

# Schlussbericht

(zu Nr. 3.2 BNBest-BMBF 98)

## VinnoMir - Vorbereitung des Einsatzes innovativer SPNV-Fahrzeuge im Mitteldeutschen Revier

---

Leipzig, 30. Juni 2021

*vorgelegt durch:*

**Zweckverband für den Nahverkehrsraum Leipzig (ZVNL)**

Sitz der Geschäftsstelle

Emilienstraße 15

04107 Leipzig

Ansprechpartner: Herr Bernd Irrgang, Geschäftsführer

Telefon: 0341 / 22586-0

Telefax: 0341 / 22586-29

E-Mail: [info@zvnl.de](mailto:info@zvnl.de)

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung Forschung unter dem Förderkennzeichen 03SSG20501 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

## Inhaltsverzeichnis

1	Kurze Darstellung.....	2
1.1	Aufgabenstellung .....	2
1.2	Voraussetzungen .....	2
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens .....	2
1.4	wissenschaftlicher und technischer Stand .....	2
2	Eingehende Darstellung .....	3
2.1	Verwendung der Zuwendung, und des Ergebnisses.....	3
2.2	wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises, .....	5
2.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit, .....	5
2.4	voraussichtlicher Nutzen .....	5
2.5	bekannt gewordener Fortschritt während der Durchführung .....	6
2.6	erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse .....	6
3	Erfolgskontrollbericht, Berichtsblatt.....	6
ANHANG - Übersicht verwendeter Fachliteratur, Informations- und Dokumentationsdienste gemäß Kap. 1.4.....		7

# 1 Kurze Darstellung

## 1.1 Aufgabenstellung

Mit der Erarbeitung der Metastudie zum Einsatz innovativer SPNV-Antriebe im Mitteldeutschen Revier werden eine Reihe von Fragestellungen aus verschiedenen Themenbereichen hinsichtlich Einsatzbedingungen und Handlungsempfehlungen für den ZVNL beantwortet. Vor diesem Hintergrund war es erforderlich, mehrere Projektpartner bei der Erstellung der Studie für die Themenbereiche

1. Infrastrukturen für alternative Antriebe
2. Energieinfrastrukturtechnologien
3. Recht, Sicherheit und Organisation
4. Wirtschaftlichkeit
5. Umweltaspekte
6. Entwicklungsfahrplan, Gesamtdokumentation, Handlungsempfehlung, Projektsteuerung

vorgesehen. Die Untersuchung erfolgt praxisbezogen anhand zweier Eisenbahnstrecken, Leipzig – Gera und Leipzig – Döbeln.

## 1.2 Voraussetzungen

Das Vorhaben ist Teil der Untersuchungen zum Strukturwandel im Mitteldeutschen Revier und soll vorbereitend auf konkrete Maßnahmen im Rahmen des Investitionsgesetz Kohleregionen - InvKG wirken. D. h. für den ZVNL soll ein konkreter Anwendungsfall für alternative Antriebe im SPNV evaluiert werden.

## 1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt wurde im Zeitraum Mai bis Dezember 2020 bearbeitet. Dem ging ein ordentliches Vergabeverfahren voraus.

Neben zwei Zwischenpräsentationen zur Abstimmung zwischen dem ZVNL und den 6 Auftragnehmern wurden eine Ergebnispräsentation und ein Ergebnisbericht je Arbeitspunkt erstellt.

## 1.4 wissenschaftlicher und technischer Stand

Die Studie baut im Wesentlichen auf den fundierten fachlichen Vorkenntnissen der Auftragnehmer und dem aktuellen Stand der Technik im jeweiligen Fachbereich auf. Auf Basis der teilweise vorhandenen und teilweise zu erhebenden Streckendaten wird die jeweilige Praxistauglichkeit nachgewiesen. Den Projektpartnern wurde auch die Machbarkeitsstudie „H<sub>2</sub>-Schienenverkehr in Mitteldeutschland“ der Metropolregion Mitteldeutschland zur Verfügung gestellt.

Bereits vorhandene Verfahren oder Schutzrechte lagen zur Durchführung des Vorhabens nicht vor. Eine anhängende Übersicht gibt Aufschluss zur verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste.

In AP2 wurde eine Zugfahrtsimulation mit der Software OpenTrack durchgeführt.

Während des Projektes war die Zusammenarbeit mit anderen Stellen notwendig. Diese waren die Bundesnetzagentur und DB Netze AG. Im Wesentlichen wurde dabei die Befahrung des City-Tunnel-Leipzigs mit alternativen Antrieben (Batterie oder Wasserstoff) diskutiert.

## 2 Eingehende Darstellung

### 2.1 Verwendung der Zuwendung, und des Ergebnisses

Die Zuwendung wurde für eine Metastudie zur Vorbereitung des Einsatzes innovativer SPNV-Fahrzeuge im Mitteldeutschen Revier verwendet. Die verschiedenen Arbeitspakete wurden nachstehend gegliedert und beauftragt. Die Einzelnen Ergebnisse sind jeweils unterlegt. Durch die hohe Anzahl von fünf sich gegenseitig ergänzenden Arbeitspaketen, wurde eine voll umfassende Untersuchung aus verschiedenen Blickwinkeln geführt.

