

Fahrzeugkonzepte für die neue Zukunft der Bahn

Die Maßnahmen zum Klimaschutz beeinflussen Verkehrssektor und Eisenbahn. Daher erfolgt ab jetzt die Entwicklung neuer Fahrzeugkonzepte unter geänderten Vorzeichen.



Abb. 1: Triebzug RABe 502 FV-Dosto der SBB

Quelle: SBB

STEFAN KARCH

Die vorgesehenen Maßnahmen zum Klimaschutz können dazu führen, dass die allseits bekannten Vorteile des spurgebundenen Verkehrs nun tatsächlich wirksam werden. Dies betrifft sowohl die einfache Speisung mit regenerativen Energien als auch der im Vergleich zu allen anderen Verkehrsträgern niedrigere Energiebedarf. Die Nutzung beider Vorteile wird für das Gelingen der beabsichtigten Mobilitätswende notwendig sein, um die Dekarbonisierung des Verkehrssektors bis zum geplanten Zeitpunkt abzuschließen. Nicht nur die Gestaltung des Bahnsystems, sondern auch die zugehörigen neuen Fahrzeugkonzepte werden dadurch maßgeblich beeinflusst.

Neue Rahmenbedingungen für den Schienenverkehr

Klimaschutz und Dekarbonisierung des Verkehrssektors

Mit dem Pariser Klimaschutzabkommen wurde das Ziel der Klimaneutralität obligatorisch. Um die weitere Erwärmung der Erdatmosphäre anzuhalten, muss jegliche künstlich verursachte Emission von Kohlendioxid (CO₂) unterbunden werden. Die Frist hierfür wurde in Deutschland durch das

Klimaschutzgesetz auf die Zeit bis 2045 begrenzt [1].

Der Verkehrssektor ist von dieser Entwicklung stark betroffen, da sich in den letzten Jahrzehnten die Nutzung von fossil gespeisten Antrieben mit hoher Leistungs- und Speicherdichte wie z.B. Verbrennungsmotoren und Turbinen-Strahltriebwerken durchgesetzt hat. Der kontinuierliche Wechsel zu nachhaltigen Antrieben kennt bisher nur zwei prinzipielle Optionen und ist daher besonders anspruchsvoll:

1. Einsatz elektrischer Antriebe mit direkter oder indirekter Speisung auf Basis regenerativer Energien
2. Anwendung von nachhaltig erzeugten Kraftstoffen wie z.B. Wasserstoff oder eFuels.

Für welche Einsatzfelder diese beiden Möglichkeiten jeweils geeignet sind, wird gerade in der Fachöffentlichkeit intensiv diskutiert. Dabei hat sich bereits gezeigt, dass erneuerbare Energien am Anfang der Dekarbonisierung relativ knapp sein werden [2], und es somit von Vorteil sein wird, den Energiebedarf für den Transport von Menschen und Gütern gering zu halten.

Mobilitätswende

Somit werden ab jetzt die Verkehrsträger im Vorteil sein, deren Leistungsanforderungen relativ niedrig sind, und dazu gehört vordringlich die Eisenbahn:

- Zum einen ist der spezifische Energiebedarf von Bahnsystemen aufgrund der Spurführung, des Rad-Schiene-Kontakts sowie der

Zugbildung um ein Vielfaches geringer als der von Straßen- und Luftfahrzeugen.

- Zum anderen erlaubt die Spurführung die direkte Speisung von Energie über Oberleitung oder Stromschiene, sodass die Notwendigkeit zu deren Zwischenspeicherung im Fahrzeug über Batterien oder Tanks entfällt.

Aus diesem Grund wird die Eisenbahn als Schlüsselement bei der Umsetzung einer Mobilitätswende angesehen [3], deren Ziel die Verschiebung des Schwerpunkts vom motorisierten Straßenverkehr hin zu nachhaltigen Verkehrsformen ist. Dazu gehört neben dem „Langsamverkehr“ wie das Zufußgehen und das Radfahren vor allen Dingen auch die in den allgemeinen öffentlichen Verkehr (ÖV) eingebettete Eisenbahn.

Der erste Teil der Mobilitätswende umfasst laut aktuellem Koalitionsvertrag die Verdoppelung des Marktanteils der Eisenbahn am Personenverkehr in Deutschland bis 2030. Außerdem wird für den Schienengüterverkehr eine Steigerung des Marktanteils von heute ca. 19 auf 25 % als Zielmarke ebenfalls für das Jahr 2030 vorgegeben [4].

Dagegen werden die Maßnahmen des zweiten Teils erst später als Reaktion auf die Nutzerwünsche erforderlich und sich am beobachteten Marktgeschehen orientieren. Dazu gehören beispielsweise

- der tatsächliche Ablauf der Antriebswende im Straßenpersonenverkehr, sowohl für den Pkw als auch für den Lkw,

- die Preisentwicklung für erneuerbare Energien und die Mengenanteile, die für einen dann nahezu vollelektrifizierten Verkehrssektor zur Verfügung gestellt werden können und
- die technische, wirtschaftliche und regulatorische Entwicklung der Luftfahrt, speziell hinsichtlich kürzerer Strecken.

