

Neubewertung klimaneutraler Alternativen zu Dieseltriebzügen

Aktualisierte Wirtschaftlichkeitsanalyse am Praxisbeispiel ›Netz Düren‹

Ausgangslage

Aufgrund der umwälzenden Entwicklungen im Krisenjahr 2022 wurde eine Aktualisierung der Wirtschaftlichkeitsanalyse für das ›Netz Düren‹ aus dem Jahr 2020 notwendig. Als Basis für das Update dienten die in den Vorprojekten gesammelten Daten zu klimaneutralen Alternativen für Dieseltriebzüge (DMU) im Schienenpersonennahverkehr (SPNV). Der in den Vorprojekten entwickelte ganzheitliche Ansatz mit Einflussgrößen aus technischen, fahrbetrieblichen, systemischen, volks- und betriebswirtschaftlichen Blickwinkeln wurde fortführend genutzt und aktualisiert. Das Zieljahr 2026 für den Ersatz der bisherigen Dieselflotte im ›Netz Düren‹ mit den Linien RB 21 Süd, RB 21 Nord und RB 28 hat weiterhin Gültigkeit.

Aktuelle Herausforderungen

Das Krisenjahr 2022 hat nicht nur zu politischen, sondern auch zu maßgeblichen wirtschaftlichen Veränderungen geführt. Diese zeigten sich einerseits im (zunächst prognostizierten und später auch realen) Mangel an Primärenergieträgern und andererseits in stark gestiegenen Energiekosten. Auch die erhebliche Steigerung der Inflationsrate beeinflusst Herstellungs- und Produktionskosten und schließlich die Marktpreise.

Batterie- (BEMU) oder Brennstoffzellentriebzug (HEMU)?

Bereits in seinen letzten technischen und wirtschaftlichen Studien kam der VDE zum Ergebnis, dass es nicht die eine ideale Lösung für alle Netze gibt und deshalb die Suche nach der besten Alternative eine individuelle Analyse des jeweiligen Streckennetzes notwendig macht. In der aktualisierten Wirtschaftlichkeitsanalyse wurde am Praxisbeispiel ›Netz Düren‹ erneut, und unter besonderer Beachtung der Energiepreisentwicklung, die Wirtschaftlichkeit von Batterie- und Brennstoffzellenzügen untersucht und bewertet.

Beide Alternativen haben ihre Besonderheiten

Bei der Einschätzung des BEMU-Konzeptes kommt es darauf an, wo, wie lange und mit welcher Leistung im Netz nachgeladen werden kann. Zudem ist es wichtig zu wissen, wieviel Prozent der in den Bremsphasen durch Rekuperation erzeugten Energie sich in die Lithium-Ionen-Batterie zurückspeichern lässt. Für den Betrieb von HEMU-Fahrzeugen ist die Entwicklung des Preises für elektrolytisch erzeugten grünen Wasserstoff wie auch der Wirkungsgrad und die Lebensdauer von Brennstoffzellen ausschlaggebend. Zudem hängt der Wasserstoffverbrauch davon ab, inwieweit die rekuperierte Bremsenergie in der Pufferbatterie gespeichert und genutzt werden kann.

Datengrundlage und Methodik der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Als Basis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des VDE dienen auf das Jahr 2026 bezogene Daten wie Fahrplan, Flottengröße, Betriebsleistungen, Geschwindigkeiten und Haltezeiten. Hinzu kommen Beschaffungs- und Wartungskosten, Kosten für den Austausch von Komponenten sowie die Installation und den Betrieb der benötigten Infrastruktur.



Der Energiebedarf von Schienenfahrzeugen auf den Strecken des »Netz Düren« wurde bereits im Vorprojekt auf der Grundlage von Simulationen berechnet, die neben Geschwindigkeitsverläufen und Geländeprofilen auch Leistungswerte von Nebenaggregaten und Leerlaufbedarfe berücksichtigen. Als Betrachtungszeitraum wird die im Bahnverkehr typische Laufleistung von 30 Jahren angenommen.

