

<b>Vorlage:</b>	<b>93/2020</b>
<b>Mitteilungsvorlage</b>	<b>öffentlich</b>

Beratungsfolge	Beratungsstatus	Sitzung am	TOP
Verbandsversammlung	zur Kenntnis	15.12.2020	12.

Einmalige Kosten	Jährliche Folgekosten	Laufzeit	Gesamtkosten
€	€		€

Sachbearbeiter/in:	Berichterstatter/in:
Thomas Ressel	Thomas Ressel

**Betreff:**  
**Alternative emissionsarme Antriebsarten Schienenfahrzeuge**

Andreas Müller	Frank Beckehoff
Verbandsvorsteher NWL	Vorsitzender der Verbandsversammlung

**Begründung:****Überblick**

Diese Infovorlage soll einen Überblick in die Diskussion der lokal emissionsfreien Antriebsarten von Schienenfahrzeugen geben, die Beweggründe des NWL für sein Handeln verdeutlichen und aufzeigen, welche der Alternativen derzeit vom NWL aus welchen Gründen näher verfolgt und umgesetzt werden sollen. Abschließend wird das weitere Vorgehen näher beschrieben.

**Anlass**

Im Rahmen der Klimadiskussion hat auch im SPNV eine Diskussion um die Klimafreundlichkeit des Systems sowie seiner Komponenten begonnen. Auch wenn der SPNV generell gegenüber dem Pkw in den Punkten Flächenverbrauch und Energieeffektivität systembedingt im Vorteil ist, zeigt sich, dass im Detail noch erhebliche Potentiale zu erkennen sind, die Umweltbilanz des SPNV auch im System selbst, noch deutlich zu verbessern. Zu diesen Punkten gehören zu einem Großteil die Aspekte Antriebstechnik, Energieverbrauch und Art der verwendeten Antriebsenergie.

Schon beim RRX wurde anhand der Vergabekriterien der Aspekt Energieverbrauch zu einer mit entscheidenden Größe. Beim RRX wurde der Energieeinsatz wirtschaftlich betrachtet und als Preisbestandteil mit gewertet. So konnten nicht nur enorme wirtschaftliche Vorteile generiert werden, sondern auch unter Umweltaspekten durch eingesparte Energie.

**1) Situation im Bereich der Dieseltriebwagen****a) Diskussion um Dieselantrieben von Zügen**

Im Bereich der Antriebstechniken und des Dieselskandals bei PKW ist in der letzten Zeit zunehmend der Dieselantrieb im SPNV in den Fokus gerückt. Trotz verschärfter Abgasregelungen auch bei der Zulassung von Dieselmotoren im Eisenbahnbereich zeigt sich ausgehend von einigen Ballungsbereichen mit Abgassonderzonen, dass auch im Bereich von SPNV-Fahrzeugen Dieselantriebe zunehmend kritisch hinterfragt werden und alternative Antriebsformen in die Diskussionen kommen.

**b) Ziel: Klimaneutraler Verkehr**

Die im letzten Jahr im NWL geführte Leitbilddiskussion im Rahmen der Grundsatzziele des Nahverkehrsplans (NVP) ergab, dass der Verkehr im NWL zukünftig klimaneutral und nachhaltig auszurichten ist. Dies ist mit dem Verbrauch von fossilen Kraftstoffen nicht zu erreichen. Ebenso wurde das gemeinsame Ziel von zukünftig lokal emissionsfreien Fahrzeugen dort einhellig diskutiert. Dieseltriebwagen entsprechen diesen Zielen nicht.

**c) Systembedingte Nachteile von Dieseltriebwagen**

Dieseltriebwagen haben gegenüber elektrisch angetriebenen Triebwagen stets systembedingt verschiedene Nachteile.

- Die Lärmentwicklung im Fahrzeug und außen ist spürbar höher.
- Durch die systembedingte höhere Motorwärme können Dieseltriebwagen relativ einfach im Nebeneffekt durch (Ab-)Wärmetauscher beheizt werden.

Aufwändige Wärmeisolierungen (z.B. Doppelverglasung) des Fahrzeugs sind hierdurch nicht erforderlich. Ein Doppeleffekt, bei dem Isolierung Wärme dämmt und schallisierend wirkt, ergibt sich hierdurch jedoch auch nicht. Reine Elektrotriebwagen müssen gesondert beheizt werden, um den Energieaufwand hierfür zu reduzieren sind die Fahrzeuge meist gut wärmeisoliert –mit positivem Nebeneffekt auf die gleichzeitig dadurch erzielte Lärmisolierung.