#### Arbeitspaket 1 - Infrastruktur

Das Arbeitspaket 1 (AP1) welches sich mit der erforderlichen Infrastruktur für die beiden Antriebsarten (BEMU und HEMU) auseinandersetzt, kommt zu dem Schluss, dass eine konkrete Handlungsempfehlung abhängig von der betrachteten Strecke ist.

Für die Strecke Leipzig Miltitzer Allee - Grimma ob.Bf - Döbeln Hbf mit optionaler Anbindung der Muldentalbahn bis zum Bahnhof Rochlitz ergibt sich eine klare Empfehlung zugunsten des Betriebs von batterieelektrischen Zügen.

Bei der Strecke Leipzig Hbf tief - Gera Hbf kommt es dagegen stark auf die Elektrifizierung der Strecke Weimar-Gera-Gößnitz an. Bei keiner oder nur verspäteter Elektrifizierung der Strecke wird der Einsatz von HEMU empfohlen, während der BEMU bei einer vorhandenen Elektrifizierung vorteilhaft ist.

#### Arbeitspaket 2 - Energieinfrastrukturtechnologien

Das Arbeitspaket 2 (AP2) befasste sich mit den Energieinfrastrukturtechnologien und kam zu folgenden Ergebnissen.

- Technisch und betrieblich sind beide Antriebstechnologien in der Lage, die untersuchten Strecken gemäß der gestellten Beförderungsaufgabe zu bedienen.
- Im Ergebnis der SWOT-Analyse weisen beide Antriebstechnologien systemimmanente Vor- und Nachteile auf und haben signifikante Chancen und Risiken.
- Im Betrachtungszeitraum von 12 Jahren betragen die Energiekosten des HEMU-Systems auf beiden untersuchten Strecken etwa das Doppelte der vergleichbaren Kosten des BEMU-Systems.
- Im Vergleich der Systemkosten weist das HEMU-System auf der Strecke Leipzig – Grimma – Döbeln 46% höhere Systemkosten und auf der Strecke Leipzig – Gera ca. 38% höhere Systemkosten als das BEMU auf.

Schlussendlich ergibt sich aus den genannten Erkenntnissen in AP2 eine Empfehlung für den BEMU.

### **Arbeitspaket 3 – Recht, Organisation, Sicherheit**

Bezüglich der Traktionsart wird festgestellt, dass keine hinreichenden Argumente für oder gegen eine bestimmte Antriebsart sprechen. Die erforderlichen Baumaßnahmen sind in beiden Fällen umfassend und gehen jeweils mit einem hohen Umsetzungsrisiko einher, welche nicht vom EVU, sondern bestenfalls vom ZVNL übernommen werden sollten.

Für die Strecke Leipzig-Grimma-Döbeln empfiehlt sich aufgrund der überschaubaren infrastrukturellen Baumaßnahmen das folgende Modell. Der ZVNL bestellt die Verkehre mit Batteriefahrzeugen im Rahmen eines „klassischen“ Verkehrsvertrags (nach europaweiter Ausschreibung gemäß VO (EG) Nr. 1370/2007) bei einem EVU, wobei die Unsicherheiten, die aus dem Einsatz von Batteriefahrzeugen resultieren, durch geeignete vertragliche Regelungen aufgefangen werden können. Das EVU ist gemäß Verkehrsvertrag weiterhin dafür verantwortlich die ggf. notwendige zusätzliche Ladeinfrastruktur (sowie sämtliche Abstellanlagen als Serviceeinrichtung) bei der DB zu beauftragen.

Folgende Instrumente vertraglicher Regelungen sind dabei zu prüfen. Das mit (innovativen) Fahrzeugbeschaffungen verbundene Marktrisiko des jeweiligen EVU kann durch erprobte Finanzierungsinstrumente seitens des Aufgabenträgers gedämpft werden. Risiken der Instandhaltung und der technischen Zuverlässigkeit könnte ein EVU durch einen Service-Vertrag mit dem Fahrzeughersteller abfedern. Die Preisentwicklung der neuen Komponenten der innovativen Fahrzeuge, wie Brennstoffzelle oder Akkus, könnte aus der allgemeinen Vergütung (Euro/Zug-km) und Preisfortschreibung ausgenommen werden. Zu prüfen wäre eine Neujustierung (nach oben bzw. unten) nach Komponententausch auf Basis der bekannten Preise für diese Komponenten in der Zukunft. Da sich der Austausch von Brennstoffzellen / Akkus in mehrjährigen, teuren Zyklen wiederholt wäre zur Sicherung der Liquidität des EVU in diesen Kostenspitzen eine Vorgabe zur Rücklagenbildung oder eines Einbehalts eines Anteils der Vergütung durch den ZVNL zu prüfen (Instandhaltungsrücklage).