Deutschlandtakt

Nach dem Vorbild der Schweiz soll nun auch Deutschland einen netzweiten Integralen Taktfahrplan (ITF) erhalten. Er wird nicht nur als Grundlage für das netzweite Betriebskonzept dienen, sondern zusätzlich auch das Ausbauprogramm für die Infrastruktur maßgeblich beeinflussen. Der nun zu erwartende deutliche Beschleunigungsschub für das System Bahn wird durch den natürlichen Systemdruck eines ITF, alle festgelegten Anschlussknoten jeweils rechtzeitig zu erreichen, ausgelöst. Neben vielen Einzelmaßnahmen in der sog. „Fläche“ und der Wiederaufnahme der Neigetechnik wird auch eine Erweiterung des Hochgeschwindigkeitsnetzes um ca. 500 km geplant und teilweise schon umgesetzt. Insgesamt wird „Schnelligkeit“ als das typische Merkmal der Eisenbahn wieder stärker in den Vordergrund gerückt.

Konsequenzen der neuen Rahmenbedingungen

Mobilitätswende und Deutschlandtakt stellen neue Anforderungen an das Bahnsystem, und zwar in verkehrlicher, betrieblicher und natürlich auch technischer Hinsicht.

Verkehrliche und betriebliche Anforderungen

Die Antriebswende im Straßenverkehr wird die Nutzung von Pkw speziell für längere Fahrten erschweren, denn es ist ein stetiges Batteriemangement erforderlich, um Ladezeit und -ort immer rechtzeitig festzulegen. Nur mit der Nutzung spezieller Routenplaner ist eine sinnvolle Abstimmung von Geschwindigkeit, Reichweite und Ladepausen möglich, die bei längeren Strecken zu optimalen Fahrgeschwindigkeiten von 100 bis 120 km/h führt. Damit scheidet das Automobil für jeden ersichtlich aus dem Kreis der schnellen Verkehrsmittel aus.

Angesichts der parallel laufenden Diskussion über „echte“ Impulse zur Einschränkung von sog. Kurzstreckenflügen inkl. Schließung entsprechender Regionalflughäfen bliebe die Eisenbahn zuletzt als einziges Schnellverkehrsmittel im Entfernungsbereich bis 1000 km übrig.

Um also weitere Anteile des Land- und Luftverkehrs in diesem Bereich übernehmen zu können, ist das System Bahn anzupassen:

- Betonung des Ausbaus von Schnellbahnverbindungen, zeitoptimal integriert in den „Deutschlandtakt 2030“. Um Umsteiger vom Straßen- und Luftverkehr weiterhin qualifiziert bedienen zu können, muss die anzustrebende Ziel-Reisegeschwindigkeit zwischen Bahnhöfen des Fernverkehrsnetzes bei 150 km/h liegen.
- Mit gleicher Intention Maximierung der Zahl umsteigefreier Verbindungen, nun erleichtert durch den vielfach möglichen Linientausch in allen ITF-Knoten.

- Rezeption der Idee des Individualverkehrs (IV) durch möglichst kleinräumige Platzaufteilung auch in der Eisenbahn.
 - Wiederaufnahme des parallelen Gepäcktransports, mindestens im Fernverkehr von Bahnhof zu Bahnhof, um die Marktsegmente „Urlaub“ und „Familie“ besser abzudecken.
- Dank der netzweiten Einführung des ITF mit gemeinsamen Ankünften aller Linien in einem Taktknoten ergibt sich neben der besseren Umsteigebeziehung auch vermehrt die Gelegenheit der direkten Verknüpfung dieser Linien, entweder durch Linientausch oder Flügelzugbildung. Dies bietet sich insbesondere dann an, wenn eine starke Stammlinie auf schwächere Verteilungsgäste trifft. Mit solchen zusätzlichen Direktzügen lassen sich die als unattraktiv geltenden Umsteigevorgänge weiter reduzieren. Voraussetzung ist natürlich eine zuverlässige und automatische Kuppelungstechnik.

Technische Anforderungen

Auch der ITF führt in vielen Fällen zu massivem Druck auf die Fahrzeiten, um die Taktknoten zu erreichen. Denn Fahrzeitverlängerungen, z. B. von heute 35 Minuten auf den nach Logik des ITF nächst höheren Zielwert von 50 bis 55 Minuten, würden als nicht attraktiv wahrgenommen werden und so keinesfalls zur Idee der Mobilitätswende passen. Stattdessen muss die nächste niedrigere Kantenzzeit von 28 Minuten erreicht werden.