- Durch die geringere Wärmeisolierung ist der Energie- und Luftaustausch deutlich größer als bei gut isolierten Fahrzeugen. Dies erfordert leistungsfähigere (und energieintensivere) Klimaanlage zum Kühlen und stärkere Zu- und Abluftanlagen –mit dem (für Fahrgäste unangenehmeren) Eindruck, dass es im Innenraum von Dieseltriebwagen „mehr zieht“ als bei elektrischen Fahrzeugen.
- Durch die schweren Motoren und mitgeführten Tanks erhöht sich das Gewicht der Fahrzeuge im Vergleich zu Fahrzeugen mit externer Energiezufuhr.
- Auch die bei Dieselfahrzeugen erforderlichen (recht schweren) Getriebe entfallen systembedingt bei elektrischen Antriebssystemen.
- Der hohe Anteil mechanischer Teile am Antrieb ist letztlich verschleiß- und wartungsaufwändiger als auf der Basis elektrischer Antriebe.
- Dieselantriebe sind von der Beschleunigung her gegenüber elektrischen Antrieben deutlich langsamer, dh. bei gleicher Anzahl Halte hat ein Dieselfahrzeug Fahrzeitznachteile.
  - Um Knoten im Integralen Takt-Fahrplan (ITF) sicher(er) zu erreichen oder aber durch die Erschließung neuer Einwohnerpotentiale zusätzliche (ggf. auch neue) Halte einzubinden, sind entweder die mit Dieselfahrzeugen technisch erreichbaren Eckpunkte bereits erreicht oder müssten noch PS-stärkere (und schwere wie energieintensivere) Motoren und in der Folge auch angepasste (und ebenfalls schwerere) Getriebe eingebaut werden.
  - Das Potential, das mit Dieselfahrzeugen vom Fahrplan her möglich ist, ist damit vielfach erreicht. Neue Potentiale können hier nur noch mit beschleunigungsstärkeren, elektrischen Fahrzeugen umgesetzt werden.

#### **d) In Deutschland nahezu Herstellermonopol**

Hinzu kommt bei Dieseltriebwagen noch eine andere Diskussion: mehr und mehr Hersteller haben sich vom deutschen Markt zurückgezogen und immer mehr prägt sich hier eine monopolistische Struktur heraus. Zwar gibt es neben Alstom ua. noch Stadler und Pesa, die sich jedoch aufgrund der Preisstruktur bzw. anderer Probleme (siehe SauerlandNetz) derzeit nicht als echte Konkurrenz durchsetzen können. Aufgrund der sehr begrenzten Marktsituation ist der Bietermarkt im Bereich der Dieseltriebwagen derzeit als deutlich überzeichnet anzusehen.

#### **e) Stagnation der Entwicklung (insb. neuer Fahrzeugplattformen)**

Zugleich erscheint die Weiterentwicklung von Fahrzeugfamilien auf Basis von Dieselantrieben für den deutschen Markt aufgrund der og. Situation nur noch sehr eingeschränkt zu sein. Trotz intensivem Kontakt zur Fahrzeugindustrie ist derzeit nicht zu erkennen, dass neue Fahrzeugplattform entwickelt werden. Die Grundplattform der Alstom LINT Fahrzeuge wurde 1999 das erste Mal

ausgeliefert, die darauf aufbauende Version mit neuer Crash-Norm und für längere Varianten 2014.

#### **f) Gebrauchtfahrzeugmarkt**

Die vorhandenen Dieseltriebwagen kommen zu einem Großteil noch aus der ersten Welle der Ausschreibungen von Anfang der 2000er Jahre und erreichen zunehmend ein Alter, in der die Wartungskosten und Ersatzteilsituation wirtschaftlich prägender werden. Der Gebrauchtfahrzeugeinsatz bzw. auch eine Ausschreibung von Netzen muss diese Faktoren (Kosten, Zuverlässigkeit, Design usw.) daher mitberücksichtigen.

Da dies jedoch am Markt bekannt ist, verengt sich der Fahrzeugmarkt nicht nur im Hinblick auf die og. Neufahrzeuge, sondern auch bzgl. der Gebrauchtfahrzeuge sehr deutlich.

