

Seite: 56 bis 57
Rubrik: Spezial: Energie
Mediengattung: Zeitschrift/Magazin

Jahrgang: 2023
Nummer: 0130
Auflage: 3.000 (gedruckt)¹ 1.146 (verkauft)¹
 2.530 (verbreitet)¹

¹ IVW 3/2022

Alternative Antriebe

Energie für den Wandel

Der Ausbau des Schienenverkehrs ist erklärtes Ziel der deutschen Politik. Hinzu kommt die Anforderung der vollständigen CO₂-Neutralität des Betriebs bis 2045. Dies stellt den Bahnsektor vor zwei wesentliche Herausforderungen: Senkung der Emissionen bei der Erzeugung von elektrischer Bahnenergie sowie Abkehr vom fossilen Diesel. Gleichzeitig sieht der „Masterplan Schienenverkehr“ eine Verdopplung der Fahrgastzahlen bis 2030 sowie eine deutliche Steigerung des Schienengüterverkehrs vor. Welchen Beitrag kann die Fahrzeugtechnik hierzu leisten?

Gegenwärtiger Zustand

Laut Bundesverkehrsministerium wurden im Jahr 2017 bereits 90 Prozent der Verkehrsleistung auf der Schiene elektrisch erbracht. Ähnlich wie im Straßenverkehr konzentriert sich die hohe Verkehrsleistung auch im Schienennetz vorwiegend auf die Hauptstrecken mit langlaufenden und meist schnellen Verkehren. Der Elektrifizierungsgrad der bundeseigenen Schienenwege betrug im Jahr 2021 hingegen laut Allianz pro Schiene nur 61 Prozent. Dies bedeutet, dass die nichtelektrisch erbrachte Verkehrsleistung häufig in der Fläche und dort maßgeblich im Schienenpersonen-nahverkehr (SPNV) anfällt. Dort werden knapp 36 Prozent der Zugkilometer mit Dieselantrieben erbracht. Laut DB Energie wurden im Jahr 2020 rund 385 Millionen Liter Diesel vertankt. Dies entspricht einem Anteil von knapp 30 Prozent am gesamten Traktionsenergiebedarf, der auch den elektrischen Anteil (9200 GWh) enthält. Somit ist der Energiebedarf von Dieselantrieben überproportional höher als ihr entsprechender Anteil an der gesamten Verkehrsleistung. Dies zeigt die deutlich geringere Energieeffizienz des Dieselantriebs, die verbunden mit den entsprechenden CO₂-Emissionen ein maßgeblicher Motivator für antriebstechnische Alternativen sind.

Herausforderung

Elektrische Fahrzeuge sind schon immer

lokal CO₂-frei. Die Treibhausgasemissionen, die durch den Betrieb entstehen, werden allerdings durch die Art der Energieerzeugung bestimmt. Der Klimaschutzplan Bahnstrom strebt daher eine vollständige Klimaneutralität bis 2040 an. Dies erfordert den Zubau erneuerbarer Erzeuger. Fahrzeuge, die heute aufgrund fehlender Oberleitungen nicht direkt elektrisch betrieben werden können, benötigen hingegen andere Lösungen: sogenannte alternative Antriebe. Die Idee ist dabei, den elektrischen Antrieb auch dorthin zu bringen, wo Oberleitungen aus wirtschaftlichen oder kapazitiven Gründen mittel- bis langfristig nicht errichtet werden.

Technologien

Die deutschen SPNV-Netze sind nicht durchgehend elektrifiziert. Ein Großteil aller Linien, die heute noch mit Dieselantrieben betrieben werden, besitzt jedoch mindestens einen elektrifizierten Teilabschnitt. Oberleitungs-/Batterie-Hybridfahrzeuge (BEMU) können dies zum effizienten und wirtschaftlichen Energiebezug durch die Kombination von Stromabnehmer- und Batteriebetrieb nutzen. Nichtelektrifizierte Abschnitte von bis zu 100 Kilometern können mithilfe der Batterie überbrückt werden, während unter der Oberleitung als Elektrotriebzug gefahren wird. Die Batterien werden sowohl in Fahrt an der Oberleitung als auch im Stillstand über die Oberleitung oder stationäre Ladestationen nachgeladen. Dieses Konzept

bietet zudem eine gute Migrationsperspektive im Falle einer schrittweisen oder späteren Elektrifizierung. Batterien bieten allerdings nur begrenzte Energieinhalte.

Für längere nichtelektrifizierte Streckennetze können Brennstoffzellenfahrzeuge (FCMU) mit größerer Reichweite aufgrund der höheren gravimetrischen Energiedichte des Wasserstoffs eingesetzt werden. Diese benötigen zur Deckung des dynamischen Leistungsbedarfs jedoch auch eine Traktionsbatterie. In Kombination mit einer zusätzlichen Oberleitungsspeisung (FCEMU) ließen sich auch elektrifizierte Abschnitte nutzen – dann allerdings mit höheren Fahrzeugkosten und -gewichten.

