

Die Zukunft fährt elektrisch

Traktionssysteme Austria entwickelt innovative Antriebe und Wartungskonzepte für Schienen- und Straßennutzfahrzeuge weltweit

Die Herausforderungen der zukunftsorientierten Elektromobilität sind groß. Gleichzeitig haben die Fahrzeughersteller und Komponentenlieferanten immer weniger Spielraum. Es gilt, Leistung, Haltbarkeit, Größe und Gewicht der Antriebe ständig zu optimieren, ohne dabei Preis und Verfügbarkeit zu verändern.

Seit mehr als 60 Jahren bewegt das österreichische Unternehmen Traktionssysteme Austria (TSA) aus Wiener Neudorf Millionen von Menschen und Gütern rund um die Welt. Gestartet wurde einst mit elektromechanischen Komponenten für Schienenfahrzeuge. Die jahrzehntelange Expertise bewährt sich seit einigen Jahren nun auch auf der Straße. Die Elektrobuss-Motoren sind hinsichtlich Wirkungsgrad, Leistung und Bauraum optimiert, um Kunden und Fahrgästen die größtmögliche Reichweite zu sichern. Mit seinen Lösungen modernisiert TSA die Elektromobilität nicht nur – es macht sie auch zuverlässiger, effizienter und leistungsfähiger.

Das Verständnis einer umfassenden Betreuung über den gesamten Produktlebenszyklus beinhaltet bei TSA auch intelligente Wartungs- und Servicekonzepte mit Ersatzteilmanagement, garantierte Durchlaufzeiten, fundierte Diagnoseberichte über den technischen Zustand des Antriebs sowie innovative Upgrades. Neueste Technologien,

längere Wartungsintervalle und Nachhaltigkeit bei der Auswahl der Materialien und Arbeitsschritte sind dabei unentbehrliche Bestandteile des ganzheitlichen Servicepakets von TSA.

1. Road: innovativer Zentralantrieb für Nutzfahrzeuge

Mit dem EU-weiten Aus für Neuzulassungen von Verbrennungsmotoren ab 2035, den immer strikter werdenden Einfahrverbotszonen für bestimmte Fahrzeugklassen in den Städten sowie dem fortschreitenden Klimawandel und den damit verbundenen zu erfüllenden Klimazielen wird sich nicht nur die PKW-Branche grundlegend verändern. Auch Nutzfahrzeuge wie Busse, Liefer- und Kommunalfahrzeuge sowie schwere LKWs werden von der Elektrifizierung nicht ausgeschlossen sein. TSA hat dies früh erkannt und mit der Gründung einer eigenen Road-Abteilung im Jahre 2017 damit begonnen, Zentralmotoren für die Straße zu entwickeln und zu vermarkten.

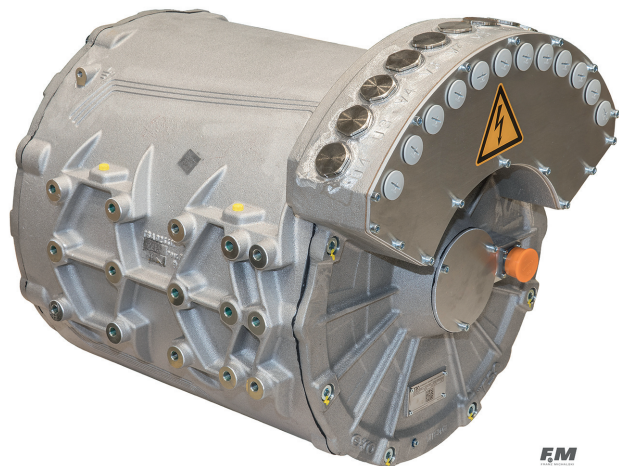
Die jüngste Produktentwicklung, gemeinsam mit dem kanadischen Unternehmen Exro Technologies, erreicht nun die Serienreife und hat sich zu einem wahrlich innovativen Antriebskonzept entwickelt, das mit seinen technologischen Vorteilen bald auf den Straßen der Welt zu finden sein wird.