Schnelligkeit

Um das Potenzial der bestehenden Infrastruktur voll ausnutzen zu können, ist zu



Abb. 2: Triebzug BR 408 ICE 3neo der DB

Quelle: DB AG / Volker Emersleben

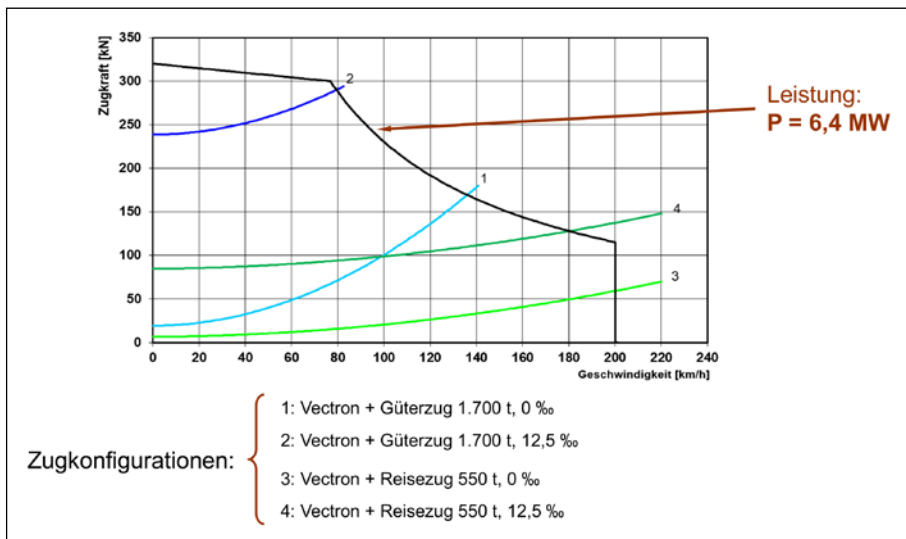


Abb. 3: Zugkraftdiagramm einer Lok der „6-MW-Klasse“, hier Vectron Quelle: Siemens Mobility

nächst einmal der Einsatz leistungsfähiger Fahrzeuge vorrangig und fast immer günstiger als alternative Ausbaumaßnahmen an der Infrastruktur. Darüber hinaus kann diese hohe mobile Leistungsfähigkeit überall im Netz genutzt werden, um Verspätungen aufzuholen, während Ausbauten immer nur lokal wirken können.

Soll die Fahrzeit weiter verkürzt werden, so lassen sich die dafür erforderlichen Maßnahmen in vier Stufen gliedern, die auch additiv angewendet werden können:

- **Beschleunigter Betrieb** auf vorhandener Infrastruktur, z.B. mit leistungsstärkeren Fahrzeugen, leicht angehobenen Geschwindigkeiten und/oder kürzeren Haltezeiten (Fahrzeitverkürzungen bis zu 5 %).
- **Zusätzlich Ausbau** der vorhandenen Infrastruktur, z.B. durch Eliminierung von Bahnübergängen (BÜ), zumindest aber Anwendung besserer BÜ-Technik, höhere Ein- und Ausfahrgeschwindigkeiten in Bahnhöfen und generell verbesserte Signalisierung (Fahrzeitverkürzungen bis zu 10 %).

- **Zusätzlich Einsatz von Neigetechnik**, um auf vorhandenen, aber entsprechend ertüchtigten Strecken deutlich schneller fahren zu können (Fahrzeitverkürzungen bis zu 20 %).
- **Bau ganz neuer Streckenabschnitte** mit direkter Linienführung für wesentlich höhere Geschwindigkeiten. Meist nur sinnvoll, wenn zusätzlich auch mehr Kapazität erforderlich ist. Auf dem Neubauabschnitt Fahrzeitverkürzungen bis zu 50 % möglich.

Anwendung der Neigetechnik
Nach jahrzehntelangem systematischem Ausbau des Bestandsnetzes mit wiederholter Anhebung der zulässigen Seitenbeschleunigungen sind die Geschwindigkeitspotenziale für Regelzüge nahezu überall ausgeschöpft. Im Einklang mit den Werten für die Anfahr- und Bremsbeschleunigung liegen jetzt auch die Werte der spürbaren Seitenbeschleunigung bei 1 m/s^2 , was für stehende und vor allen Dingen gehende Fahrgäste eine offensichtliche Komfortgrenze markiert.

Damit wird aber die Seitenbeschleunigung, die durch die Spurführungstechnik der Eisenbahn sicher angeboten werden kann, nicht ausgeschöpft. Denn die aus Sicht der Spurführung erlaubten Werte sind mehr als doppelt so hoch wie die dem Fahrgast zuträglichen. D. h. praktisch, dass beim Einsatz konventioneller Züge das natürliche Potenzial der Eisenbahn zumindest auf bogenreichen Strecken nicht ausgenutzt werden kann.

Durch den Einsatz einer Wagenkastenneigung kann die Herausforderung der Harmonisierung von Sicherheits- und Komfortgrenze fahrzeugseitig gemeistert werden: Mit ihr kann die technische Seitenbeschleunigung auf Gleisebene von der durch den Fahrgast im Wagenkasten spürbaren wirksam entkoppelt werden. Diese sogenannte „Neigetechnik“ wurde bereits in den 1970er Jahren entwickelt und in vielen Ländern eingeführt. Nach einem ersten Aufschwung folgte zumindest in Deutschland eine Zeit der Ernüchterung. Hintergrund war zum einen die Inbetriebnahme von Neubaustrecken, die das bogenschnelle Fahren auf einigen wichtigen Relationen des Fernverkehrs erübrigten, sowie zum anderen mehr auftretende technische Probleme in gewissen Zügen des Regionalverkehrs. Mit Einführung des Deutschlandtakts kündigte sich nun aber eine Renaissance der Neigetechnik an, weil der ITF definitive, minutengenaue Mindestfahrzeiten verlangt, die zwischen den Taktknoten erreicht werden müssen. Zusätzliche Minuten sind im Hinblick auf die Robustheit des gesamten Fahrplans erwünscht. Das bogenschnelle Fahren bietet hier eine relativ kostengünstige Möglichkeit an, diese Zielfahrzeiten zu erreichen, solange keine Aus- und Neubaumaßnahmen aus Kapazitätsgründen erforderlich sind.