### **Arbeitspaket 4 – Wirtschaftlichkeit**

In Arbeitspaket 4 (AP4) wurde die Wirtschaftlichkeit der alternativen Antriebe untersucht, welche zu dem Schluss gekommen ist, dass von den beiden alternativen Antriebsarten der BEMU mit sehr großer Wahrscheinlichkeit zu geringeren Aufwendungen für die SPNV-Aufgabenträger als der HEMU führt. Für die Zukunft ist ausdrücklich nicht ausgeschlossen, dass es beispielsweise infolge einer verstärkten Förderung der H2-Technologie zu deutlich günstigeren Marktkonditionen für HEMU kommen kann.

### **Arbeitspaket 5 – Umweltaspekte**

In Arbeitspaket 5 (AP5) werden die Umweltaspekte einer Prüfung mit folgenden Ergebnissen unterzogen. Beide Antriebsarten weisen erhebliche Vorteile bei Schadstoff-, Treibhausgas- und Lärmemissionen im Vergleich zu den heute eingesetzten Dieselmotoren auf. Dabei spielt der Strommix eine relevante Rolle. Auf kürzere Sicht betrachtet weist der BEMU deutliche Vorteile bzgl. THG-Emissionen auf, welche allerdings auf langfristige Sicht (2025-2035) hin schrumpfen.

Die Ausweitung der erneuerbaren Energien bestätigt den Vorteil der effektiveren Stromnutzung der BEMU gegenüber der HEMU. Unter Berücksichtigung der erforderlichen saisonalen Großenergiespeicherung schrumpft dieser Vorteil allerdings. Die Gesamtsystemeffizienz der beiden Antriebsarten nähert sich in diesem Fall an und ist vergleichbar. Daher könnte aus systemischer Sicht die Implementierung von HEMU in der mittel bzw. langen Frist auch eine sinnvolle Option darstellen.

## **Arbeitspaket 6 – Ergebnisdokumentation, Handlungsempfehlung, Zeitplan, Projektsteuerung – vci GmbH, Dresden**

Die Teilergebnisse und Empfehlungen der Arbeitspakete 1 – 5 wurden zusammengeführt und miteinander abgewogen. Dabei wird der Einsatz und die Beschaffung batterieelektrischer Fahrzeuge für das MDSB2025plus-Netz auf der Strecke Leipzig Miltitzer Allee – Leipzig Hbf tief – Grimma ob.Bf - Döbeln Hbf ab dem Jahr 2025 empfohlen. Weitere wichtige Rahmenbedingungen für Beschaffung, Vertrag und Organisation einer Fahrzeugpoolgesellschaft wurden dem ZVNL vorgeschlagen und dokumentiert. Der Zeitplan avisiert unter Berücksichtigung der Zeiträume für Gesellschaftsgründung und –ausstattung, Fremdkapitalbeschaffung und Fördermittelverfahren, Vergabeverfahren und Vertragsabschlüsse, Bauzeit der Fahrzeuge und Errichtung der notwendigen Infrastruktur eine Dauer von vier Jahren ab dem möglichen Verbandsbeschluss im November 2021.

### **2.2 wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises,**

Die wichtigsten Positionen der Zuwendung schließen alle genannten Arbeitspakete ein. Der durch den ZVNL übermittelte Nachweis der Verwendung (Rechnungsbelege) gibt Aufschluss über den zahlenmäßigen Aufwand.

Zur Wahrung berechtigter Interessen werden die konkreten Auftragssummen hier nicht genannt und vertraulich behandelt. Hiermit weisen wir den Zuwendungsgeber (ZG) darauf hin.

### **2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit,**

Das Vergabeverfahren brachte in diesem Zusammenhang jeweils mindestens ein wirtschaftliches Angebot je Arbeitspaket hervor, so dass auch von einer Angemessenheit der geleisteten Arbeit ausgegangen werden kann.

Die Untersuchung der verschiedenen Arbeitspunkte, der umfassende fachliche Vergleich der Strecken und Fahrzeugtechnologien sowie die Zusammenführung und Moderation einer Handlungsempfehlung sind zwingende Grundlage für die weitere Strategie und Umsetzung durch den ZVNL. Ohne die in Rede stehende Metastudie VinnoMir hätte der ZVNL keinen entsprechenden Beschluss erzielen können. Vergleichbare Entscheidungsgrundlagen lagen dem ZVNL bis dato nicht vor.

### **2.4 voraussichtlicher Nutzen**

Auf Basis der in den Arbeitspaketen eruierten Empfehlungen über den Einsatz von batterieelektrischen und wasserstoffbasierten Fahrzeugantrieben verfolgt der ZVNL nunmehr die Strategie die batteriebetriebene Schienenfahrzeuge in einem eigenen Fahrzeugpool zu beschaffen.