#### **g) Folgewirkungen am Markt aufgrund der aktuellen Diskussion um Antriebstechnik**

Während sich der Markt der zur Verfügung stehenden Dieselfahrzeuge zunehmend verengt

- Neufahrzeuge → zunehmend Monopol bei gleichzeitig geringer Innovationskraft;
- Gebrauchtfahrzeugmarkt → zunehmend wirtschaftlich kritische Alter der Fahrzeuge erreicht

besteht durch die hohe Dynamik der Marktentwicklung in anderen Antriebstechniken (dazu später) zusätzlich bei den Aufgabenträgern das Problem, dass bisher preisabfedernde Mechanismen wie Wiedereinsatzsatzgarantie uä. nicht mehr ausgesprochen werden können. Wer kann zum heutigen Ausschreibungszeitraum garantieren, dass in 10-15 Jahren Dieselfahrzeuge einen weiteren Zyklus eingesetzt werden können? Auch dies verursacht aufgrund der Rahmenbedingungen Mehrkosten im Bereich der Ausschreibung von zukünftigen Netzen mit Dieselfahrzeugen.

#### **Fazit:**

##### **Marktmechanismen und Diskussion um Dieselantrieb bei SPNV-Fahrzeugen**

- Zusammengefasst lässt sich somit sagen, dass Ausschreibungen mit Dieselfahrzeugen aus verschiedensten Gründen in der Zukunft deutlich teurer werden und alleine hierdurch nach Mechanismen und Lösungswegen gesucht werden muss, diese Preisschraube zu verändern.
- Auch verkehrlich stößt das Potential von Dieselfahrzeugen inzwischen an seine Grenzen. Eine Verkehrswende mit neuen Konzepten erfordert jedoch vielfach quantitativ wie qualitativ andere Fahrpläneckpunkte, die auf der Basis von Dieselantrieben nicht mehr verkehrlich umgesetzt werden können.

## 2) Alternativen zum Dieselantrieb:

- a) **Klassischer elektrischer Antrieb (EMU-Antrieb)**
- b) **Elektrischer Antrieb auf Basis von Stromabnehmern plus Akkubetrieb (BEMU-Antrieb)**
- c) **Elektrischer Antrieb auf der Basis von Wasserstoff, der Strom erzeugt und so die Akkus lädt (HEMU-Antrieb)**

Deutlich mehr Dynamik in der Entwicklung und auch von der Anzahl der Konkurrenten (und damit auch unter wettbewerbs- und wirtschaftlichen Aspekten positiv) zeigt sich zunehmend der Markt elektrisch angetriebener Fahrzeuge. Nicht nur im Markt der klassischen Elektrotriebwagen (sogenannter EMU-Fahrzeuge „Electric Multiple Unit“) werden derzeit neue Fahrzeuge entwickelt.

Zusätzlich werden auf der Basis der EMU-Plattformen von allen Herstellern für den deutschen Markt inzwischen auch Fahrzeuge auf Batterie-elektrischem Antrieb (sogenannte BEMU-Fahrzeuge „Battery Electric Multiple Unit“) entwickelt.

Ebenso entwickelt derzeit mehrere Hersteller für den deutschen Markt mit Wasserstoff angetriebene Akku-Elektro-Triebwagen (sogenannte HEMU-Fahrzeuge „Hydrogene Electric Multiple Unit“ Wasserstoff-Brennstoffzellen-Triebzüge).

Im weiteren Verlauf der Vorlage werden die systemischen Eckpunkte dieser 3 elektrischen Antriebsarten vorgestellt und auf Basis einer aktuellen wissenschaftlichen Studie des VDE (Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.) mit Titel „Bewertung klimaneutraler Alternativen zu Dieseltriebzügen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen am Praxis-Beispiel Netz Düren“ erläutert.