Leistungsfähigkeit

Die für eine vorgegebene Fahrdynamik erforderliche Leistungsfähigkeit lässt sich ab einer gewissen Zuglänge nur mit Triebzügen erreichen, da Lokomotiven im Personenver-

Angebotsmerkmale	Relevanz aus Sicht der Kunden des Straßenverkehrs	Relevanz aus Sicht der Kunden des Luftverkehrs	Bemerkung (FV – Fernverkehr) (RV – Regionalverkehr)
Häufigkeit Verbindung – Taktfolge	hoch	mittel	FV mind. Stundentakt RV entspr. Reisedauer
Minimierung Umsteigen	sehr hoch	hoch	Mehr Durchbindungen und wechselnde Linien
Schnelligkeit, speziell FV	hoch	sehr hoch	Ziel A-Netz 150 km/h Bahnhof – Bahnhof
Reisezeit Verbindung Haus – Haus	sehr hoch	mittel	Kombination Schnelligkeit mit ITF
Sitz- und Reisekomfort	hoch	hoch	Ggü. Fliegen wg. Reisezeit
Abgetrennte Räume im Sitzbereich	sehr hoch	mittel	„Nachahmung“ IV, spez. für Kleingruppen
Gepäckaufgabe nur FV, inkl. Fahrräder	mittel	hoch	Transfer zum FV vielfach über Straße
Gepäcktransport Haus – Haus, auch parallel	hoch	mittel	Spez. für Urlaub und / oder Familien

Tab. 1: Betonung spezieller Angebotsmerkmale des Schienenpersonenverkehrs

Quelle: Stefan Karch

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Railway Design & Innovation AG / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DW Media Group GmbH

kehr in der Regel auf vier angetriebene Radsätze und eine Adhäsionsmasse von 80 bis 90 t begrenzt sind. Zudem „verbrauchen“ sie wertvolle Bahnsteiglänge. Dagegen steigt bei Triebzügen die Leistungsfähigkeit proportional zur Zuglänge, sodass ihre Fahrleistung und -dynamik immer gleich und damit kalkulierbar bleibt. Für Triebzüge im Personenverkehr hat sich eine spezifische Traktionsleistung zwischen 18 und 25 kW/t durchgesetzt. Dieser Wert gilt gleichermaßen im Regional- wie im Fernverkehr.

Für die Abschätzung der erreichbaren Fahrzeiten zwischen den Haltepunkten ist dann nur noch die Anfahr- und Bremsverzögerung maßgebend. Im S-Bahn- und Regionalverkehr werden dabei für stehende Fahrgäste Werte von 1,0 bis max. 1,2 m/s² als zumutbar angesehen. Die zuverlässig erreichbare Bremsverzögerung liegt bei 0,7 m/s², was den Anforderungen an eine manuell ausgeführte Zielbremsung geschuldet ist. Mit Einsatz von Fahrassistenten werden im Durchschnitt auch höhere Verzögerungswerte möglich werden.

Dekarbonisierung

Das Ziel der Dekarbonisierung betrifft natürlich nicht nur den Straßenverkehr, wo derzeit fossil gespeiste Antriebe nahezu uneingeschränkt vorherrschen, sondern auch den

Schienenverkehr. Zwar werden in Deutschland schon mehr als 90 % der Verkehrsleistung elektrisch erbracht, obwohl erst 61 % der Eisenbahnstrecken elektrifiziert sind. Auf dem nichtelektrifizierten Netz werden überwiegend Regional- und Güterverkehr mit dieseldespeisten Fahrzeugen betrieben, während der Fernverkehr daran nur einen geringen Anteil hat.

Um die Dekarbonisierung auch in diesem Bereich umzusetzen, gibt es unter der Voraussetzung, dass die jeweils verwendeten Energien immer aus erneuerbaren Quellen stammen, je nach Anwendungsfall drei Optionen:

- Einsatz direkt gespeister elektrischer Triebzüge und Lokomotiven auf elektrifizierter Strecke, deren Wirtschaftlichkeit einen gewissen Mindestverkehr erfordert und sich aus den Anforderungen der Kapazität bzw. der Zugfolge, der Fahrdynamik und des Streckenprofils ergibt.
- Nichtelektrifizierte Stich- und Verbindungsbahnen für den Regionalverkehr lassen sich innerhalb des elektrifizierten Netzes mit batterieelektrischen Triebzügen betreiben, solange die Streckenlänge unter Fahrleitung genügt, um den Ladezustand der Batterie über den Betriebseinsatz aufrechtzuerhalten.
- Alle weiteren Anwendungsfälle mit darüber hinaus gehenden Anforderungen bezüglich Reichweite und Performance be-

stimmen das Einsatzfeld von mit regenerativ erzeugten Kraftstoffen, primär mit Wasserstoff betriebenen Regionaltriebzügen.

Attraktivität und Komfort

Um die Dekarbonisierung des gesamten Verkehrssektors zu unterstützen, ist eine umfassende Übernahme von Straßen- und Luftverkehren durch die Eisenbahn vorgesehen. Um den Kunden den Wechsel von anderen Verkehrsträgern zu erleichtern, muss der Schienenverkehr zusätzliche besondere Angebotsmerkmale für sich entwickeln, die hier abgeleitet aus früheren Darstellungen [5] zusammengefasst sind (Tab. 1).