Auf Grundlage der Ergebnisse der Studie konnten

- der Verbandsbeschluss zum Aufbau eines Fahrzeugpools getroffen,
- die Strecke Leipzig – Döbeln für den Betrieb mit batteriebetriebene Schienenfahrzeuge geplant,
- ein Businessplan für die Kapitalgesellschaft des ZVNL erstellt,
- der Fördermittelantrag zum Aufbau eines Fahrzeugpool vorbeschrieben und eingereicht sowie
- das Vergabeverfahren inkl. Fahrzeugbeschaffung begonnen

werden.

## **2.5 bekannt gewordener Fortschritt während der Durchführung**

Insbesondere der Fahrzeugmarkt hat sich zwischenzeitlich weiterentwickelt. Eine durch den ZVNL beauftragte Marktanalyse hat in verschiedenen Interviews gezeigt, dass nach und nach alle Hersteller beide Antriebsarten, batterie- und wasserstoffbasiert, in ihrem Portfolio aufnehmen. Außerdem bestätigen alle Hersteller gemäß den eigens durchgeführten Streckenanalysen die starke Abhängigkeit des Einsatzes der verschiedenen Antriebe von den Streckeneigenschaften (Streckenlänge, -profil, -geschwindigkeit). Es zeigt sich jedoch eine stärkere Konzentration der Hersteller auf die BEMU-Varianten, mit z.T. leistungsfähigeren Fahrzeugen.

## **2.6 erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse**

Die TÜV Rheinland InterTraffic GmbH hat Projekt auf der firmeneigenen sog. Landing-Page“ zum Themengebiet Wasserstoff benannt.

Die Ergebnisse werden dem ZVNL nach Beschaffung der Fahrzeuge für verschiedene Fachvorträge und als Multiplikator in entsprechenden Fachgremien dienen.

## **3 Erfolgskontrollbericht, Berichtsblatt**

Der Erfolgskontrollbericht wurde in Profi-Online ausgefüllt und versandt.

Der Schlussbericht wurde dem als Anhang hinzugefügt

Das Berichtsblatt wurde in Profi-Online ausgefüllt und versandt.

## ANHANG - Übersicht verwendeter Fachliteratur, Informations- und Dokumentationsdienste gemäß Kap. 1.4

### AP1 – Infrastruktur

- [1] Statista: Stromverbrauch in Deutschland bis 2019 | Statista, 2021. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/164149/umfrage/netto-stromverbrauch-in-deutschland-seit-1999/>, abgerufen am: 03.01.2021
- [2] 2019: Erneuerbare decken 17,1 Prozent des Bruttoendenergieverbrauchs – SOLARIFY, 2021. <https://www.solarify.eu/2020/03/18/069-2019-erneuerbare-decken-171-prozent-des-bruttoendenergieverbrauchs/>, abgerufen am: 03.01.2021
- [3] Umweltbundesamt: Erneuerbare Energien in Deutschland. Daten zur Entwicklung im Jahr 2019 (2020)
- [4] Umweltbundesamt: Erneuerbare Energien in Zahlen, 2021. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#strom>, abgerufen am: 03.01.2021
- [5] Statista: Neu installierte Onshore-Windenergieleistung in Deutschland bis 2019 | Statista, 2021. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/218904/umfrage/neu-installierte-windenergieleistung-in-deutschland/>, abgerufen am: 03.01.2021
- [6] Statista: Neu installierte Leistung von Photovoltaikanlagen in Deutschland bis 2019 | Statista, 2021. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/29264/umfrage/neu-installierte-nennleistung-von-solarenergie-in-deutschland-seit-2004/>, abgerufen am: 03.01.2021
- [7] Umweltbundesamt: Indikator: Erneuerbare Energien, 2021. <https://www.umweltbundesamt.de/indikator-erneuerbare-energien#welche-bedeutung-hat-der-indikator>, abgerufen am: 03.01.2021
- [8] Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für: Deutschland auf Kurs bei EU-Erneuerbaren-Ziel, 2021. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2020/20200401-deutschland-auf-kurs-bei-eu-erneuerbaren-ziel.html>, abgerufen am: 03.01.2021
- [9] Pieprzyk, B.: Das „BEE-Szenario 2030“. Bruttostromverbrauch, Erneuerbare Stromerzeugung und jährliche Installation Erneuerbarer Energien bis 2030 (2019)
- [10] Schlegel, H.-J.: Erneuerbare Energien in Sachsen 2019. VEE Jahrestagung 2019, <https://www.vee-sachsen.de/sites/default/files/data/pdf/VEE%20Jahrestagung%202019>