Autor:innen

Stefan Wild
 Markus Walcher
 Marius Kohnle
 Christian Schaden
 Eva Stadler
 TSA Traktionssysteme
 Austria, Brown-Boveri-
 Straße 1, 2351 Wiener
 Neudorf
 E-Mail: Stefan.Wild@
 tsa.at

Tab. 1. Motordaten für zwei Varianten

| | Heavy-Duty (HD) | Medium-Duty (MD) |
|------------------------|-----------------|------------------|
| Fahrzeuganwendungen | Class 6-8 | Class 3-7 |
| Zwischenkreisspannung | 900 V | 450 V |
| Maximalleistung (30 s) | 545 kW | 230 kW |
| Dauerleistung (S1) | 210 kW | 135 kW |
| Maximalmoment (30 s) | 4.300 Nm | 2.500 Nm |
| Maximaldrehzahl | 4.400 rpm | 4.800 rpm |
| Schutzart | IP6K9K | IP6K9K |
| Masse | 315 kg | 280 kg |



F.M

Abb. 1. Heavy-Duty-Motor

1.1 Coil Driver™

Im Jahre 2019 startete die Zusammenarbeit mit Exro, das zur damaligen Zeit noch ein kleines kanadisches börsennotiertes Start-up war. Exro ist spezialisiert auf Umrichter mit Siliziumcarbid(SiC)-Halbleitern. Hierbei agiert der Traktionsumrichter allerdings nicht wie ein herkömmlicher 3-Phasen-Umrichter, sondern steuert im Elektromotor sechs einzelne Spulengruppen separat an.

Der so genannte Coil Driver™ von Exro ist ein adaptiver Traktionswechselrichter für Elektrofahrzeuge, der den Standardwechselrichter in Elektrofahrzeugen ersetzt. Die von Exro patentierte Coil Driver™-Technologie nutzt die spezielle Verschaltung der Wicklung im Motor, um das Drehmoment bei niedrigen Drehzahlen zu erhöhen und die Leistung und Effizienz bei hohen Drehzahlen zu verbessern. Im Wesentlichen wählt der Coil Driver™ automatisch zwischen zwei Modi in einem einzigen Motor und minimiert den Kompromiss, den Hersteller bei der Wahl zwischen niedrigem und hohem Drehzahlbereich eingehen müssen. [1]

Der Coil Driver™ funktioniert also ähnlich einem mechanischen Getriebe zwischen Motor und Differential der Achse. Diese spezielle Umrichter-Motor-Kombination kann tatsächlich in bestimmten Fällen ein Getriebe ersetzen und für den Original Equipment Manufacturer (OEM) ein teures, wartungsintensives Bauteil einsparen. Außerdem kann der Motor dadurch deutlich kleiner und kompakter werden als bei einem vergleichbaren 3-Phasen-Konzept. Dies spiegelt sich wiederum im Preis der Umrichter-Motor-Kombination wider.

1.2 Motorkonzept

Die Herausforderung bei der Auslegung eines Motors für Nutzfahrzeuge ist, dass meist für Road-Applikationen meist keine universellen Fahrzyklen bekannt sind. Durch die Definition der relevanten Leistungsbereiche für die unterschiedlichen Anwendungen ergeben sich zwei unterschiedliche Motorkonzepte – Heavy-Duty (Abb. 1) und Medium-Duty.

Beide Motorvarianten sind mit hochwertigen Permanentmagneten ausgestattet, um möglichst lange bestimmte kritische Betriebspunkte fahren zu können (hohe Dauerbeanspruchung möglich). Weiters verfügen die Motoren über ein spezielles Isolationssystem, da der Coil Driver™ von Exro große Anforderungen an die Statorwicklung stellt. Aufgrund der angewendeten SiC-Technologie treten Taktfrequenzen bis zu 10 kHz auf.

Das Isolationssystem ist so ausgelegt, dass dieses hoher Beanspruchung standhält und somit Ausfälle aufgrund vorzeitiger Alterung vermieden werden. Eine Kombination aus spezieller Corona-beständiger Drahtbeschichtung, hochwertigem Nutsisolationsmaterial und einem Tränkharz auf Polyesterimid-Basis, das mittels Strom-Wärme-Imprägnierverfahren aufgebracht wird, schützt die Wicklung des Mo-