Ausgewählte Fahrzeugkonzepte

Die Schlüsselparameter für die Bahnsystemgestaltung der Zukunft sind zugleich Ab sprungpositionen für alle neuen Fahrzeugentwicklungen:

- **Schnelligkeit** inkl. Fähigkeit zum bogenschnellen Fahren,
- **Leistungsfähigkeit**, ausgedrückt durch Anfahr- und Bremsverzögerung, zur Verkürzung der Räumzeiten der Zugfolge, speziell im Bereich der Bahnhöfe,
- **Kapazität** bezogen auf die Zuglänge,
- Antriebe auf Basis regenerativer Energien zur Unterstützung der **Dekarbonisierung** auch für nichtelektrifizierte Strecken,



Abb. 4: Lokomotive Eurodual – Zugkraft bis zu 500 kN

Quelle: Stadler

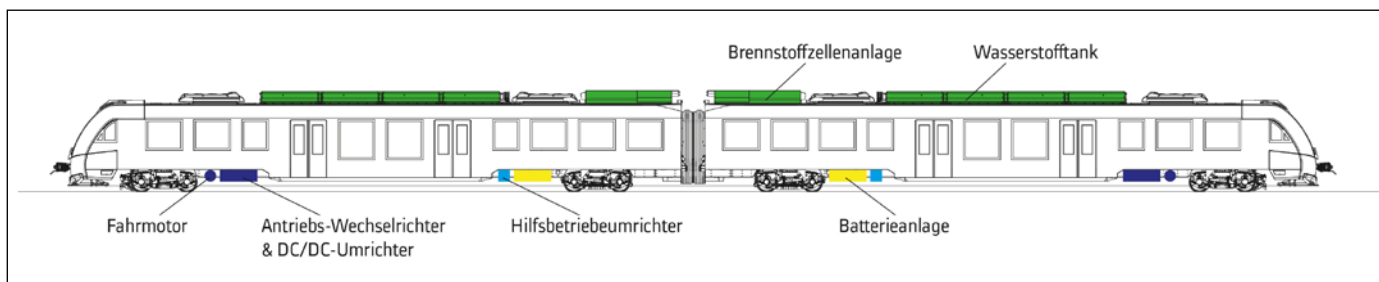


Abb. 5: Schaubild Triebzug Coradia iLint

Quelle: Alstom

- Angemessener Komfort zur Gewährleistung der **Attraktivität** in Balance zur Wirtschaftlichkeit sowie
- **Interoperabilität**, bis zur Vereinheitlichung der Netzparameter innerhalb Europas. An einigen ausgewählten neueren Fahrzeugkonzepten lassen sich diese Schlüsselparameter – teilweise auch in Kombination – besonders gut demonstrieren:

Leistungsfähigkeit und Kapazität – FV-Dosto der SBB

Rahmendaten: Triebzug RABe 502 für den Fernverkehr in durchgehender Doppelstockausführung für eine maximale Zuglänge von 400 m. Je nach Version 300 bis 340 Sitzplätze je 100 m Zuglänge. Höchstgeschwindigkeit 200 km/h und Traktionsleistung 3750 kW je 100 m Zuglänge. Bestellung 2010, Lieferung von zunächst 62 Zügen ab 2018 bis 2022, davon 23 in IC- und 30 in IR-Ausführung, jeweils Zuglänge 200 m sowie weitere neun IR-Züge mit einer Länge von 100 m. Weitere Optionen vereinbart.

Der Triebzug RABe 502 (Abb. 1) wurde von der Firma Bombardier, heute Alstom, im Auftrag der SBB entwickelt. Einsatzfeld ist das Premium-Angebot im Fernverkehr der Schweiz. Das Fahrzeugkonzept zielt auf die Kombination von hohem Komfort bei höchster Kapazität mit optimaler Ausnutzung der in den letzten Jahren schon sehr gut ausgebauten Infrastruktur. Zu den Konzeptmerkmalen gehören

- die mögliche variable Vollausnutzung von 300 m- und 400 m-Bahnsteigen inkl. Anpassung der Zuglänge und Flügelung durch ein variables Längenraster von 100 m,
- eine maximale Kapazität von bis zu 1350 komfortablen Sitzplätzen in der 400 m-Variante,
- die Bereitstellung von zwei Komfortstufen für Intercity- und Interregio-Züge,
- eine sehr hohe Traktionsleistung von bis zu 15 MW und eine Höchstgeschwindigkeit von 200 km/h sowie
- die Integration einer „Wankkompensation“ (Wako) für das bogenschnelle Fahren zur Einbindung weiterer Taktknoten in den bereits bewährten ITF der Schweiz ohne zusätzliche Neubautrecken.

Der FV-Dosto für die SBB stellt Europas Fernverkehrszug mit der höchsten Platzkapazität

dar. Aufgrund seiner Leistungsfähigkeit bietet das Konzept Reserven für den Hochgeschwindigkeitseinsatz bis 250 km/h auch in interoperablen Verkehren. Damit hat dieses Fahrzeugkonzept durch seine Fähigkeit, Schnelligkeit mit höchster Kapazität zu verknüpfen, das Potenzial für den Einsatz als Basisangebot im schnellen europäischen Fernverkehr. Zwischen Zürich und München ist der erste internationale Einsatz bereits geplant.

