

Multifunktions-Arbeitsfahrzeuge für Stromschienen- und Batteriebetrieb

Die Münchner Verkehrsgesellschaft (MVG) erhält für Arbeiten im und am U-Bahn-Netz völlig neu konzipierte und von Grund auf neu entwickelte Hybrid-Gleiskraftwagen.



Abb. 1: Der Elektro-Gleiskraftwagen für die Münchner Verkehrsbetriebe ist mit seinem symmetrischen Aufbau für den Zweirichtungsbetrieb ausgelegt.

Quelle aller Abb.: Robel Bahnbaumaschinen GmbH

MARTIN RUDHOLZER | ANDREAS SCHIRMER

Gleiskraftwagen (GKW) sind bei Bahnen seit mehreren Jahrzehnten ein international viel genutztes Arbeitsmittel für Arbeits-, Transport- und Traktionsaufgaben – immer häufiger auch im urbanen Raum. Bislang handelt es sich stets um dieselgetriebene Fahrzeuge. Jetzt ist eine Variante mit trimodalem Antrieb auf dem Gleis. Sie unterscheidet sich deutlich von bisher bekannten Lösungen: Die neuen Fahrzeuge fahren und arbeiten elektrisch, verfügen über zwei Kräne für uneingeschränktes Arbeiten in beiden Richtungen, erlauben Mehrfachtraktion und sind über Funk steuerbar. Der neue GKW mit der Bezeichnung Rorunner Level 3 E³ ist der erste mit alternativer Antriebsausrüstung für die Münchner U-Bahn. Der Umgang mit Akkutechnik dieser Größenordnung als Energiespeicher führt zu neuen Fragestellungen, Risiken und Herausforderungen.

Neuer Fahrzeugaufbau

Die aktuell in Test- und Abnahmeprozeduren befindlichen Hybrid-GKW fahren elektrisch an der Stromschiene, verfügen über leistungsstarke Akkus und haben nur mehr als Rückfal-

lebens für Langzeiteinsätze einen Dieselmotor an Bord. Sie weisen trotz ihres erstmals weitgehend symmetrisch ausgeführten Gesamtaufbaus (Abb. 1) einige Elemente bestehender GKW auf. Doch handelt es sich nicht um ad-

aptierte und mit Elektrotechnik ausgerüstete, sondern eigens für die neue Antriebstechnik und deren Anforderungen wie Leitungsführungen und Einbauräume konstruierte Fahrzeuge.



Abb. 2: Das Akkupack ist exakt für 3,5 Stunden Batterie-Arbeitsbetrieb dimensioniert.



Abb. 3: Standsicherheitstest in Überhöhung mit gleichzeitigem, ferngesteuertem Kranbetrieb.

München: Verjüngung und Vereinheitlichung der Flotte bis 2025

Die Münchner Verkehrsgesellschaft (MVG) betreibt im U-Bahn-Netz zwei Akku-Elektrolokomotiven für Traktion und Logistik. Statt der vorerst erwogenen Folgebeschaffung entschied man sich für die Ausschreibung von Elektro-GKW: In absehbarer Zeit wird die MVG zehn weitgehend identische Arbeitsfahrzeuge für unterschiedlichste Aufgabenstellungen im Bereich der U-Bahn München einsetzen (siehe Bericht Seite xx). Diese werden in einer Serie und komplett im Werk Freilassing von Robel gefertigt. Bereits geliefert wurden sechs zweiachsige Gleisbau- und zwei vierachsige Flachwagen.

Generationswechsel weg vom Diesel

Binnen weniger Jahre wird die Flotte der U-Bahn-Arbeitsfahrzeuge im MVG-Netz weitestgehend elektrisch, leise und sauber unterwegs sein. Die Vorteile des abgasfreien und geräuscharmen Betriebs in Tunnelstrecken und -stationen wie auch im urbanen Umfeld liegen für alle Nutzer auf der Hand. Ganz wesentlich profitieren auch die mit den Fahrzeugen eingesetzten Arbeitskräfte. Gesteigerte Leistungsfähigkeit und Verfügbarkeit sind angesichts immer kürzer werdender Zeitfenster für Arbeiten an der Infrastruktur bedeutend. Eine einheitliche Bedienung der Maschinen erleichtert die Ausbildung der Arbeitskräfte und deren Einsatz.