- %20-%20Hans-J%C3%BCrgen%20Schlegel%20%20Erneuerbare%20Energien%20in%20Sachsen%202019.pdf, abgerufen am: 03.01.2021
- [11] Schroeter, S.: Sachsens Ökostrom-Produktion wächst auf niedrigem Niveau, 2021.  
<https://www.stefanschroeter.com/1458-sachsens-oekostrom-produktion-waechst-auf-niedrigem-niveau.html>, abgerufen am: 03.01.2021
- [12] Wernitz, C., Müller, B. u. Gaudchau, E.: Potenziale Erneuerbarer Energien in Ostdeutschland, 2017
- [13] Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien: Sachsen - Windbranche, Münster 2020.  
<https://www.windbranche.de/windenergie-ausbau/bundeslaender/sachsen?jahr=2020>, abgerufen am: 04.01.2021
- [14] Statista: Nennleistung der Windenergieanlagen in Sachsen bis 2019 | Statista, 2021.  
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/28240/umfrage/installierte-leistung-durch-windenergie-in-sachsen-seit-1991/>, abgerufen am: 04.01.2021
- [15] Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien: Sachsen - Solarbranche, Münster 2020.  
<https://www.solarbranche.de/ausbau/bundeslaender-photovoltaik/sachsen?jahr=2020>, abgerufen am: 04.01.2021
- [16] Allnoch, N.: Sachsen: Schere zwischen Klimaziel und Windausbau wird immer breiter. IWR.de GmbH (2020)
- [17] Schaefer, F.: Grünbuch zu den erneuerbaren Energien in Sachsen, 2020.  
[https://buergerbeteiligung.sachsen.de/portal/download/datei/1061964\\_0/Gr%C3%BCnbuch+zu+den+erneuerbaren+Energien+in+Sachsen.pdf](https://buergerbeteiligung.sachsen.de/portal/download/datei/1061964_0/Gr%C3%BCnbuch+zu+den+erneuerbaren+Energien+in+Sachsen.pdf), abgerufen am: 03.01.2021
- [18] Aktuelle Zahlen bestätigen, Sachsen hat bei den erneuerbaren Energien noch Potenzial!, 2021.  
[https://www.kreis-goerlitz.de/city\\_info/webaccessibility/index.cfm?item\\_id=853047&waid=393&modul\\_id=33&record\\_id=78128](https://www.kreis-goerlitz.de/city_info/webaccessibility/index.cfm?item_id=853047&waid=393&modul_id=33&record_id=78128), abgerufen am: 03.01.2021
- [19] arrhenius Institut für Energie- und Klimapolitik: Eigenversorgung des Schienenverkehrs der Deutschen Bahn mit Strom aus Erneuerbaren Energien | Machbarkeitsstudie
- [20] Broschuere-Daten-und-Fakten-data
- [21] Deutscher Bundestag: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Matthias Gastel, Lisa Badum, Dr. Julia Verlinden, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN – Drucksache 19/8817 – Erneuerbare Energien im Bahnstrommix (2019)

- [22] Technische Spezifikationen für die Interoperabilität, 2021. [https://www.eba.bund.de/DE/RechtRegelwerk/TSI/tsi\\_node.html](https://www.eba.bund.de/DE/RechtRegelwerk/TSI/tsi_node.html),  
abgerufen am: 07.01.2021
- [23] Allianz pro Schiene: Das Schienennetz der Eisenbahnen in Deutschland, 2021. <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/infrastruktur/schienennetz/>, abgerufen am: 06.01.2021
- [24] dpa: Bahn-Elektrifizierung kommt nur langsam voran. heise Online (2020)
- [25] Klebsch, W., Heininger, P. u. Martin, J.: Alternativen zu Dieseltriebzügen im SPNV. Einschätzung der systemischen Potenziale, 2019. <https://www.vde.com/resource/blob/1889656/5f42b90859412b8590d0c7539604b0bc/pressemitteilung---studie-alternative-antriebssysteme-im-spnv--1--data.pdf>
- [26] Mikanowski, L., Grant, S. u. (Keine Angabe): Elektrifizierungsgrad der Schieneninfrastruktur, Berlin 2018.  
<https://www.bundestag.de/resource/blob/549342/.../wd-5-027-18-pdf-data.pdf>,  
abgerufen am: 06.01.2021
- [27] DB Netz AG: GeoViewer | DB Netze Fahrweg. Infrastrukturregister - Interaktivekarte, 2021. <https://geovdbn.deutschebahn.com/isr>, abgerufen am: 06.01.2021
- [28] Norman Gerhardt, Dr. Boris Valov, Tobias Trost, Dr. Thomas Degner: Bahnstrom Regenerativ - Analyse und Konzepte zur Erhöhung des A  
[https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2016/08/Endbericht\\_Bahnstrom\\_Regenerativ\\_Fraunhofer\\_DB\\_Netze-IKEM\\_2011\\_10.pdf](https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2016/08/Endbericht_Bahnstrom_Regenerativ_Fraunhofer_DB_Netze-IKEM_2011_10.pdf), abgerufen am: 06.01.2021
- [29] Redaktion, D. B.: Wo kommt eigentlich der Bahnstrom her?, 2017. <https://inside.bahn.de/bahnstromnetz/>, abgerufen am: 05.01.2021
- [30] 123map GmbH & Co.KG: Stromnetzkarte auf Basis von OSM-Daten, 2019. <https://www.flosm.de/html/Stromnetz.html?lat=51.3600000&lon=10.4800000&r=740000.00&st=1&sw=powerline380k,powerline400k,powerline420k,powerline750k,powerline765k,powerlinedchigh>, abgerufen am: 06.01.2021
- [31] Zimmermann, U., Mach, S. von, Erbrecht, B. u. Boev, P.: Emissionsfreier SPNV mit Batterietriebzügen. Machbarkeitsstudie im Auftrag des „Zweckverband für den Nahverkehrsraum Leipzig (ZVNL)“, 2019, abgerufen am: 06.01.2021
- [32] Wussow, S.: Windenergie und Hochspannung Notwendige Abstände zu Freileitungen. [https://f2e.de/files/public/f2e\\_freileitungen\\_2014.pdf](https://f2e.de/files/public/f2e_freileitungen_2014.pdf), abgerufen am: 06.01.2021
- [33] Ministerium für Umwelt Landwirtschaft und Energie: Grünbuch zur Entwicklung einer Wasserstoffstrategie