### a) **Klassischer elektrischer Antrieb (EMU-Antrieb)**

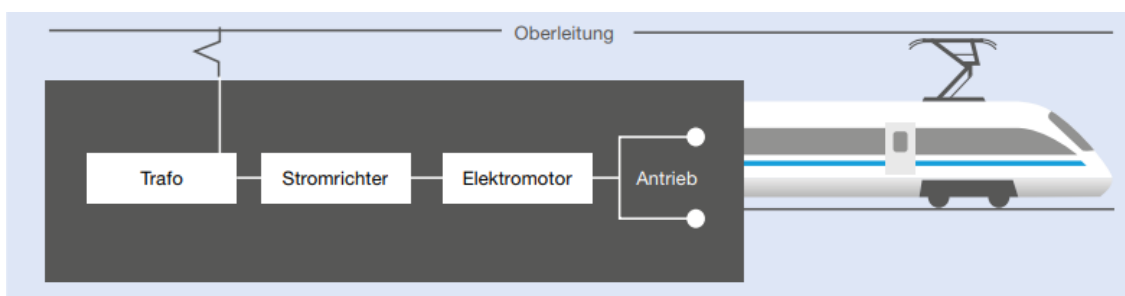


Abb. 1

Elektrotriebzüge (EMU) beziehen den Antriebsstrom aus der Oberleitung. Ihre Elektromotoren sind in Drehgestellen untergebracht, wo sie direkt über die Achse je ein Radpaar antreiben. Die Umsetzung des Stroms in Bewegungsenergie erfolgt mit einem Wirkungsgrad von über 90 Prozent. Beim Bremsen wechseln die Elektromotoren in den Generatorbetrieb. Die so rekuperierte Energie kann in die Oberleitung zurückgespeist werden, sofern andere Elektrotriebzüge diese im selben Moment für ihre Beschleunigung nutzen können.

EMU-Fahrzeuge weisen im Vergleich zu den anderen Antriebsarten die höchsten Beschleunigungswerte auf (absolut wie relativ beim Vergleich auf Basis gleicher Motorstärke). Auf Bestandsstrecken mit EMU-Fahrzeugen besteht von der Fahrdynamik her damit jedoch rein fahrzeugtechnisch auch kein Spielraum für weitere Halte oder längere Anschlüsse.

Nachteil der EMU-Technik ist, dass eine lückenlose Abdeckung der ortsfesten Energieeinspeisung zwingend erforderlich ist (Oberleitung oder Stromschiene –bei U-Bahn Systemen oder in anderen Ländern). Dies erfordert einen hohen Infrastrukturaufwand, inklusiv Anpassungen von Brückenbauwerken und Tunneln.

Neben den Investitionskosten ist insbesondere der erforderliche Planungs- vor allem aber Genehmigungsvorlauf eine Herausforderung, Oberleitungen schnell umsetzen zu können.

- Da Oberleitungsplaner derzeit am Markt stark gefragt sind, die entsprechenden Oberleitungshersteller und Oberleitungsbaufirmen ebenfalls und diese Aspekte wie rechtliche Einwände von Anwohnern zu zeitlichen Verzögerungen führen können, ist eine punktgenaue Inbetriebnahme von Ausschreibungsnetzen und den damit verbundenen Fahrzeugkonzepten nicht steuerbar und so mit Risiken verbunden.
- Diese zeitlichen Risiken müssen daher mit Interimskonzepten abgesichert und ggf. überbrückt werden.
  - Das kann dazu führen, dass entweder Dieselfahrzeuge länger eingesetzt werden (und zum Schluss ggf. die Oberleitung schon einsatzfähig wäre) oder aber in einem Zwischenschritt (wenn die zu überbrückende Entfernung hierfür ausreicht) BEMU-Fahrzeuge zum Einsatz kommen.

#### **Art der Energiegewinnung:**

Letztlich ist aber auch die Energiegewinnung des Stroms selbst (aus welcher Primärenergie dieser erzeugt wird) von hoher Bedeutung. Dabei reicht es nicht, die elektrisch gefahrenen Strecken auszuweiten, sondern zunehmend klimaneutral erzeugten Strom einzukaufen.

Dies erfordert eigene Aktivitäten, in welchem Umfang und über einen welchen Zeitraum dies –ggf. in Schritten- auch am Bahnstrommarkt produziert, angeboten und letztlich im NWL auch eingekauft werden kann.