Elektrische Drehgestellfahrzeuge für emissionsfreien Betrieb

Die neuen, vierachsigen GKW sind sowohl nach Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung (BO-Strab) als auch nach der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung für Anschlussbahnen (EBOA) zuzulassen. Gefordert war seitens des Kunden ein hybrider, bimodaler Antriebsstrang mit den Möglichkeiten, batterie- und dieselelektrisch zu fahren, mit der Option einer Energieversorgung über die Seitenstromschiene (750 V DC) und entsprechender Stromabnehmer. Das umgesetzte trimodale Antriebskonzept ermöglicht mehrere Betriebsweisen:

- Fahrt mit Energie aus der Stromschiene
- Fahrt und Arbeiten mit Energie aus den Speichern
- Fahrt und Arbeiten mit generatorisch erzeugter Energie (Dieselmotor)

Arbeiten via Stromschiene ist zwar möglich, scheidet aber vor allem aus Gründen der Arbeitssicherheit häufig aus. Vor Arbeiten am Gleis wird der entsprechende Stromschieneabschnitt deshalb meist spannungsfrei geschaltet. Das Diesel-Powerpack ist nur mehr als Rückfallebene für besondere Betriebsituationen vorgesehen.

Leistung abschätzen und Akkupack dimensionieren

Beim Batteriebetrieb stellt sich die Frage passender Dimensionierung des Akkupacks (Abb. 2), zum einen hinsichtlich des vorzusehenden Einbauraumes, aber insbesondere unter finanziellen Aspekten, denn der Speicher ist größter Kostentreiber. Somit war der durch-

i

Brandschutzmaßnahmen für die Akkutechnik

Auch bei Baufahrzeugen ist das viel diskutierte Thema möglicher Akkubrände zu berücksichtigen. Tunnelbetrieb und Arbeitseinsatz der Mannschaften erfordern ein Höchstmaß an Sicherheit. Nicht jede heute bekannte Akku-Technologie ist hierfür geeignet. Auch LTO-Speicher sind zwar nicht löschbar, aber Brandereignisse sind extrem unwahrscheinlich. Das verwendete Titanat reagiert nicht mit den Oxiden der negativen Elektrode. Somit ist bei dieser Speichertechnik das gefürchtete „thermische Durchgehen“ des Akkus ausgeschlossen. Das gilt selbst bei mechanischen Beschädigungen der Zellenstruktur. Zudem sind diese Akkus hochstromfähig und kurzschlussfest. Da entstehende Probleme sich meist frühzeitig durch Temperaturveränderungen in den Zellen ankündigen, ist jedes verbaute Akkupack mit Sensoren und Brandmeldekabeln bestückt. Auswertesoftware überwacht das Zellenleben, am Diesel-Powerpack befindet sich ein Brandmelder. Akku- und Meldetechnik erfordern zusätzliche Personalschulungen erst im Werk, dann beim Kunden.