Für die aktualisierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 2023 erfolgte eine Analyse der bisherigen Parametrierung und die Anpassung einzelner Parameter aufgrund von präzisierten Eingangsgrößen durch Erfahrungszuwachs und Ausweitung des zugrundeliegenden Datenpools aus weiteren Praxisprojekten (Aktualisierungen zum Stand der Technik). Besonderes Augenmerk lag auf der Aktualisierung relevanter Parameter mit marktüblichen Referenzdaten unter ausdrücklicher Berücksichtigung der Preis- und Indexentwicklungen 2023 bezüglich der Energiekosten.

Analog zum Vorprojekt wurde für die aktualisierte Wirtschaftlichkeitsanalyse die Kapitalwertmethode als dynamisches Investitionsrechnungsverfahren auf verschiedene Zugtypen angewandt; besonderer Fokus lag hier auf den Diesel-Alternativen HEMU und BEMU sowie der klassische EMU-Variante jeweils inklusive der notwendigen Infrastrukturmaßnahmen (wie Oberleitungsinseln/Lademöglichkeiten; Wasserstoffversorgung und Tankstellen; Oberleitungsausbau). Ergänzt wurde die Kapitalwertmethode erneut mit einer Sensitivitätsanalyse, um die Bandbreite möglicher Kapitalwerte in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern und deren typischen sowie extremen Ausprägungen darzustellen.

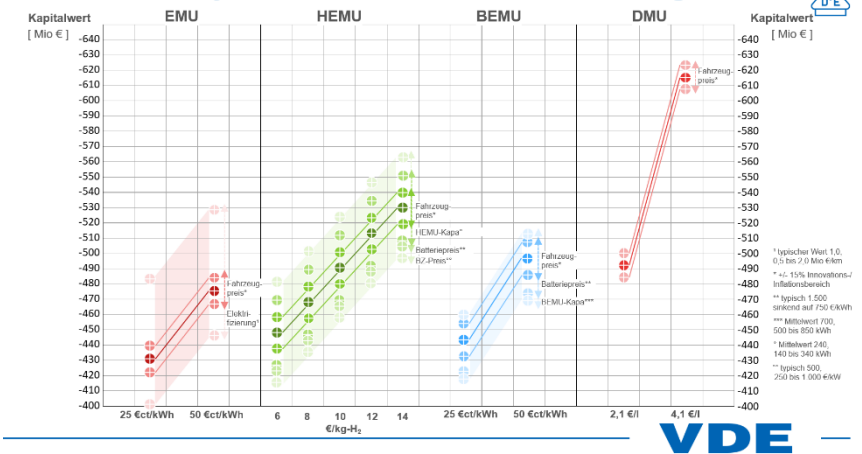
Ergebnisse im Detail

Der Wirtschaftlichkeitsvergleich der Alternativen zeigt, dass sich die Kapitalwerte der unterschiedlichen technologischen Lösungen EMU, HEMU, BEMU und DMU im Vergleich von 2020 zu 2023 negativ entwickelt hat. Allerdings trifft dies auf alle Lösungen gleichermaßen zu und ist primär in den sich negativ entwickelnden Energiepreisen begründet.

Der Parameter Energiekosten hat sich im Jahr 2022 über alle drei Ausprägungen Dieselpreis (pro Liter), Bahnstrom (ct pro kWh) und grüner Wasserstoff (€ pro kg) negativ entwickelt. In der nun vorliegenden Aktualisierung wurden die Preise für Bahnstrom deshalb von 25 bis 50 ct/kWh, für Wasserstoff zwischen 6 und 14 €/kg und schließlich für Diesel von 2,10 bis 4,10 €/l variiert. Auch wenn diese Preise in ihrer jeweils höchsten Ausprägung extrem erscheinen, so sind sie doch nicht völlig von der Hand zu weisen. So lag der durchschnittliche Energiepreis für Industriekunden bei 54,9 ct/kWh im zweiten Halbjahr 2022¹. Der Endkundenpreis für Wasserstoff wurde von H2 Mobility um über ein Drittel auf 12,85 €/kg ab der Jahresmitte 2022 angehoben².