## b) Elektrischer Antrieb auf Basis von Stromabnehmern plus Akkubetrieb (BEMU-Antrieb)

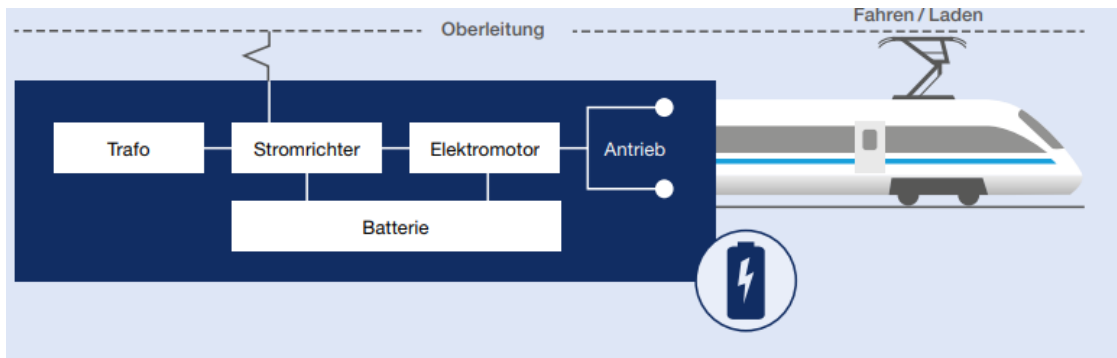


Abb. 2

### Reichweite:

Die heute von Fahrzeugherstellern angebotenen oder verbindlich angekündigten Batterietriebzüge (BEMU) sind von ihrem Aufbau her wie klassische EMU konzipiert. Sie verfügen zusätzlich über große Traktionsbatterien, die es ermöglichen, Oberleitungslücken von – Stand heute – 80 bis 120 Kilometern Länge zu überbrücken. Dank Pantografen auf dem Dach agiert ein BEMU auf elektrifizierten Strecken wie ein EMU und kann zugleich seine Batterie mit einer Leistung von einem Megawatt und mehr zügig nachladen.

Die tatsächliche Reichweite eines BEMU auf oberleitungsfreien Strecken hängt maßgeblich von der installierten Kapazität und dem Grad der Ladungsnutzung ab. Verschärfte Fahrbedingungen, topographische oder klimatische Besonderheiten erhöhen den Energiebedarf und schränken die für den Fahrbetrieb nutzbare Batteriekapazität und somit die Reichweite ein. Um den Einfluss solcher Parameter auf den Betrieb mit Akku einschätzen zu können, fehlt den Herstellern zum heutigen Zeitpunkt die notwendige Langzeiterfahrung. So kommen sie nicht umhin, die Batterie streckenspezifisch auf der Basis von Simulationen der gegebenen Fahrprofile auszulegen.

Die nutzbare Kapazität einer Batterie entspricht nicht der im Datenblatt angegebenen nominalen Kapazität. Für ihre bestmögliche Lebensdauer sollte im Fahrbetrieb ein Ladezustand von 20 bis 80 Prozent eingehalten werden. Die Kapazität ist daher so auszulegen, dass die Batterie im Normalfall in einem Fenster von 40 bis 80 Prozent betrieben wird. Störfälle, extreme Klimabedingungen oder sonstige Abweichungen lassen sich abfangen, indem die Batterie vorübergehend stärker als normal beansprucht wird, ohne sie damit langfristig zu schädigen. Das vielfach befürchtete Liegenbleiben von Batterietriebzügen wegen erschöpfter Akkus wird so unwahrscheinlich.

Die Rekuperation der Bremsenergie ist eine die Energieeffizienz des BEMU signifikant steigernde Option, da sie nicht davon abhängt, ob es in der Umgebung einen anderen Zug gibt, der die rekuperierte Energie im selben Moment für seine Beschleunigung nutzen kann. Stattdessen kann diese Energie unmittelbar genutzt werden, um die Traktionsbatterie nachzuladen.

### Fahrdynamik:

Nachteilig ist, dass ein BEMU-Fahrzeug wegen des hohen Batteriegewichtes um bis zu 10 Prozent schwerer ist als der EMU gleicher Bauart. Im Vergleich zu EMU-

Fahrzeugen, erreichen BEMU-Fahrzeuge aufgrund des höheren Gewichts bei gleicher Motorleistung etwas schlechtere Beschleunigungswerte.

#### **Infrastrukturelle Auswirkungen:**

Reicht die Entfernung zwischen zwei bestehenden Punkten mit bestehender Oberleitung also aus,

- sind keine Infrastrukturkosten für einen BEMU-Betrieb erforderlich.