- [34] Kreidelmeyer, S., Dambeck, H., Wunsch, M. u. Dr.Kirchner, A.: Kosten und Transformationspfade für strombasierte Energieträger. Endbericht zum Projekt „Transformationspfade und regulatorischer Rahmen für synthetische Brennstoffe“
- [35] Scholz, R., Gläser, N. u. Paluch, D.: Auf dem Weg zur Emissionsfreiheit im Zugverkehr. Wasserstoff-Infrastruktur für die Schiene, 2016.  
[https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/09/broschuere\\_wasserstoff-infrastruktur-fuer-die-schiene\\_online-version.pdf](https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/09/broschuere_wasserstoff-infrastruktur-fuer-die-schiene_online-version.pdf), abgerufen am: 07.01.2021
- [36] Ernst & Young GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, SIGNON Deutschland GmbH, TÜV SÜD Rail GmbH, Becker Büttner Held u. IFOK GmbH: Wasserstoff-Infrastruktur für die Schiene
- [37] Dr. Ulrich Bünger, Daniel Hielscher, Jan Zerhusen, Michael Ritter u. Dr. Jürgen Heyn: H2-SCHIENENVERKEHR MITTELDEUTSCHLAND, 2018. [http://www.hypos-eastgermany.de/fileadmin/content/downloads/pdf/2018-03-01\\_H2-Schiennenverkehr\\_in\\_Mitteldeutschland-oeffentliche\\_Version.pdf](http://www.hypos-eastgermany.de/fileadmin/content/downloads/pdf/2018-03-01_H2-Schiennenverkehr_in_Mitteldeutschland-oeffentliche_Version.pdf), abgerufen am: 07.01.2021
- [38] DVGW: WO AUS WIND UND SONNE GRÜNES GAS WIRD EINE ÜBERSICHT DER POWER-TO-GAS-PROJEKTE IN DEUTSCHLAND (2019)
- [39] Statista: Anzahl der Power-to-Gas-Projekte in Deutschland nach Bundesland 2019 | Statista, 2021. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1088633/umfrage/anzahl-der-power-to-gas-projekte-in-deutschland-nach-bundesland/>,  
abgerufen am: 07.01.2021
- [40] Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS: Reallabor erforscht gesamte Wertschöpfungskette für Grünen Wasserstoff - Fraunhofer IMWS, 2021.  
<https://www.imws.fraunhofer.de/de/presse/pressemitteilungen/greenhydrochem-reallabor-wasserstoff.html>, abgerufen am: 07.01.2021
- [41] Ludwig Bölkow Systemtechnik, 2018, Machbarkeitsstudie H2-Schiennenverkehr in Mitteldeutschland, Abschlussbericht
- [42] NOW GmbH, 2016, Ergebnisbericht: Studie Wasserstoff-Infrastruktur für die Schiene
- [43] VDE, 2019, Alternativen zu Dieseltreibzügen im Schienenpersonennahverkehr – Einschätzung der systemischen Potenziale
- [44] IFB Institut für Bahntechnik GmbH, Projektdokumentation VinnoMir Systemkosten\_LMIA-DDE\_LL-UG\_ifb\_20200929.pd, Stand 29.09.2020
- [45] Hypos e.v., Potentiale der Hypos-Region, 2020, <https://www.hypos-eastgermany.de/das-innovationsprojekt/potentiale-der-hypos-region/>, abgerufen am 11.09.2020
- [46] DBI – Gasttechnologisches Institut gGmbH Freiberg, 2016, Abschlussbericht Wirtschaftliche Bewertung der HYPOS-Wertschöpfungsketten zur

Wasserstoffherzeugung im Kontext der verschiedenen Nutzungspfade – H2\_Index; T  
Teil 1: Potentialanalyse zum Absatz von Wasserstoff in der Modellregion HYPOS;  
Stand: 15.07.2016