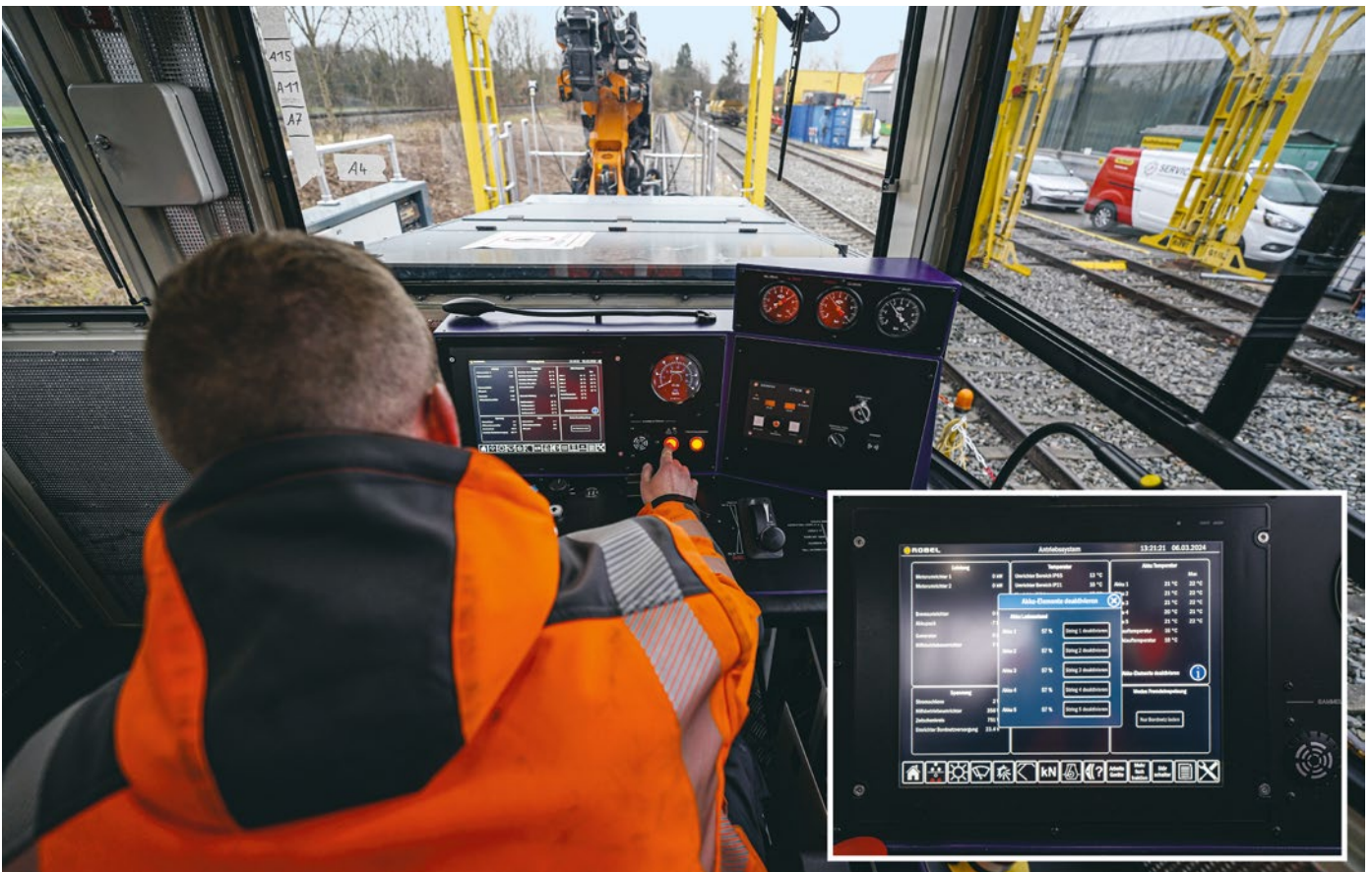


Abb. 4: Die Alukabine bietet Platz für zwei identische Fahrerarbeitsplätze und weitere fünf Personen. Große Glasflächen erlauben die Sicht auf weite Bereiche um das Fahrzeug.

schnittliche Leistungsbedarf für eine typische Arbeitsschicht möglichst exakt zu ermitteln, die Batteriekapazität abzuwägen.

Hinsichtlich der Einsatzbedingungen gab der Kunde eine Musterstrecke vor, deren Herausforderungen zunächst mit Simulationen erfasst wurden. Für die weitere Konkretisierung wurden Arbeitsschichten begleitet, Lastkollektive ermittelt und ausgewertet. Unterstützt wurde dies durch begleitende Betriebsdaten-Auswertung der in Köln eingesetzten GKW. Doch war auch zu fragen: Was passiert bei längerer Streckensperrung über die Dauer einer Nacht hinaus, wie wirksam ist die Energierückgewinnung, welche neuen Arbeitsaufgaben sind denkbar?