Reicht die Entfernung nicht aus, gibt es drei Möglichkeiten:

- von den Rändern her, bestehende Oberleitungsnetze auf die Strecke zu verlängern sowie kurze Lücken zu schließen.
  - Beispiel im NWL:
    - Oberleitung von Dülmen nach Coesfeld (in Planungsphase 1+2)
    - Lückenschluss: Oberleitung von Bielefeld Ost bis Lage (in Planungsphase 1+2)
- die Einrichtung von Elektrifizierungsinseln.
  - Jedoch auch hier (wie bei der Planung, Genehmigung und Bau von Oberleitungen –siehe EMU-Fahrzeuge-) mit großer Unsicherheit bzgl. der Fertigstellung der erforderlichen Infrastruktur
    - Zusätzlich gegenüber „nur“ Oberleitungen müssen in diesem Fall auch noch externe Hochspannungsleitungen über Land bis zum Einspeisepunkt errichtet werden. Hier sind von Seiten der von der Linienführung dieser Überlandleitungen betroffenen Anwohner sicher massiv Einwände und rechtliche Schritte zu erwarten, die die Zeitplanung noch weniger bestimmen lassen.
- eine Kombination der beiden og. Möglichkeiten.

---

#### **Ergebnis der Kapitalwertmethode bei der VDE-Untersuchung des Dürener Netzes**

- BEMU und EMU stellen für das ›Netz Düren‹ wirtschaftlich vorteilhafteste Investitionen dar

*Bei einem Strompreis von 12–14 ct/kWh im Bahnstromnetz werden die Energiekosten von BEMU und EMU zu einem gewichtigen Wirtschaftlichkeitsvorteil gegenüber dem HEMU-Konzept. Die resultierenden Kapitalwerte für BEMU und EMU liegen im Falle des ›Netzes Düren‹ gleichauf, weil sich die Summe aus Mehrkosten für BEMU-Fahrzeuge, Austausch der Batterien und Infrastrukturkosten für eine Elektrifizierungsinsel zufällig decken mit den Kosten für eine vollständige Elektrifizierung der drei Linien. Hier werden die Elektrifizierungsinsel zu 5 Mio. € und die Oberleitungskosten zu 1 Mio. €/km inklusive Unterwerk angenommen. Ab 1,5 Mio. €/km wird BEMU gegenüber EMU zum vorteilhafteren Investitionsprojekt. Bei 2 Mio. €/km ziehen HEMU und EMU kapitalwertmäßig auf Gleichstand. Die Elektrifizierungskosten stellen somit einen sensiblen Bewertungsparameter dar.*

*Ähnliches gilt auch für die Taktung der Strecken. Es zeigt sich, dass nur mit dem für das Fahrplanjahr 2026 vorgesehenen Takt von zwei Zügen pro Stunde auf RB 21*



*Nord und RB 21 Süd und einem Zweistundentakt auf RB 28 die Konzepte EMU und BEMU gleiche Kapitalwerte haben. Sobald auch für RB 28 ein Halbstundentakt vorgesehen würde, wäre EMU bei Elektrifizierungskosten von 1 Mio. €/km das deutlich vorteilhafteste Investitionsprojekt von allen.*

-----

### **NWL Strategie:**

Je geringer die erforderlichen Infrastrukturinvestitionen sind und je dichter der Takt, desto eher rechnet sich daher vereinfacht zusammengefasst ein BEMU-Betrieb gegenüber einem EMU Betrieb.

Der NWL setzt daher in seiner Fahrzeugstrategie dort in der Nachfolge von Dieseltriebwagen auf BEMU-Fahrzeuge, wo:

#### **(Prio 1)**

- die Akkuleistung problemlos ausreicht, die bestehenden Oberleitungslücken –ohne weitere Investitionskosten- zu überbrücken.  
(→ siehe BEMU Ausschreibungsnetz Westfalen, das aktuell in Vorbereitung ist)

#### **(Prio 2)**

- aus bestehenden Oberleitungsanlagen hinaus, die Lücken so verkürzt werden können, dass BEMU-Fahrzeuge mit ihren Reichweiten eingesetzt werden können.  
(→ siehe den Abschnitt von Dülmen nach Coesfeld. In Dülmen –tief- wird die Oberleitung aufgegriffen und von Dülmen –hoch- bis Coesfeld eine Oberleitung neu errichtet)

