach-Sandung). Darüber hinaus wurde die Adhäsionsregelung der Antriebsteuerung weiter verbessert, um eine maximal mögliche Zugkraftausnutzung zu realisieren.

Zur Sicherstellung der Zukunftsfähigkeit der gesamten Vectron-Plattform wurden alle gegenüber dem Vectron DE neu hinzugekommenen Komponenten gemäß TSI 2019 spezifiziert und ausgeführt. Die vorhandenen Komponenten wurden sukzessive nachgezogen und ebenfalls auf die aktuelle Norm angepasst.

9 Künftige Ausstattungen/Varianten

Zur Erweiterung der Funktionalität und Vielseitigkeit des Vectron Dual Mode sind weitere Entwicklungsschritte vorgesehen, welche nachstehend kurz genannt werden.

Um einen grenzüberschreitenden Verkehr (z.B. Deutschland/Österreich) zu ermöglichen, wird künftig zusätzlich zur bestehenden Trainguard Basic (PZB) das europäische Zugsicherungssystem ETCS integriert.

Zusätzlich zur bereits im Vectron DE enthaltenen seitenselektiven Türsteuerung erfolgt die Integration einer vollständigen Zugenergieversorgung (ZEV) für den Reisezugdienst. Somit können Reisezugwagen über die einpolige Zugsammelschiene mit einer Spannung AC 1000 V der Frequenz 22 Hz (Deutschland) bzw. 50 Hz (Österreich) versorgt werden. Die maximale Leistung der ZEV beträgt 480 kVA. Für den Wendezugbetrieb wird künftig das Verfahren ZWS und für die Mehrfachtraktion von Zugteilen das Verfahren ZMS vorgesehen. Zusätzlich sind ein Wendezugbetrieb bzw. eine Mehrfachtraktionssteuerung mit dem WTB basierend auf dem Fernsteuerkonzept der Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) möglich. Als Abfertungsverfahren stehen TB0, SAT und TAV zur Verfügung. Somit ist der Vectron Dual Mode künftig universell sowohl im Güter- als auch im Reisezugverkehr einsetzbar. Das modulare Konzept erlaubt problemlos eine Umrüstung von der Fracht- zur Passagierlokomotive selbst in der zweiten Lebenshälfte der Lokomotive.

Für den Einsatz in osteuropäischen Ländern ist eine Ausrüstung mit dem Zugversicherungssystem Mirel zusammen mit einer elektrischen Einspeisung für den 25 kV-Betrieb vorgesehen.

Im September 2020 hat Siemens Mobility von DB Cargo einen Großauftrag über bis zu 400 Zweikraftlokomotiven erhalten. Diese neue Lokomotive, die zu einem großen Teil auf dem Vectron Dual-Mode basiert, zeichnet sich durch zusätzliche Rangiertritte, eine automatische Rangierkupplung sowie einen kleineren und damit leichteren Dieselmotor aus. Dadurch wird die Vectron-Plattform um eine sowohl für die Anschlussbedienung als auch im Nahbereichs-Streckendienst nutzbare Variante erweitert.

10 Ausblick

Mit dem Vectron Dual Mode ist ein hochflexibles und zukunftsorientiertes Produkt auf den Markt gekommen. Er ist die marktgerechte Weiterentwicklung des bewährten Vectron DE zur deutlichen Erhöhung der Einsatzflexibilität bei gleichzeitig signifikanter Verringerung der Betriebskosten. So können mithilfe des Vectron Dual Mode durchgehende Zugläufe ohne aufwändige Lokwechsel auf elektrifizierten Hauptstrecken und längeren,

nicht-elektrifizierten Strecken von/bis in den Gleisanschluss der Endkunden gefahren werden. Der Übergang zwischen Elektro- und Diesetriebetrieb ist ohne anzuhalten in fahrender Transition möglich. Dabei basiert die Lokomotive auf bewährten und stabilen Lösungen aus den bekannten Vectron-Familien (Vectron DE und Vectron E).