Schnelligkeit und Interoperabilität – ICE 3neo

Rahmendaten: Triebzug BR 407 und 408 auf Basis der Siemens-Plattform Velaro. Zuglänge ca. 200 m mit 460 bzw. 439 Sitzplätzen. Höchstgeschwindigkeit 320 km/h, Traktionsleistung 8000 kW. Doppeltraktionsfähig. Außerhalb Deutschlands interoperabel einsetzbar in den Netzen der Niederlande, Belgien und Frankreich.

Als ICE 3neo werden die Hochgeschwindigkeitstriebzüge der BR 407 und 408 bezeichnet, von denen bis 2026 zusammen insgesamt 90 Einheiten bereitstehen sollen (Abb. 2). Sie sind im neuen Deutschlandtakt dafür bestimmt, alle ICE-Linien zu übernehmen, die mit Geschwindigkeiten von mehr als 250 km/h verkehren. Zu diesem Teilnetz gehören auch die Verkehre nach den Niederlanden, Belgien und Frankreich, was die Interoperabilität für diese Netze voraussetzt inkl. Zugsicherungs- und Stromsystemen.

Interoperabilität und Dekarbonisierung – Lokomotiven Vectron und Eurodual

Rahmendaten: Vectron von Siemens (elektr. Version) – Beispiel für Elektrolokomotive der „6-MW-Klasse“. Seit 2010 im Einsatz. Vierachsig mit einer Betriebsmasse bis zu 90 t. Höchstgeschwindigkeit bis zu 200 km/h. Max. Zugkraft 300 kN. Traktionsleistung bis zu 6400 kW. Allumfassende Interoperabilität durch Zulassung in 20 Ländern, jeweils einzeln oder in bestimmten Kombinationen. Einsystem-Varianten können durch einen Hilfsdieselmotor ergänzt werden, um im Rangierdienst auch stromlose Gleise befahren zu können.

Eurodual von Stadler – Hochleistungslokomotive für den Güterverkehr. Seit 2019 im Einsatz. Sechssachsig mit einer Betriebsmasse bis zu 123 t. Höchstgeschwindigkeit

120 oder 160 km/h. Max. Zugkraft 500 kN. Wahlweise als streckentaugliche Zweikraftvariante mit einer Traktionsleistung von 6150 kW (Eurodual) oder mit Last-Mile-Antrieb für den Rangierbetrieb und dafür eine Traktionsleistung von 9000 kW (Euro9000). Zulassung in mehreren Ländern.

Der Typ Vectron steht hier exemplarisch für vergleichbare Fahrzeuge anderer europäischer Hersteller, von denen im letzten Jahrzehnt jeweils mehrere hundert bis zu tausend Exemplare produziert wurden. Alle diese vierachsigen Lokomotiven verfügen in etwa über die gleiche Leistungsfähigkeit (Abb. 3). Aufgrund des natürlichen Trends zu Triebzügen im Personenverkehr werden sie heute überwiegend im Güterverkehr eingesetzt. Dort sind sie in der Lage, Züge in gemischter Zusammensetzung mit der europäischen Standardlänge von 700 m auf nahezu allen Strecken zu befördern. Um auch solche Züge auf Strecken in Mittelgebirgen oder aber auch schwerere Ganzzüge in der Ebene bewältigen zu können, können diese Lokomotiven auch in Doppeltraktion eingesetzt werden.

Alternativ besteht nun auch die Möglichkeit, sechssachsig Lokomotiven mit aktueller Antriebstechnik vom Typ Eurodual oder Euro9000 zu verwenden (Abb. 4). Insbesondere für den alpenquerenden Verkehr ergibt sich hier eine wirtschaftliche Lösung, da im Zulauf zu den neuen Basistunneln Lötschberg, Gotthard und Brenner auch noch für längere Zeit deutliche Steigungen bis zu 14 ‰ zu bewältigen sind.

Kapazität und Komfort – Projekt S-Bahn München

Rahmendaten: S-Bahn-Triebzug mit einer durchgehenden Länge von 202 m, als unteilbarer Gliederzug ausgeführt. 480 Sitzplätze inkl. Klappsitze und einer Gesamtkapazität von max. 2000 Fahrgästen. Anfahrbeschleunigung 1,0 bis 1,2 m/s², Höchstgeschwindigkeit 160 km/h. Einstiegs- und Sitzbereiche gleichmäßig über den Zug verteilt. Türbreite ca. 1400 mm innerhalb eines Einstiegsbereichs mit einer Länge von 2000 mm. Somit Wartebereiche beiderseits der Türen außerhalb des Fahrgastflusses. Sitzteiler ca. 1800 mm in allen Abteilen; zusätzlich fünf Mehrzweckräume über den Zug verteilt. Der neue S-Bahn-Triebzug für München ist ein

gemeinsames Projekt der S-Bahn München und der Bayerischen Eisenbahngesellschaft (BEG). Ziel ist der Ersatz der Bestandsflotte sowie die Erweiterung des S-Bahn-Systems nach Inbetriebnahme der 2. Stammstrecke. Zum Einsatzbereich gehören neben dem Bestandsnetz einige noch zu bestimmende Weiterführungen einzelner Linien aus dem vorhandenen S-Bahn-Netz heraus.