#### **(Prio 3)**

- Danach folgen Netze mit Strecken, wo teilweise nur eine Kombination der og. Maßnahmen einen BEMU-Betrieb möglich machen würde.  
(→ z.B. Obere Ruhrtalbahn Schwerte – Warburg mit einer Streckenlänge von 136,3 km).  
*Die Planungen für die verkehrlichen, infrastrukturellen und fahrzeugtechnischen Konzeptionen dieser Bereiche laufen noch.*

### **Brückentechnologie:**

Aus systemischer Sicht ist das BEMU-Konzept vorteilhaft, da es im gleichen Maße wie beim EMU den kontinuierlich ansteigenden Anteil an erneuerbarer Energie nutzen wird und damit ohne Zusatzaufwand immer grüner wird. Zudem ist es auf dem Weg zur vollständigen Elektrifizierung eine sinnvolle Zwischenlösung bis zur möglichen Fertigstellung durchgehender Oberleitungen.

### **c) Elektrischer Antrieb auf der Basis von Wasserstoff, der Strom erzeugt und so die Akkus lädt (HEMU-Antrieb)**

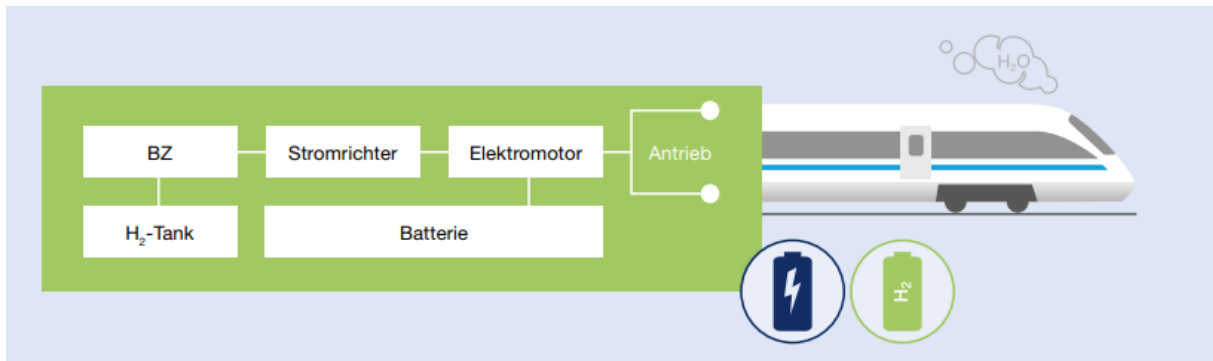


Abb. 3

Technisch ist der HEMU ebenso wie der BEMU ein Triebzug mit elektromotorischem Antrieb. Die für den deutschen Markt aktuell eingesetzten wie geplanten HEMU-Fahrzeuge (Alstom i-LINT, Siemens Mireo Plus H) besitzen keinen Stromabnehmer auf dem Dach. Ein reiner EMU-Betrieb auf Strecken unter Oberleitung – wie beim BEMU-Fahrzeug- entfällt daher.

### Reichweite:

Je nach Größe der Wasserstofftanks variiert die Reichweite zwischen 550 und 1.000km mit einer Tankfüllung.

### Fahrdynamik

Der von Alstom angebotene HEMU entspricht in seinem Wagenaufbau dem LINT 54, einem erfolgreichen zweiteiligen DMU von Alstom, wie er im NWL z.B. auf der RB 25 (Köln-Lüdenscheid) im Einsatz ist. Bei der Konzeption dieses Fahrzeugs war es ein Anliegen von Alstom, das Betriebskonzept der bislang eingesetzten DMU zu übernehmen. Entsprechend lag der besondere Fokus auf großer Reichweite, um mit wenigen an geeigneten Standorten platzierten Wasserstofftankstellen auszukommen. Selbst die im Vergleich zum EMU schwache Motorisierung eines DMU diene als Vorbild. Inzwischen wird jedoch gerade dieser Punkt vielfach als Argument gegen das HEMU-Konzept angeführt, obwohl die Stärke der Motorisierung keine technologische Vorgabe ist. Aus diesem Grunde hat Siemens-Mobility für seine HEMU-Variante Mireo Plus H eine wesentlich höhere Antriebsleistung vorgesehen.