Mit vordefinierten Optionspaketen bietet der Vectron Dual Mode einen attraktiven Lösungsraum, in dem jeder Kunde für seinen jeweiligen Bedarf die individuell passende Lösung findet. Durch die bereits in der Integration befindlichen Erweiterungsfunktionen ETCS, Zugenergieversorgung sowie weitere Länderzulassungen, gepaart mit dem flexiblen Vectron Plattform-Konzept, ist innerhalb kurzer Zeit



Dipl.-Ing. Irene Brade (53); Studium der Elektrotechnik an der Hochschule für Verkehrstechnik Friedrich List in Dresden; seit 1991 bei der Siemens AG im Fahrzeug Engineering tätig; seit 2013 Teilprojektleiter ES64F4, seit 2018 Teilprojektleiter für

Vectron Dual Mode.

Anschrift: Siemens Mobility GmbH, SMO RS LM EN OP PM, Siemenspromenade 5, 91058 Erlangen, Deutschland.

E-Mail: irene.brade@siemens.com



Dipl.-Ing. (FH) Jochen Emde (51); Nach der Ausbildung zum Elektrogerätemechaniker und Energiegeräteelektroniker bei der Siemens AG Studium der Allgemeinen Elektrotechnik an der Georg-Simon-Ohm Fachhochschule Nürnberg. 1996 erneuter Eintritt in die Siemens AG. Zunächst als Projektierungs- und Vertriebsingenieur für Bahnelektrifizierung. Anschließend Projektgenieur im Projekt Transrapid. Seit 2004 Teilprojektleiter im Bereich dieselelektrischer Lokomotiven, seit 2010 Projektleiter für Vectron DE-Lokomotiven und seit 2018 Projektleiter für Vectron Dual Mode.

Anschrift: Siemens Mobility GmbH, SMO RS LM PF PDC, Siemenspromenade 5, 91058 Erlangen, Deutschland.

E-Mail: jochen.emde@siemens.com

eine Hochrüstung bereits ausgelieferter Lokomotiven für neue Verkehrsaufgaben und Infrastrukturanforderungen möglich. Jeder Betreiber ist damit bestens für die Zukunft gerüstet.

Der Vectron Dual Mode ist seit Oktober 2020 in der 15 kV Güterzug-Variante in Deutschland zugelassen. Weitere Zulassungen sind in Planung.

#Graz03_A2

(Bildnachweis: 1, 2, 3, 4, 7 und Tabelle 1, Siemens Mobility GmbH, 5 und 6, MTU Friedrichshafen GmbH)

Literatur

- [1] Fösel, U.; Hammer, W.; Schurr, J.; Baltes, J.; Vectron DE – die kraftstoffsparende diesel-elektrische Lokomotive. Elektrische Bahnen 110 (2012), H. 8-9, S. 420-431.



Dipl.-Ing. Maximilian Röpper (44); Studium des Maschinenbaus an der Technischen Universität München, seit 2005 bei der Siemens AG in der technischen Projektentwicklung tätig. 2014 Wechsel in die Abteilung für Angebote und Projek-

te. Dort unter anderem technischer Angebots- und Projektleiter für die US-Amerikanische Passagier Diesellok Charger. Ab 2018 Teilprojektleiter der Vectron Dual Mode. Seit 2019 technischer Angebotsleiter der Charger Dual Mode Lok für Metro North und Long Island Rail Road.

Anschrift: Siemens Mobility GmbH, SMO RS LM EN OP PM, Krauss Maffei Str. 2, 80997 München, Deutschland.

E-Mail: maximilian.roepper@siemens.com



Dipl.-Ing. Jürgen Schurr (52); Studium der Elektrotechnik an der Universität Stuttgart; seit 1995 bei Siemens AG, im Fahrzeug-Engineering tätig; seit 1998 mit Projektstart ÖBB Rh2016 Projektierung der Traktionsausrüstung von Diesellokomotiven.

Anschrift: Siemens Mobility GmbH, SMO RS LM EN TD 2, Siemenspromenade 5, 91058 Erlangen, Deutschland.

E-Mail: juergen.schurr@siemens.com