### **AP2 – Energieinfrastruktur:**

- [1] Pagenkopf, Johannes; Schirmer, Toni; Böhm, Mathias; Streuling, Christoph; Herwartz, Sebastian; (2020), Marktanalyse alternativer Antriebe im deutschen Schienenpersonennahverkehr,
- [2] Bünger, Ulrich; (2020), 2020-08-10\_VinnoMIR\_Szenarien\_V1.pptx
- [3] Paul, Herbert; Wollny, Volrad; (2020), Instrumente des strategischen Managements, 3. Auflage, De Gruyter Oldenbourg, Berlin/München/Boston
- [4] Bünger, Ulrich; Zerhusen, Jan; Ritter, Michael; Heyn, Jürgen; Hielscher, Daniel; (2018), Machbarkeitsstudie H<sub>2</sub>-Schienenverkehr in Mitteldeutschland
- [5] Infrastrukturregister DB Netze <https://geovdbn.deutschebahn.com/isr#>

### **AP3 – Recht**

- [1] Pressemeldung: Eurailpress - Probebetrieb
- [2] Pressemeldung: Alstom fahma
- [3] Artikel: Tagblatt Stadler H2-Züge
- [4] Produktpräsentation: Mireo Siemens
- [5] Pressemeldung: NOW Förderzusage H2-Mireo
- [6] Pressemeldung: Railway Gazette CRRC H2-Tram
- [7] Pressemeldung: Mireo Bestellung BW
- [8] Pressemeldung: Stadler Flirt Akku NAHSH
- [9] Pressemeldung: Alstom BEMU VMS
- [10] Artikel: EI 12-2018 Akku-Flirt Vorstellung
- [11] Pressemeldung: ÖBB Cityjet eco
- [12] Produktpräsentation: BT Präsentation Akku-Talent
- [13] Produktpräsentation:<https://www.caf.net/de/productoservicios/familia/civity/modularidad.php>
- [14] Pressemeldung: NAHSH Fahrzeugbereitsteller ausgewählt
- [15] Artikel: Kieler-Nachrichten Akku-Flirt
- [16] Artikel: EI 7-2020 Rockrail

- [17] Pressemeldung: Niedersachsen iLint Vertragsunterzeichnung
- [18] Bünger, Ulrich; Zerhusen, Jan; Ritter, Michael; Heyn, Jürgen; Hielscher, Daniel; (2018), Machbarkeitsstudie H<sub>2</sub>-Schienenverkehr in Mitteldeutschland

#### AP4 – Wirtschaftlichkeit

- [1] Ergebnisse der BNetzA  
[https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/Ausschreibungen/Ausschreibungen\\_node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Ausschreibungen/Ausschreibungen_node.html)
- [2] Aufruf vom 5.11.2019, <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/foerderung-wasserstoff-tankstellen.html>
- [3] Prognos, Kosten und Transformationspfade für strombasierte Kraftstoffe, Studie im Auftrag BMWI, 5/2020, S. 67 f.; FZ Jülich, Neue Optionen für einen wirtschaftlichen Betrieb durch Nutzung der LOHC-Technologie, 2019, S. 38 ff.
- [4] Prognos, Kosten und Transformationspfade für strombasierte Energieträger, Studie im Auftrag BMVI, 5/2000, S. 43; Wissenschaftlicher Dienst des Bundestags, WD 5 3000 029/20 Kosten Grünen Wasserstoffs, S. 8; Wuppertal/Institut/DIW, Bewertung von Vor- und Nachteilen von Wasserstoffimporten, 11/2020, S. 50; Energy Commenta, Blauer Wasserstoff, Studie in Auftrag von Greenpeace, 2020, S. 13; Forschungszentrum Jülich, Neue Optionen für einen wirtschaftlichen Betrieb von Wasserstoffzügen durch Nutzung der LOHC-Technologie, 2019, S. 39 f.
- [5] Fraunhofer, Stand und Entwicklung der Wasserelektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff aus regenerativen Energien, Studie im Auftrag NOW, 7/2011, S 32. ff. und NOW, InWEDe – Industrialisierung der Wasserstoffelektrolyse in Deutschland, 2018, S. 42 ff.

#### AP5 – Umweltaspekte

- [1] [ADAC 2019] U. Bünger, St. Nicolai, J. Zerhusen, C. Monsalve, S. Kharboutli, J. Michalski, St. Ruhe, U. Albrecht: Infrastrukturbedarf E-Mobilität – Analyse eines koordinierten Infrastrukturaufbaus zur Versorgung von Batterie- und Brennstoffzellen-Pkw in Deutschland. Bericht zum Forschungsprojekt der Ludwig-Bölkow-Stiftung gefördert durch die ADAC Stiftung, Juni 2019, [https://stiftung.adac.de/app/uploads/2019/06/IBeMo\\_Abschlussbericht\\_final\\_190625\\_LB\\_ST\\_Zerhusen.pdf](https://stiftung.adac.de/app/uploads/2019/06/IBeMo_Abschlussbericht_final_190625_LB_ST_Zerhusen.pdf).
- [2] [AFW 2017] Amec Foster Wheeler; IEAGHG: Techno-Economics of Deploying CCS in a SMR Based Hydrogen Production using NG as Feedstock/Fuel; IEAGHG Technical Report 2017-02, February 2017
- [3] [Bundestag 2019] Deutscher Bundestag: Antwort der Bundesregierung auf die kleine Anfrage der Abgeordneten Matthias Gastel, Lisa Badum, Dr. Julia Verlinden, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN – Drucksache 19/8817: Erneuerbare Energien im Bahnstrommix; Drucksache 19/10121, 14.05.2019