Batterieantriebe bieten Wirkungsgrade von circa 70 Prozent bezogen auf das speisende Netz, Brennstoffzellenfahrzeuge allein Wirkungsgrade von 50 Prozent. Wenn als Vergleichsbasis das elektrische Versorgungsnetz herangezogen wird, ist bei Brennstoffzellenantrieben noch die Elektrolyse für die Wasserstoffherzeugung zu berücksichtigen, die den Gesamtwirkungsgrad nochmals auf circa 30 Prozent reduziert. Bei der energetischen Bewertung muss neben dem Wirkungsgrad auch der zeitliche Bezug der Elektroenergie zur optimalen Nutzung erneuerbarer Energien betrachtet werden. Während Batteriefahrzeuge zum Zeitpunkt des Ladens kurzzeitig hohe Leistungen benötigen, lassen sich Brennstoffzellenfahrzeuge mit lagerbarem Wasserstoff betreiben. Dies bietet eine Möglichkeit zur Sektorenkopplung

und Energiespeicherung.

Übergangslösungen

Schienenfahrzeuge können im SPNV Lebensdauern von bis zu 40 Jahren erreichen. Dies erfordert neben dem Einsatz alternativer Antriebe für Neufahrzeuge auch eine nachhaltige Lösung für den Weiterbetrieb bestehender Dieselfahrzeuge. Hier bieten sich synthetische oder biogene Kraftstoffe als Substitut für fossilen Dieselkraftstoff an. Die DB Energie demonstriert die Einsatzfähigkeit bereits heute mit sogenannten HVO-Kraftstoffen. Auch der Umbau einer Diesel-Rangierlokomotive zur Nutzung von Wasserstoff in einem Verbrennungsmotor wurde im Herbst 2022 durch den Schienenfahrzeughersteller Alstom prototypisch vollzogen. Beide Energieträger besitzen allerdings aufgrund aufwendiger Herstellungs- und verlustbehafteter Verbrennungsprozesse geringere Gesamtwirkungsgrade als Brennstoffzellen- oder Batterieantriebe. Die Hybridisierung von konventionellen Dieselantrieben durch die Ergänzung von elektrischen Antriebsmaschinen und Energiespeichern stellt hingegen ein mittlerweile weniger interessantes Einsatzfeld dar. Gegen den Umbau sprechen hohe Kosten und geringe Einsparungen bei kurzen Restnutzungsdauern sowie teilweise umfangreiche Eingriffe in veraltete Steuerungstechniken. Bei Neufahrzeugen existieren mit

BEMU und FCMU effizientere und lokal emissionsfreie Alternativen.

Dipl.-Ing. Tobias Bregulla

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Elektrische Bahnen der Technischen Universität Dresden. Er ist auf dem Gebiet der alternativen und konventionellen Schienenfahrzeugantriebe und der Leistungs- und Energiebedarfsermittlung forschend und lehrend tätig.

Wahl der Antriebsart

Welcher alternative Antrieb sich für welchen Einsatzfall eignet, ist nicht trivial bestimmbar. Zur Nutzung von Mengeneffekten bei Fahrzeugen, Infrastruktur und Betriebsführung sollte die Betrachtung mindestens auf der Ebene betrieblicher Netze sowie zugehöriger Gesamtflotten stattfinden und stets vor dem Hintergrund der Fahrzeug- beziehungsweise Anlagenlebensdauer bewertet werden. Typische Betrachtungszeiträume umfassen dabei bis zu 35 Jahre.

Die anfänglichen Investitionen werden durch Infrastrukturmaßnahmen wie Wasserstofftankstellen oder Bahnstromanlagen sowie die Fahrzeugkosten bestimmt. Zusätzlich sind alle laufenden und wiederkehrenden Kosten zu ermitteln. Dabei spielen beispielsweise technologiebedingte Instandhaltungsvorgänge und Ersatzinvestitionen sowie betriebliche Zusatzaufwände maßge-

bende Rollen. Die Fahrzeugwirkungsgrade besitzen aufgrund des Einflusses auf die langjährigen Energiekosten eine Schlüsselposition in der Bewertung. Häufig sind die Energiekosten der entscheidende Faktor, wobei ihre Prognose großen Unsicherheiten unterliegt. Die Lebenszykluskostenanalyse (LCC) kann daher nur gemeinsam mit einer Sensitivitätsanalyse eine zielführende Bewertungsmethode darstellen.

Ausblick

Bei der Substitution des Diesels durch alternative Antriebe wird auf erneuerbare Energien gesetzt, wobei in allen Fällen elektrische Übertragungs- und Wandlungssysteme zum Einsatz kommen werden. Vielversprechend für den SPNV sind aktuell vor allem Oberleitungs-/Batterie-Hybridantriebe sowie Brennstoffzellenantriebe und Antriebe mit alternativen Kraftstoffen. Eine klare Präferenz für eine einzige Technologie ist derzeit weder absehbar noch sinnvoll. Während im SPNV für zahlreiche deutsche Netze bereits heute Technologieentscheidungen getroffen werden, bleibt die Frage nach alternativen Antriebs-technologien für den dieselbetriebenen Güterverkehr oder die wenigen verbliebenen nichtelektrifizierten Fernverkehrsstrecken noch weitestgehend unbeantwortet.

Abbildung: Eine Vectron-Lokomotive von DB Cargo.

Fotograf: FOTOS: DEUTSCHE BAHN AG – DANIEL KORBACH/ANDREA SURMA

Wörter: 910