Rekuperation, Speichertechnik und Modularität

Für hohe Energieeffizienz wird grundsätzlich auf Rekuperation gesetzt: In Gefällestrecken und bei Bremsungen rückgewonnene Energie wird primär in die Speicher geleitet. Sind diese voll, erfolgt Rückspeisung via Stromschiene ins Netz. Erst wenn dort keine Verbraucher unterwegs sind, kommt ein Bremswiderstand zum Einsatz. Die gewählte Option „Fahren an der Stromschiene“ spart massiv Batteriekapazität. Das Fahrzeug erreicht so immer mit vollen Speichern den Einsatzort. Während der Rückfahrt werden die Akkus wiederum schon unterwegs nachgeladen, so dass auch das

Depot häufig mit frisch geladenen Speichern erreicht werden sollte: Eine halbstündige Fahrt mit Nachladen an der Stromschiene entspricht sechs bis sieben Stunden Laden im Depot. Bei den Speicherzellen fiel die Wahl auf Lithi-

um-Titanat-Oxid-Speicher (LTO). Sie sind alterungsbeständiger als herkömmliche Lithium-Ionen-Zellen, erlauben mehr Ladezyklen und hohe Ladeströme. Der Energieinhalt reicht für 3,5 Stunden reines Arbeiten. Sowohl Akku-

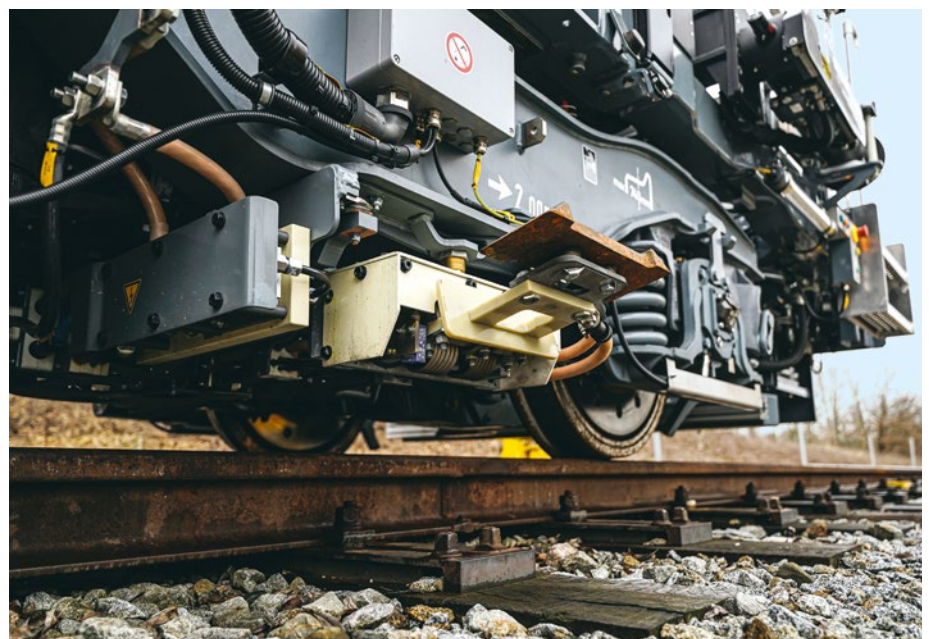


Abb. 5: Der Abnehmer für die Seiten-Stromschiene ist diagonal am Drehgestell angebracht und kann profilfrei eingezogen werden.

modul wie auch Akkupack sind bei Erreichen des Endes ihrer wirtschaftlichen Lebensdauer leicht tauschbar. Akkupack und Diesel-Powerpack sind modularisiert, haben identische mechanische und elektrische Schnittstellen sowie gleich große Einbau Räume. Perspektivisch kann ggf. auf den Diesel verzichtet und dieser optional ganz einfach durch weitere Speicher ersetzt werden.

Symmetrischer Aufbau, auch im Detail

Anders als ihre Vorgänger sind die neuen GKW symmetrisch aufgebaut, u.a. um sie nicht drehen zu müssen. Eine der Vorgaben waren Kranarbeiten an beiden Fronten mit großer Reichweite vor der Pufferbrust. Die Kräne sind elektrohydraulisch betrieben, mit jeweils eigenem Hydraulikkreis. Simultanes Arbeiten beider Kräne in jeder denkbaren Stellung – auch zur selben Seite – erfordert neben Achsfederblockierung und seitlichen Abstützungen eine komplexe Steuerung (Abb. 3). Erheblicher Software-Aufwand ergab sich aus der Anforderung, dass zwei Bediener zeitgleich jeweils einen Kran via Funkfernbedienung steuern können. Dabei darf es keinerlei gegenseitige Beeinflussung der Funksignale geben.