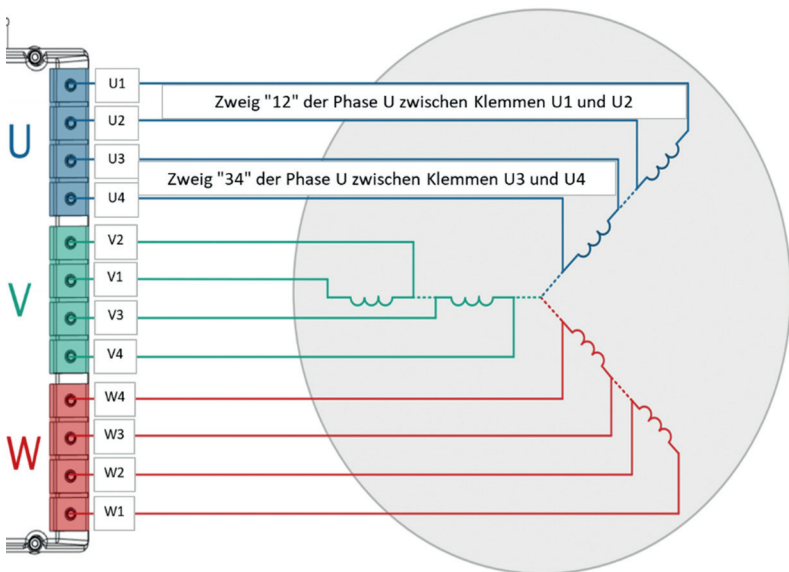
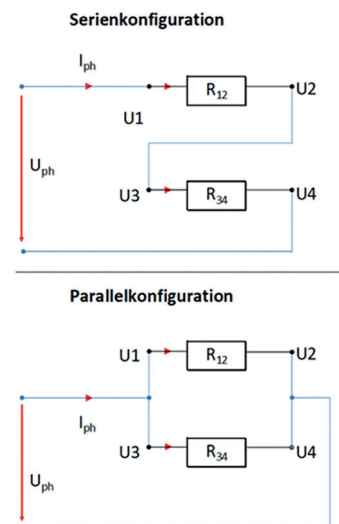


Abb. 2. Ersatzschaltbild der Statorwicklung



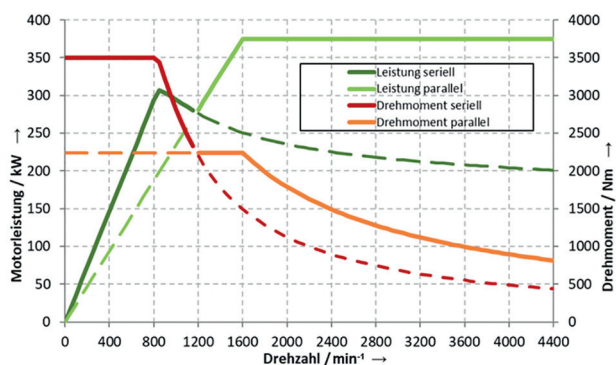


Abb. 3. Drehmoment-Drehzahl-Charakteristik bei Serien- bzw. Parallelkonfiguration

tors optimal. Die Verifizierung des Isolationssystems erfolgte mittels Versuche der Motor-Umrichter-Kombination im hauseigenen Prüflabor.

Die Auslegung der Wicklung orientiert sich an hochwertigen Isolationskonzepten, die im Hause TSA durch die Rail-Historie bekannt sind. Somit steht die neue Generation der Road-Motoren in puncto Zuverlässigkeit und Ausfallsicherheit den Rail-Motoren in nichts nach.

Die Wicklungstopologie des Traktionsmotors ist so gestaltet, dass die drei Wicklungsstränge mit einer geraden Anzahl an Spulengruppen realisiert sind (s. zur Veranschaulichung Abb. 2). Der Coil Driver™ kann daher die Spulengruppe je Strang entweder in Serie oder parallel ansteuern, woraus sich zwölf Anschlüsse im Klemmenkasten ergeben. Die Verschaltung bleibt sowohl in Serien- als auch Parallelkonfiguration eine 3-Phasen-Sternschaltung.

Durch diese Wicklungstopologie kann der Feldschwächebereich der Permanentmagnet-Synchronmaschine verschoben werden. Damit wird erreicht, dass bei gegebener Stromgrenze der Leistungselektronik einerseits in Serienschaltung der Spulengruppen ein maximales Startmoment erzielt und andererseits in Parallelschaltung die Leistung bei hohen Drehzahlen maximiert wird. Die Umschaltung zwischen Serien- und Parallelschaltung erfolgt dynamisch, sodass der Motor vom Stillstand bis zur Maximaldrehzahl im optimalen Bereich betrieben werden kann (Abb. 3).