- [4] [DeliverHy 2013] DeliverHy: Impact of high capacity CGH2-trailers; Deliverable 6.4; project co-financed by European funds from the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking under FCH-JU-2009-1 Grant Agreement Number 278796; October 2013; [http://www.fch.europa.eu/sites/default/files/project\\_results\\_and\\_deliverables/Recommendations%20to%20industry%20%28ID%202849587%29.pdf](http://www.fch.europa.eu/sites/default/files/project_results_and_deliverables/Recommendations%20to%20industry%20%28ID%202849587%29.pdf)
- [5] [ETSU 1996] Gover, M. P.; Collings, S. A.; Hitchcock, G. S.; Moon, D. P.; Wilkins, G. T.: Alternative Road Transport Fuels - A Preliminary Life-cycle Study for the UK, Volume 2; A study co-funded by the Department of Trade and Industry and the Department of Transport; ETSU, Harwell March 1996
- [6] [EU-RED 2018] DIRECTIVE (EU) 2018/2001 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast); Official Journal of the European Union, 21.12.2018
- [7] [Exergia 2015] Exergia; E3M-lab; COWI: Study on actual GHG data for diesel, petrol, kerosene and natural gas; Final Report, Work Order: ENER/C2/2013-643; July 2015; European Commission DG ENER Framework Service Contract SRD MOVE/ENER/SRd.1/2012-409-LOT 3-COWI
- [8] [Haberstroh 2019]Haberstroh, Chr. (TU Dresden): personal communication (e-mail) to Büniger, U. (LBST); 9 January 2019
- [9] [IFB 2020] Institut für Bahntechnik: Systemkosten LMIA-DDE LL-UG; 7 September 2020
- [10] [IPCC 2007] Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.; [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4\\_wg1\\_full\\_report-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4_wg1_full_report-1.pdf)
- [11] [IPCC 2013] Stocker, Th., F.; Qin, D.; Plattner, G-K.; Tignor, M.; Allen, S., K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P., M. (eds.): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, see <http://ipcc.ch/report/ar5/>
- [12] [JEC 2014] JEC – Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE collaboration: Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context; Version 4.a; Report EUR 26237 EN, April 2014; ISBN 978-92-79-33888-5 (pdf); <http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/>
- [13] [Krieg 2012] Krieg, D.: Konzept und Kosten eines Pipelinesystems zur Versorgung des Straßenverkehrs mit Wasserstoff; Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment, Band / Volume 144, ISSN 1866-1793, ISBN 978-3-89336-800-6, 2012

- [14] [LBST et al. 2016] Ernst & Young (EY), Ludwig-Bölkow-Systemtechnik (LBST), Becker Büttner Held, TÜV Süd, SIGNON, IFOK: Ergebnisbericht Studie Wasserstoff-Infrastruktur für die Schiene; Erscheinungsjahr 2016
- [15] [LfULG 2012] Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) Sachsen: Emissionen des Schienenverkehrs in Sachsen; Schiftenreihe, Heft 2/2012
- [16] [Öko-Institut & Prognos 2019] Öko-Institut e.V.; Prognos: Zukunft Stromsystem II - Regionalisierung der erneuerbaren Stromerzeugung; Februar 2019; <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF-Zukunft-Stromsystem-2.pdf>
- [17] [Tesla 2017] Tesla, 21 March 2017; <https://www.tesla.com/powerpack>
- [18] [Weber 1994] Weber, G., R., Gardner Cryogenics, Lehigh Valley, PA, USA; quotation 7 September 1994

#### **AP6 – Gesamtdokumentation, Handlungsempfehlung, Projektsteuerung**

- [1] ZVNL, Sozietät Röber & Hess: Schriftsatz Mögliche Rechtsform eines Fahrzeugpools: (internes Papier)
- [2] Bünger, Ulrich; Zerhusen, Jan; Ritter, Michael; Heyn, Jürgen; Hielscher, Daniel; (2018), Machbarkeitsstudie H<sub>2</sub>-Schienenverkehr in Mitteldeutschland
- [3] Ergebnisbericht der AP 1 bis 5
- [4] Vergabeunterlagen Mitteldeutsches S-Bahn-Netz
- [5] ZVNL: Marktanalyse Schienenfahrzeughersteller (internes Papier)