Zwei Ladeflächen, eine Kabine

Eine weitere Vorgabe waren die jedem Kran zugeordneten Ladeflächen auf Bahnsteigniveau mit einer Zuladung von bis zu 1,5 t. Ermöglicht wurden konstruktiv sogar zweimal 3 t. Wie das ganze Fahrzeug ist auch die elastisch gelagerte Aluminium-Kabine mit großen Glasflächen symmetrisch aufgebaut, bietet zwei identische Fahrerarbeitsplätze mit Sicht auf einen weiten Bereich vor dem Fahrzeug und Platz für fünf Personen (Abb. 4). Das gesamte Fahrzeug ist komplett begehbare ohne es verlassen zu müssen, also ohne ins Gleis zu treten.

Redundante Antriebe

Beide Radsätze jedes Drehgestells sind motorisiert und teilen sich einen Motorstromrichter. Das Vorhandensein der zwei redundanten Antriebseinheiten erhöht die betriebliche Zuverlässigkeit: Der GKW ist auch bei Ausfall einer Antriebsgruppe noch eigenfahrfähig. Die Stromabnehmer sind diagonal an den Drehgestellen angebracht und mit Trennschützen und automatischer Fahrzeugerdung versehen (Abb. 5). Anders als herkömmliche Stromabnehmer für die Seiten-Stromschiene können sie in das Drehgestell mittels einer speziell konstruierten Vorrichtung eingezogen werden und sind dadurch profilfrei. Das ist nötig, um Gefahren für das Personal und Beschädigungen des Stromabnehmers durch Baumaterial auszuschließen.

Multifunktionales Arbeiten

Die Gleiskraftwagen sind in beiden Richtungen uneingeschränkt einsetzbar. Es können Anhänger sowohl geschoben wie gezogen mitgeführt werden, auch beides zugleich.



Abb. 6: Für den Betrieb in U- und Vollbahn sind die Fahrzeuge mit Regelzugeinrichtung samt Seitenpuffern, einer zusätzlichen Rangierkupplung und einer pneumatisch absenkbarer SchaKu ausgestattet.

Aufgaben wie Langschienentransporte setzen eine Position der Transportwagen zwischen zwei GKW voraus. Die Zugsicherung schaltet stets auf das jeweils an der Spitze laufende Fahrzeug um, die Anhänger im Fuhrpark sind entsprechend aus- bzw. umgerüstet.

Die Fahrzeugsteuerung kennt fünf Betriebsmodi:

- Streckenfahrt schnell mit v_{\max} 40 km/h
- Streckenfahrt langsam mit v_{\max} 20 km/h
- Arbeitsfahrt mit v_{\max} 5 km/h
- Kuppelfahrt mit v_{\max} 3 km/h
- Versetzfahrt/Schleichfahrt bei Kranbetrieb (ferngesteuert) mit v_{\max} 3 km/h

Da beide Kräne eines GKW völlig unabhängig voneinander funkfern gesteuert agieren können, galt es für Versetz- oder Schleichfahrten im Kranbetrieb besondere Maßnahmen hinsichtlich Kollisionssicherheit und Unfallvermeidung vorzusehen.

Mehrfachtraktion mit Besonderheiten

Die GKW können in Zwei- und Dreifachtraktion eingesetzt werden. Die synchrone Steuerung wird hierbei über Funk- oder Kabelverbindung sichergestellt. Beim Bergen liegen geliebener U-Bahn-Züge kann es sinnvoll sein, an beiden Enden der Einheit jeweils einen GKW zu platzieren. Der schiebende GKW wird dabei vom führenden über Funk ferngesteuert. Die sechsteiligen Züge der U-Bahn München kommen auf eine Gesamtlänge von bis zu 115 m, Sender und Empfänger des Funksignals sind also rund 135 m voneinander entfernt. Die Funkverbindung muss im Tunnel bei ständig wechselnden Querschnitten von unterschiedlicher Geometrie und Bauweise, in ein- wie mehrgleisigen Abschnitten, in Bögen, Stationen und ohne Sichtverbindung jederzeit zuverlässig und