Um die gewünschten Betriebspunkte auch ohne Überhitzung dauerhaft fahren zu können, setzt TSA hier auf eine bewährte Wassermantelaußenkühlung im Gussgehäuse. Bei einer vorgeschriebenen Durchflussrate von 25 l/min sowie Kühlmitteltemperaturen bis zu 65 °C kann die versprochene Performance der elektrischen Maschine gewährleistet werden. Das für die Wassermantelaußenkühlung speziell konstruierte Gehäuse wurde mittels mechanischer Finite-Elemente-Simulation so ausgelegt, dass eine bestmögliche Materialausnutzung gewährleistet ist. Um eine möglichst große Gewichtseinsparung zu erzielen, wurde anstelle einer Stahl-Schweiß-Konstruktion auf eine spezielle Aluminiumgusslegierung gesetzt (Abb. 4).

1.3 Messungen

Alle bei TSA entwickelten Motoren werden vor der Serienauslieferung einer Typprüfung im TSA-Prüffeld unterzogen. Bei Heavy-Duty und Medium-Duty wurden außerdem Messungen gemeinsam mit dem Coil Driver™ durchgeführt, um die Simulationen des innovativen Antriebssystems zu verifizieren. Zusätzlich wurden Tests zur Umweltverträglichkeit (Staub, Vibration, Schall, Wasser etc.) in einem externen Prüflabor beauftragt (Abb. 5) und ECER85-Messungen vom TÜV abgenommen.

Die Ergebnisse der Messungen am Antriebsstrang zeigen einen großen Bereich, in dem ein hoher Effizienzwert für das Gesamtsystem erzielt werden kann (Abb. 6). Dieser vergrößerte Effizienzbereich führt direkt zu einem verringerten Energieverbrauch des Fahrzeugs bzw. zu einer verlängerten Reichweite bei gleichbleibender Batteriegröße im Fahrzeug. Somit ist die Umrichter-Motor-Kombination von Exro und TSA derzeit der einzige Zentralantrieb für Nutzfahrzeuge der Klasse 3-8 auf dem Markt, der mit diesen Vorteilen punkten kann.

2. Service: Signifikanz und Benefits professioneller Serviceleistungen für Elektromotoren von Schienen- und Straßennutzfahrzeugen

Im Bereich der Wartung gewinnt Nachhaltigkeit zunehmend an Bedeutung. Insbesondere in der Bahnindustrie wird der Trend zu längeren Wartungsintervallen immer deutlicher. Diese Herausforderungen erfordern innovative Lösungen, die dem aktuellen Stand der Technik entsprechen. Im Vergleich zu Produkten, die vor zehn Jahren auf dem Markt waren, können neue Produkte den Wartungsaufwand erheblich reduzieren.

Diese Vorteile lassen sich auch bei älteren Produkten nutzen, indem im Rahmen einer geplanten präventiven Wartung die Motoren auf den aktuellen Stand der Technik gebracht werden. Dadurch können nicht nur Kosten gespart



Abb. 4. Umweltverträglichkeitstest – Wassersprühnebel

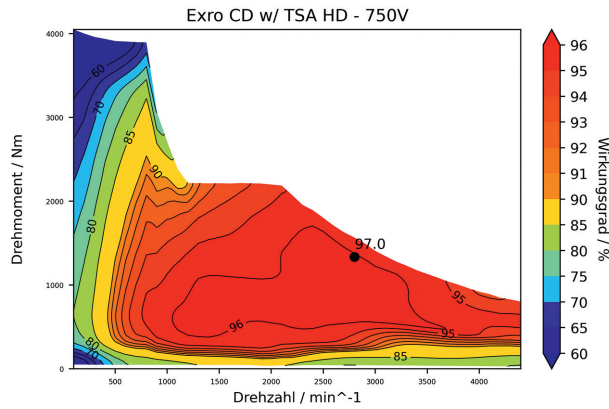


Abb. 5. Vereinfachte zweidimensionale Effizienzbetrachtung für das Komplettsystem (Motor und Umrichter) [2]

werden, sondern es wird auch ein wichtiger Beitrag zur Nachhaltigkeit geleistet. Die Bedeutung innovativer Technologien im Bereich der Wartung wird also weiter zunehmen, und Bahnbetreiber, die diesen Trend erkennen und nutzen, werden einen Wettbewerbsvorteil erlangen.