Das Fahrzeugkonzept wurde konsequent auf die optimale Ausnutzung der vorhandenen und der neuen Infrastruktur ausgelegt:

- Maximale Kapazität dank durchgehendem Langzug in Gliederzug-Bauweise unter Vermeidung von Führerständen im Zugverband.
- Damit gleichmäßige Türverteilung über die gesamte Zuglänge sowie Maximierung der von den Fahrgästen nutzbaren Flächen.
- Optimale Kombination von komfortablen Sitzplatzbereichen für längere Aufenthaltszeiten verbunden mit gut zugänglichen und angenehm positionierten Stehplätzen für den Innenstadtbereich.
- Kombination von breiteren Türen mit großzügigen Einstiegsbereichen zur Optimierung des Fahrgastflusses und der Aufenthaltszeiten.
- Damit Begünstigung kurzer Bahnsteigwechselzeiten für höhere Zugfrequenzen in Verbindung mit weiteren Maßnahmen wie z. B. ETCS L2 und automatisiertem Fahrbetrieb.

Dekarbonisierung – Entwicklung von Regionaltriebzügen mit alternativen Antrieben

Der zweiteilige Triebzug Coradia iLint von Alstom entspricht von seiner Grundkonfiguration der dieselgetriebenen Variante vom Typ Lint 54 (Abb. 5). An der Stelle von Dieselmotoren und Getriebe befinden sich nun der elektrische Fahrmotor und der Traktionsumrichter bzw. der Hilfsbetriebeumrichter und die Pufferbatterie. Während die beiden Brennstoffzelleneinheiten auf dem Dach am Kurzkuppelende angeordnet sind, sind die übrigen freien Dachbereiche mit den Wasserstofftanks belegt. Die Fahrleistung entspricht derjenigen konventioneller Fahrzeuge, und eine Tankfüllung gewährleistet eine Reichweite bis zu 1000 km. Die bereits eingeführte Produktfamilie Mireo von Siemens wurde so weiterentwickelt, dass nun auch zwei alternative Antriebstechniken zur Verfügung stehen:

- Die Variante Mireo Plus B mit Traktionsbatterie für teilweise elektrifizierte Strecken mit einer Reichweite von 80 bis 120 km sowie
- die Variante Mireo Plus H mit Wasserstoffantrieb für Langstrecken ohne Oberleitung mit einer Reichweite von 600 bis zu 1000 km (Abb. 6).

Beide Triebzüge können als Zwei- oder Dreiteiler ausgeführt werden, die jeweils über zwei Triebdrehgestelle verfügen und mit einer installierten Traktionsleistung von 1700 kW Geschwindigkeiten von bis zu 160 km/h erreichen können. Die Bauräume sind entsprechend der unterschiedlichen Anforderungen aufgeteilt, und das betrifft zunächst die Batterieausrüstung: Während der Mireo Plus B über die größeren Traktionsbatterien verfügt, ist die Pufferbatterie des Mireo Plus H an gleicher Stelle deutlich kleiner. Bei der Dachbelegung weist der Mireo Plus B die übliche Ausrüstung eines elektrischen Triebzugs mit Stromabnehmer, Transformator und Stromrichter auf, während beim Mireo Plus H in diesem Bereich die Wasserstofftanks und die Brennstoffzelle angeordnet sind.

Damit stehen für den Regionalverkehr bereits mehrere Typen von Triebzügen mit alternativen Antrieben zur Verfügung. Welche Technologie sich hier letztendlich durchsetzen wird, hängt maßgeblich von der Lage der Einsatzfelder, den allgemeinen Rahmenbedingungen und nicht zuletzt von der Verfügbarkeit der einzelnen regenerativen Energieformen wie Elektrizität und Wasserstoff ab.

Schnelligkeit und Dekarbonisierung – Projekt neuer Neigetriebzug für den Regionalverkehr

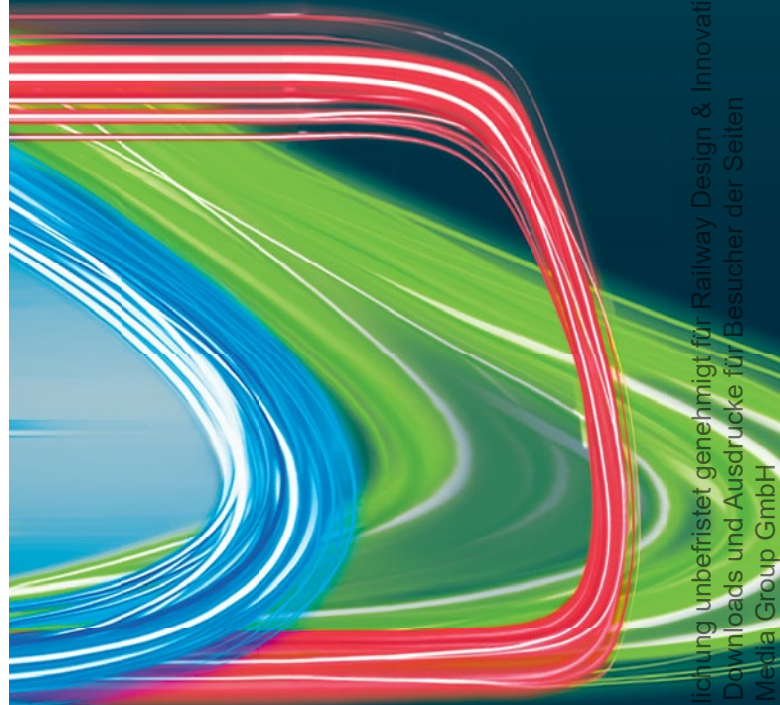
Rahmendaten: Dreiteiliger Gliedertriebzug mit 160 bis 180 Sitzplätzen, geeignet für den Zugang von den Bahnsteighöhen 550 und 760 mm. Antriebstechnik elektrisch mit alternativer Speisung über Oberleitung, Batterie oder Brennstoffzelle. Höchstgeschwindigkeit 160 km/h, Traktionsleistung ca. 1200 kW. Dank Neigetechneik geeignet für bogenschnelles Fahren bis zu einer Seitenbeschleunigung