Die Stromkosten werden sich auch mittel- und langfristig auf einem hohen Niveau etablieren, denn mit einer Entspannung der gegenwärtigen Energiekrise ist nicht zu rechnen. Deutschland gilt als rohstoffarmes Land und muss circa 70 % des Energiebedarfes durch Importe diverser Energieträger abdecken. Auch in den kommenden Jahren wird Deutschland zu den Energieimporteuren zählen. Um die Versorgung weiterhin zu sichern, muss die Importabhängigkeit verringert und die Vielfalt an Lieferländern und Transportstrukturen erhöht werden. Gleichzeitig sollte ein Hauptaugenmerk auf der Energieeffizienz liegen, um mit dem knappen Gut Energie das bestmögliche gesamtwirtschaftliche Ergebnis zu erzielen.

Sensitivitätsanalyse zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - 2023



Quelle: eigene Darstellung VDE

Auch die Bezugskosten der Fahrzeuge wurden über eine Spanne von plus/minus 15 % Innovations- bzw. Inflationsspanne variiert. Die entsprechenden Fahrzeugpreise haben sich für die Besteller ebenfalls negativ entwickelt und folgen der allgemeinen Teuerung. Dies ist unabhängig vom konkreten Beschaffungsmodell, wie Kauf, Leasing, Miete, Lebenszyklusmodell (u. a. NRW-RRX-Modell). Da die Beschaffungskosten jedoch (summarisch) nur einmalig pro Zug anfallen und auch die technologiebedingten Austauschkosten (beim BEMU die Batteriekomponenten; beim HEMU die Batterie- und die Brennstoffzellkomponenten) nur einmalig anfallen, beeinflussen

¹ <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-strompreisanalyse> (Abruf am 06.02.2023)
² <https://insideevs.de/news/591331/wasserstoff-preis-tankstelle-h2mobility/> (Abruf am 06.02.2023)

sie das jeweilige Ergebnis der Technologie nur geringfügig. Als maßgeblicher Einflussfaktor neben den technologiebedingten Energiekosten bestätigte sich für den EMU die Streckenelektrifizierung als Infrastrukturkosten.

Möglicher Weiterbetrieb der Dieseltriebzüge

Auch der Weiterbetrieb der vorhandenen Dieseltriebzüge (DMU) wurde in die Analyse einbezogen. Um die angestrebte Klimaneutralität zu erzielen, müssten diese mit einem CO₂-neutralen Alternativkraftstoff betrieben werden. Zumindest in einer Übergangsphase könnte dafür HVO (hydrotreated vegetable oil) eingesetzt werden, denn im Vergleich zu Standard-Dieselmotorkraftstoff kann mittels HVO eine CO₂-Reduzierung um rund 90 % ("well to wheel") realisiert werden. HVO stellt also zumindest technologisch eine Brücke zur Klimaneutralität dar.

In Deutschland hat der Reinkraftstoff HVO100 bisher keine grundlegende Zulassung vom Umweltbundesamt. Jedoch hat beispielsweise die Deutsche Bahn den Kraftstoff für alle 800 Loks der DB Cargo zugelassen und bis 2028 sollen alle 2.000 Diesel-Bestandsfahrzeuge der DB-Gruppe folgen³.

Die marktüblichen Kosten für HVO liegen typischerweise 15ct/l über den jeweils aktuellen Dieselpreisen. Dieser zum Marktpreis des Energieträgers Diesel vergleichsweise geringe finanzielle Mehraufwand pro Liter beeinflusst den Kapitalwert und somit das wesentliche finanzielle Entscheidungskriterium nur minimal zu Ungunsten der technischen Option „Weiterbetrieb mittels HVO“.

Als alternativer Dieselmotorkraftstoff wird insbesondere im Schwerlasttransport und Nutzfahrzeugbereich gebraucht. Aber die umfassende Verfügbarkeit von HVO stellt eine Herausforderung dar. HVO wird typischerweise aus Rest- und Abfallstoffen hergestellt, auch die Herstellung aus spezifisch dafür angebauten Ölpflanzen ist möglich. Aufgrund dieser Konkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion wie auch der Herstellung aus Rest-/Abfallstoffen ist der breiten angelegten Verfügbarkeit Grenzen gesetzt.