Für den dynamischen Betrieb eines HEMU genügt es nicht, den Strom ausschließlich von Brennstoffzellen bereitstellen zu lassen, denn diese sind nicht in der Lage, die für zügige Beschleunigungen benötigten hohen Ströme zu liefern. Aus diesem Grunde muss der Brennstoffzellen-Stack um eine Dynamikbatterie ergänzt werden, die kleiner ist als im Falle eines BEMU und nicht ständig genutzt wird.

Damit offenbart sich ein technologischer Nachteil: Das HEMU-Konzept erfordert zwei Technologiekomponenten, nämlich Brennstoffzelle und Batterie – mit entsprechenden Auswirkungen auf Fahrzeug-Anschaffungs- und -Instandhaltungskosten.

### Wirkungsgrad:

Ein weiterer Nachteil ist der Wirkungsgrad, mit dem die im Wasserstoff gespeicherte Energie in Antriebsstrom umgewandelt wird, denn damit ist der Energiebedarf des HEMU grundsätzlich höher als der eines BEMU oder EMU. Auch in umgekehrter Richtung ist die Erzeugung des Wasserstoffs durch Elektrolyse nachteilig für die Energiebilanz.

**Infrastrukturelle Auswirkungen:**

Für das Betanken der HEMU-Züge mit Wasserstoff ist primär eine Wasserstofftankstelle erforderlich. Aus Kosten- und Umweltgesichtspunkten ist für diese Tankstelle die Anbindung an eine entsprechende Pipeline oder direkt an einen Wasserstoffproduzenten sinnvoll. Ist eine Versorgung ausschließlich per LKW möglich, ist die Umweltbilanz dieser Anbindung entsprechend zu berücksichtigen.

**Art der Energiegewinnung:**

Letztlich ist aber auch die Energiegewinnung des Wasserstoffs selbst (aus welcher Primärenergie dieser erzeugt wird) von hoher Bedeutung. Diese reicht von der fossilen bis hin zur klimaneutralen Energie. Auch dieser Faktor muss als Größe in die Gesamtumweltbilanz mit einbezogen werden.

---

**Ergebnis der Kapitalwertmethode bei der VDE-Untersuchung des Dürener Netzes**

- Der HEMU ist eine systemdienliche Lösung mit wirkungsgradbedingt erhöhten Kosten

*Der Energiebedarf des HEMU ist wegen der Brennstoffzelle im Funktionsstrang zwischen Tank und Rad grundsätzlich höher als im Falle des BEMU oder EMU. Es zeigt sich bei einem angenommenen Preis von 4,50 €/kg-H<sub>2</sub> für Elektrolyse-Wasserstoff, dass HEMU und DMU in den resultierenden Kapitalwerten gleichziehen, wenn der Dieselpreis auf 1,46 €/Liter steigt – was mittelfristig realistisch erscheint. Bei einem Bahnstrompreis von 12 ct/kWh müsste der Wasserstoffpreis auf unter 1 €/kg-H<sub>2</sub> fallen, damit HEMU und BEMU gleichziehen. Es zeigt sich, dass das eigentliche Problem im Falle des HEMU weniger der Kraftstoffpreis als vielmehr die hohen Austauschkosten sind. Diese Kosten hängen zum einen mit den Preisen von Brennstoffzellen und Dynamikbatterien zusammen, vor allem aber mit den relativ geringen Betriebslebensdauern heute verfügbarer Brennstoffzellen, die über einen Zeitraum von 30 Jahren rechnerisch bis zu sieben Mal getauscht werden müssen. Auf die Anforderungen an Infrastruktur und Betrieb bezogen, sind die Konzepte HEMU und DMU eng verwandt. Mit Blick auf die Bedeutung von Elektrolyse-Wasserstoff für die Speicherung von erneuerbarer Energie trägt der HEMU nicht nur zum Klimaschutz, sondern auch zur notwendigen Stabilisierung des Stromnetzes (Sektorenkopplung) im Verlauf der Energiewende bei.*

**NWL Strategie:**

Der NWL sieht in der HEMU-Technologie grundsätzlich eine Möglichkeit in der Nachfolge von Dieselantrieben. Bei aktuellen Projekten überwogen die Vorteile der BEMU-Technologie deutlich. Gleichwohl soll bei der Planung jedes noch folgenden einzelnen Netzes anhand der entsprechenden Rahmenbedingungen aufgezeigt werden, warum zugunsten welches Antriebsmodells entschieden werden soll.