Technische Daten	
Bezeichnung	Gleiskraftwagen RORUNNER Level 3 E ³
Baujahre	2023 – 2026
Länge über Kupplungen	20.000 mm
Gesamthöhe über SO	3.550 mm
Achsformel	B ₀ 'B ₀ '
max. Radsatzlast	13,25 t
max. Zuladung	2x 3 t
Leistung am Radsatz	4x 120 kW
Betriebsweisen	elektrisch (Stromschiene), batterie-elektrisch, diesel-elektrisch
Stromschienspannung	750 V DC
Fahrerplätze	je 1/Fahrtrichtung
zur Mitfahrt zugel. Pers.	5
kleinster Bogenradius	70 m
kleinste Kuppe/Wanne	1000 m
max. Steigung	60 ‰
max. Überhöhung	165 mm
v _{max} Eigenfahrt	40 km/h
v _{max} Arbeitsfahrt	5 km/h
v _{max} Schleichfahrt	3 km/h
Zugsicherungssystem	CTS/M 104
Kupplungen	Scharfenberg Typ 35, Regelzugeinrichtung, Rangierkupplung Typ RK 55
Anhängerbetrieb	gezogen und geschoben
Bauart Ladekrane	Palfinger PR220, 2 Stück

Tab. 1: Technische Daten des Rorunner Level 3 E³

stabil funktionieren. Bereits 2022 wurden daher im Tunnel Funkversuche zusammen mit einem Systemhersteller durchgeführt. Sie dienten auch der genauen Platzierung der Funkantenne auf dem Fahrzeug.

Zwei Kupplungssysteme für U- und Vollbahn

Die Scharfenbergkupplung (SchaKu) ist im U-Bahn-Bereich Standard. Entsprechend sind GWK und zugehörige Anhänger mit dieser Mit-

telpufferkupplung ausgestattet. Zusätzlich sind alle Fahrzeuge für München beidseitig mit einer Regelzugeinrichtung samt Seitenpuffern und allen zugehörigen Komponenten ausgerüstet. So können sie Vollbahn-Güterwagen auf der Anschlussstrecke bewegen. Vier GWK erhalten überdies jeweils an einer Seite eine zusätzliche Rangierkupplung. Hier ist der Kopf der darunter befestigten SchaKu absenkbar, er wird pneumatisch nach unten bewegt (Abb. 6).

Laufende Datenerfassung, Ferndiagnose und Service

Das Datenerfassungs- und -aufzeichnungssystem des GWK speichert in eine Cloud-Datenbank unter anderem Akkuzustand, Betriebsmodus, Traktion und Kranbewegungen. Auch das Alterungsverhalten der Speicherzellen wird so verfolgbar. Diese lückenlose Dokumentation ermöglicht Auswertungen, Verbesserungen und Rückschlüsse für Folgeprojekte. Die Digitalisierung erlaubt zudem eine Ferndiagnose aller Betriebszustände: Hersteller und die Experten aus Projektteam und Fertigung können bei Störungen jederzeit unterstützend eingreifen. Kurze Stillstandzeiten, schnelle Ersatzteillieferung und somit gesteigerte Verfügbarkeit sind die Folge.

Umfangreiche Test- und Vorbereitungsphase

In nahezu rund um die Uhr im Takt befahrenen urbanen Netzen ist meist nur wenig Zeit für eingehende Testfahrten, der Kunde will also möglichst ein einsatzbereites Fahrzeug übernehmen. Zwar sind Inbetriebnahme und Zulassungsverfahren nicht beliebig kürzbar, aber sie können vom Hersteller bestmöglich vorbereitet werden. Der Schritt zum elektrischen Antrieb erfordert eine komplett neue Herangehensweise bei Fahrzeugprüfung und Inbetriebnahme. Für Test- und Messfahrten wie für die Vorbereitung von dynamischer Inbetriebnahme und Zulassung nutzt Robel die unabhängige Regelspur-Infrastruktur der Strecke der Chiemgauer Lokalbahn Obing – Bad Endorf (Abb. 7)