InnoTrans 2022

20.–23. SEPTEMBER · BERLIN

Internationale Fachmesse für Verkehrstechnik



THE FUTURE OF MOBILITY

KONTAKT

Messe Berlin GmbH
Messedamm 22 · 14055 Berlin
T +49 30 3038 2376
innotrans@messe-berlin.de



Messe Berlin
200 Jahre Gastgeber von Welt



Abb. 6: Triebzug Mireo Plus H

Quelle: Siemens Mobility

von 2,0 m/s². Vorgesehen als Nachfolger des Dieseltriebzugs BR 612.

Während im Fernverkehr Neigetechnik-Züge der Bauart ICE T noch für zwei Jahrzehnte zur Verfügung stehen, um die verbleibenden, für bogenschnelles Fahren geeigneten Strecken zu bedienen, ist für den Regionalverkehr eine Neuentwicklung erforderlich. Dafür sind verschiedene Gründe maßgebend:

- Der noch vorhandene Dieseltriebzug BR 612 wird in einigen Jahren die Altersgrenze erreichen, die eine weitere wirtschaftlich sinnvolle Nutzung beschränken wird.
- Auch für Dieselfahrzeuge ist demnächst ein wie auch immer geartetes „Verbrenner-Aus“ zu erwarten, wie es derzeit schon für den Straßenverkehr diskutiert wird.
- Der Triebzug BR 612 ist nicht mehr für eine Anpassung der Antriebstechnik geeignet, sowohl alters- als auch bauartbedingt.
- Auch im Projekt „Deutschlandtakt 2030“ ist eine Reihe von Strecken im Regionalverkehr für bogenschnelles Fahren vorgesehen, um die festgelegten Taktknoten rechtzeitig zu erreichen. Dazu gehören dann auch bereits elektrifizierte Abschnitte.

Ziel des Projekts ist daher die Entwicklung eines neuen Triebzugs mit Neigetechnik für den Regionalverkehr. Den oben genannten Anforderungen für die Dekarbonisierung muss das neue Fahrzeug natürlich genügen. Daher wird es über einen elektrischen Basisantrieb verfügen, der je nach Ausbauzustand direkt elektrisch durch im Fahrzeug gespeicherte Energie versorgt wird. Die neuen Fahrzeuge werden voraussichtlich ab 2030 zunächst in Süddeutschland zum Einsatz kommen [6].

Ausblick

Alle hier exemplarisch aufgeführten Fahrzeuge sind entweder schon in der Auslieferung oder aber noch in der Entwicklung. Sie werden sich alle bis spätestens 2030 im Einsatz befinden. Damit sind sie geeignet, die drei anstehenden Hauptziele

- Verdoppelung des Anteils des Schienenpersonenverkehrs,
- Dekarbonisierung auch des Schienenverkehrs und
- Umsetzung des Projekts „Deutschlandtakt 2030“ zu unterstützen.

QUELLEN

- [1] Bundes-Klimaschutzgesetz, Berlin: s.n., 2019, 2129-64
- [2] Umweltbundesamt (Hrsg.), Texte 56/2016 – Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050, Dessau 2016
- [3] Schenk, T. A.: Bringt die nächste Generation die Mobilitätswende? Wiesbaden: Springer, 2017
- [4] Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP, Mehr Fortschritt wagen, Berlin: s.n., 2021
- [5] Karch, S.: Schienenmobilität der Zukunft, ETR 10/2021, S. 28-32: s.n., 2021
- [6] CNA e. V. (Hrsg.): Die Zukunft der Neigetechnik – Konzepte für Fahrzeuge, Finanzierung, Beschaffung und Betrieb, Nürnberg, 10.4.2018, Konferenzprotokoll



Prof. Dr.-Ing. Stefan Karch

CEO
Railway Design & Innovation AG,
CH-Olten
stefan.karch@rdi.swiss

Ohne Umwege zu Ihren Fachartikeln

- 35.000 Beiträge
- laufende Aktualisierung
- individuelle Suchoptionen
- Volltextsuche
- Sofort-Download

Abonnenten erhalten bis zu **50% Rabatt**

DER EISENBAHN INGENIEUR

ETR

Rail

GÜTERBAHNEN

DER NAHVERKEHR

www.eurailpress.de/fachartikel