Für das »Netz Düren« stellt nach aktueller Einschätzung des VDE der Weiterbetrieb der im Einsatz befindlichen Dieselflotte mit HVO keine optimale Lösung dar.

Für das »Netz Düren« ist der Batterietriebzug das wirtschaftlichere Konzept

Der Wirtschaftlichkeitsvergleich der Alternativen zeigt weiterhin, dass sich der Batterietriebzug im Falle des »Netz Düren« wirtschaftlicher betreiben lässt als der Brennstoffzellentriebzug.⁴ Die wichtigsten Gründe hierfür sind die Energiekosten und die erwarteten Tauschkosten für die Traktionsbatterie bzw. die Brennstoffzelle. Damit bleibt die grundsätzliche Empfehlung aus dem Jahr 2020 bestehen.

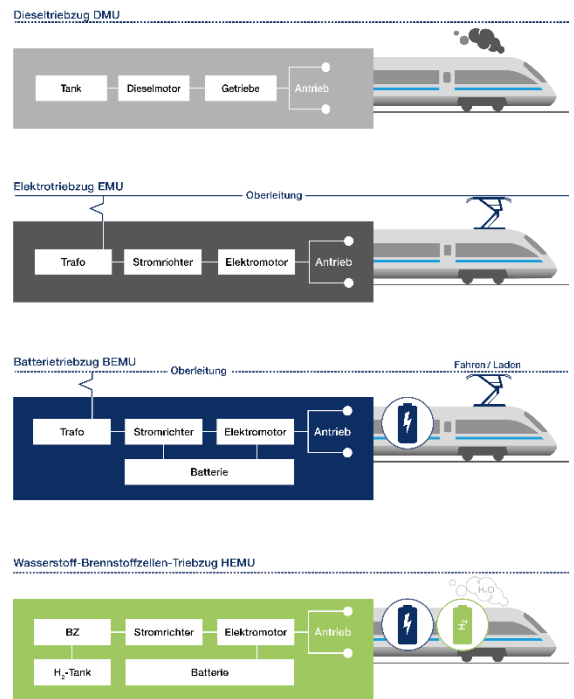
Fazit

Es zeigt sich noch einmal eindeutig, wie stark einzelne Parameter der untersuchten Alternativen (in diesem Fall die Energiekosten) das Ergebnis beeinflussen können. Deshalb ist es umso wichtiger auch extreme Szenarien in die Analyse mit einzubeziehen und die Resultate anschließend zu hinterfragen. Die rechnerischen Ergebnisse müssen zwingend einer kritischen Betrachtung unterzogen werden. Auf dieser eindeutigen und validen Basis können anschließend richtungweisende Investitionsentscheidungen getroffen werden.

Themenfokus Alternative Antriebe im VDE

Der technisch-wissenschaftliche Verband VDE befasst sich seit Ende 2017 neutral und technologieunabhängig mit der Fragestellung, welche klimaneutralen Alternativen sich technisch und systemisch als Ersatz für Dieseltriebzüge auf Nebenstrecken des SPNV anbieten. In seiner dritten Studie im Rahmen des BMVI geförderten Projektes X-EMU bewertete der VDE 2020 erstmals die Wirtschaftlichkeit der Alternativen Antriebe am Praxisbeispiel »Netz Düren«.

Aktuelle Informationen, veröffentlichte Studien und Fact Sheets zum Thema SPNV und klimaneutrale Mobilität finden Sie unter www.vde.com/alternative-antriebskonzepte.



Quelle: eigene Darstellung VDE

³ <https://www.dbcargo.com/rail-de-de/logistik-news/auf-dem-gruenen-weg-db-cargo-testet-hvo-7327204> (Abruf am 06.02.2023)

⁴ Für einen objektiven Vergleich der Alternativen müssen diese unter ähnlichen Voraussetzungen betrachtet werden. So sollten keine minimalen und maximalen Extremausprägungen von unterschiedlichen Technologien miteinander verglichen werden, da es so zu unrealistischen Vergleichen und Verzerrungen in der Wahrnehmung einzelner Lösungen kommt.