Chiemgauer Lokalbahn

- Eigentümer: Chiemgauer Lokalbahn e.V.
- Beteiligung der Robel Holding an Betriebsgesellschaft seit 2023
- Nebenbahnstrecke: Bad Endorf – Amerang – Obing, eingleisig, nicht elektrifiziert
- Länge: 18,5 km
- Streckengeschwindigkeit: 50 km/h
- maximale Steigung: 28 ‰
- Nutzung zu Test-, Mess-, Einstell- und Inbetriebnahmefahrten

Streckennutzung nach Bedarf

Auf dieser Strecke gibt es die Möglichkeit, mehrere Fahrzeuge parallel zu testen oder gemeinsam einzusetzen, gegebenenfalls im Mehrschichtbetrieb. Brems-, Leistungs- und Nachweisfahrten finden in der Regel bei Tageslicht statt, nicht in einer kurzen, großstädt-



Abb. 7: Robel nutzt die Strecke der Chiemgauer Lokalbahn (hier: Ameranger Viadukt) für Test- und Messfahrten zur Vorbereitung der dynamischen Inbetriebnahme und Zulassung.

tischen Betriebspause nach Mitternacht. Die elektrischen GWK stellen auch neue Herausforderungen an die Infrastruktur, da die Speicher nachzuladen sind. Der Endpunkt Obing wurde für das gleichzeitige Laden von bis zu drei GWK per Kabel mit Ladetechnik ausgerüstet, der Stromanschluss des Kleinbahnhofs entsprechend aufgewertet. Zudem erfolgt auf der Strecke auch die Messung der elektromagnetischen Verträglichkeit sowie der Lärmpegel.

Tests unter Realbedingungen für hohe Fahrzeugreife

Die GWK für München werden auf der Strecke einer intensiven, gestuften Test- und Erprobungsphase über mehrere Inbetriebnahmezyklen unterzogen. Dies geschieht auf der Chiemgauer Strecke mit bis zu vier Fahrzeugen zugleich. Perspektivisch wird jedes Fahrzeug getestet zwecks Sicherstellung der Funktion über das Ermitteln von Messwerten im Rahmen der Typprüfung hinaus. Fertigungsbegeleitend im Werk wie auch an der Strecke setzt Robel auf die frühzeitige Einbindung der Kundenseite im Sinne einer fast durchgehenden „gläsernen Manufaktur“. Im vorliegenden Fall wurde mit der MVG ein abgestimmter Testplan zur Feststellung der Funktionalität sowohl mit

der Infrastruktur wie mit vorhandenen Fahrzeugen aufgestellt.

Bereits vor dem Einsatz im Münchner Netz sind damit alle grundsätzlich relevanten Themen erledigt, vor Ort sind nur noch Fragen des Zusammenspiels mit Zugsicherungstechnik und Stromschiene zu klären. Damit ist der Umfang zwingend beim Kunden durchzuführender Arbeiten deutlich reduziert. Aus der Erkenntnis heraus, dass aus Herstellersicht die Komplexität von Störungsbeseitigungen in der Testphase mit der Entfernung zum Kunden steigt, bringt die Nutzung der Teststrecke in Obing somit große Vorteile für alle Beteiligten.

Infrastruktur-Instandhaltung der Zukunft

Der Umstieg auf hybride und rein elektrische Betriebsweisen ist der gesamten Branche eine Verpflichtung. Dieselantrieb ist in der Stadt, im Tunnel und an der Baustelle nicht mehr zeitgemäß und auch nicht mehr unbedingt erforderlich. Die neuen Elektro-GWK zeigen, dass es auch anders geht. Verkehrsunternehmen und Infrastrukturbetreiber können sich mit dem Einsatz elektrischer Arbeitsfahrzeuge als Vorreiter profilieren und einen Beitrag zu Energie- und Verkehrswende leisten. ■



Dipl.-Ing. (FH) Martin Rudholzer
Leiter Entwicklung und Konstruktion
Systeme & Fahrzeuge
martin.rudholzer@robел.com



**Dipl.-Ing. (BA) Andreas Schirmer,
B.Sc. (hons)**
Bereichsleiter Zulassung & Qualität,
andreas.schirmer@robел.com

Beide Autoren:
ROBEL Bahnbaumaschinen GmbH, Freilassung