2.1 Verbesserung der Leistung der Produkte durch einfaches Nachrüsten

Wenn es um die Optimierung der Leistung von Traktionsmaschinen und Fahrzeugen geht, müssen nicht immer gleich neue Modelle angeschafft werden. Mit einigen wenigen Nachrüstungen, die bei TSA durchgeführt werden, können bereits im Einsatz befindliche Produkte signifikant verbessert werden.

Ein Beispiel dafür ist der nachträgliche Einbau keramischer Wälzkörper aus Siliziumnitrid. Diese Materialien verhindern Lagerströme und damit verbundene Schäden und Fehleranfälligkeiten. Darüber hinaus führen keramische Wälzkörper zu einer längeren Standzeit des Schmierstoffs. Dank neuer Technologien sind heute relativ kleine keramische Wälzkörper wirtschaftlich verfügbar. Dies ermöglicht es, ältere Motoren mit diesen Wälzkörpern nachzurüsten und dadurch die Tausch- und Schmierfristen zu verlängern. Eine bei TSA durchgeführte präventive Wartung kann – je nach Antriebssystem und Fahrzeug – die Tauschfristen verdoppeln und je nach Schmierstoff die Schmierfristen vervierfachen.



Abb. 6. Fettproben nach 1.200.000 km (v.l.): eine Fettsorte, die wenig Alterung zeigt; eine Probe, die hohe Eisenanteile enthält (Lagerverschleiß); eine Probe mit hohem Messinganteil; Frischfett. In der Abbildung handelt es sich um verschiedene Typen – die Ausgangsfarben sind nicht ident.

2.2 Nachträglicher Umbau zur Reduktion von EDM-Strömen

Auch der Einbau von Erdungsbürsten zur Reduktion von EDM-Strömen kann die Schadwirkung verringern und die Standzeit der Lager erhöhen. Natürlich müssen die Bürsten selbst in regelmäßigen Abständen gewartet und ausgetauscht werden, aber insgesamt lohnt sich diese Investition in die Langlebigkeit der Fahrzeuge.

Ein weiteres Beispiel ist der nachträgliche Einbau von isolierenden Kupplungen zwischen Motor und Getriebe, auch bekannt als Getriebelagerschutz. Wenn die Getriebelager von Lagerströmen betroffen sind, können isolierte Kupplungen eine Lösung sein, um das Problem zu lösen. Eine bei TSA durchgeführte Umrüstung kann sich langfristig als wirtschaftlich sinnvoll erweisen und die Leistung der Antriebe verbessern.

2.3 Wechsel zu Hochleistungsschmierstoffen

Ein Schmierstoffwechsel kann wirtschaftlich sinnvoll sein, da die Schmierstoffe relativ einfach bei TSA ausgetauscht werden können und durch die Verwendung von höherwertigen Produkten der Wartungsaufwand für den Betreiber reduziert werden kann. Bei der Verwendung von Fett kann in manchen Fällen in einem definierten Prozess bzw. Mischungsverhältnis mit dem neuen Schmiermittel gemischt werden. Falls die Produkte jedoch nicht oder nur begrenzt verträglich sind, muss das alte Fett vollständig entfernt werden. Aus diesem Grund empfehlen die Expert:innen von TSA einen Schmierstoffwechsel nur in Verbindung mit einem Lagertausch, der von TSA durchgeführt wird. Hochleistungsschmierstoffe erweisen sich als profitabel, da sie die Effizienz und Lebensdauer der Traktionsantriebe verbessern.

2.4 Upgrade des Isoliersystems

Eine der wichtigsten Eigenschaften von Isolationssystemen ist ihre Fähigkeit, hohen Temperaturen standzuhalten. Die thermische Belastbarkeit wird hauptsächlich durch die verwendeten Materialien bestimmt. Das TSADUR®-Isolationssystem verwendet hochwertige Materialien auf Silikonbasis, die durch eine raffinierte Kombination eine dauerhafte Einsatztemperatur von bis zu 220 °C ermöglichen. Durch den Einsatz von TSADUR®-Materialien können gebrauchte Wicklungen bei TSA ausgetauscht und die Lebensdauer von Traktionsmaschinen erheblich verlängert werden. Vertraut man auf die Qualität der Isolationssysteme von TSA, sorgt man für eine zuverlässige Leistung der Motoren.

Literatur

- [1] Exro Technologies Inc.: Coil Driver™, vgl. URL: <https://www.exro.com/technology/coil-driver#high-voltage> [28. April 2023].
- [2] In Anlehnung an Hustedt, Eric, eigene Darstellung, Exro Technologies Inc. [2023].