

Fakultät für Verkehrswissenschaften „Friedrich List“
Institut für Bahnfahrzeuge und Bahntechnik
Professur für Elektrische Bahnen

Bewertung alternativer Antriebskonzepte im Pfalznetz: Verbandsversammlung ZSPNV Süd

Bad Dürkheim, 17. Mai 2019

Prof. Dr.-Ing. Arnd Stephan
Dipl.-Ing. Nyascha Thomas Wittemann



Professur für Elektrische Bahnen

Planung und Betrieb elektrischer Verkehrssysteme



- › Energieerzeugung/ -übertragung
- › Energieverteilung/ -zuführung
- › Elektrisches Fahrzeug
- › Rückstromführung, Beeinflussung
- › Fahrzeug- und Anlagenbetrieb



1. Intention & Handlungsbedarf

2. Methodik

3. Rahmenbedingungen Fahrzeuge & Netz

4. Untersuchungen & Ergebnisse

5. Fazit

Intention & Handlungsbedarf

Alternative Antriebe für das Pfalznetz

Ausgangslage:

- Vergabeentscheidung für die gestaffelte Betriebsaufnahme ab Dezember 2024 steht an
- SPNV im Pfalznetz soll **ökologischer** werden → Verzicht auf Diesel
- verschiedene alternative Antriebstechnologien bieten sich an

Ziel der Untersuchung:

- Technologieempfehlung für Ausschreibung
mit **einheitlicher Antriebstechnologie für gesamtes Netz**
→ sichert **Wirtschaftlichkeit und Flexibilität** des Betriebs
→ Kostenangaben der Hersteller referenzieren auf Gesamtvolumen
→ mehrere Technologien im Netz führen zu **höheren Kosten**
- Bewertung muss **betriebllich, technisch und wirtschaftlich** erfolgen

Intention & Handlungsbedarf

Alternative Antriebe für das Pfalznetz

Prämissen:

- **Bewertung** bis 2024 verfügbarer alternativer Antriebstechnologien
- **ganzheitliche Betrachtung** mit Fahrzeug- und Infrastrukturbedarf
- Betrachtung mit **Vertragslaufzeiten und Lebensdauern**
- Wirtschaftlicher Vergleich mit **gesamtwirtschaftlichem** Ansatz

1. Intention & Handlungsbedarf

2. Methodik

3. Rahmenbedingungen Fahrzeuge & Netz

4. Untersuchungen & Ergebnisse

5. Fazit

Methodik

Vorgehen im Projekt

AP A: Analyse der verfügbaren Antriebsarten

→ Marktübersicht

→ Randbedingungen der Technologien

AP B: Wirtschaftliche und ökologische Bewertung

Analyse des Netzes:

- Streckenlängen
- Verkehrsaufkommen
- Fahrzeugtypen- & Anzahl
- vorhandene Oberleitung
- ...

Linien-spezifische LCC-Analysen:

- Berechnung jeder einzelnen Linie
- Identifizierung der besten Technologie für die Linie

Analyse des gesamten Netzes:

- Addition linien-spezifischer Ergebnisse
- Ermittlung optimaler Technologie für ges. Netz

Methodik

Prämissen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

- Orientierung an heutigen Bestandsfahrplänen & Umlaufplänen der Fahrzeuge
 - Technologieoffener Vergleich mit **4 Szenarien**:
 - Betrachtung **inklusive** Infrastruktur (volkswirtschaftlicher Ansatz)
 - Betrachtung **exklusive** Infrastruktur (betriebswirtschaftlicher Ansatz)
 - Betrachtung für **22,5 Jahre** als maximal mögliche Vertragslaufzeit
 - Betrachtung für **35 Jahre** als kalkulierte Fahrzeuglebensdauer
 - Ausbauoptionen (z.B. potentielle Elektrifizierungen) werden mitbetrachtet
 - einheitliche Fahrzeuggrößen mit ca. 145 – 170 Sitzplätzen (größer als Bestand)
- potentielle Förderung einzelner Infrastruktur/ Fahrzeuge **nicht berücksichtigt**
- Aussagen der Untersuchung nur für jeweils **einheitliche** Fahrzeugtechnologie im gesamten Netz gültig
→ Kostenangaben der Fahrzeug-Hersteller andernfalls nicht belastbar

1. Intention & Handlungsbedarf
2. Methodik
- 3. Rahmenbedingungen
Fahrzeuge & Netz**
4. Untersuchungen & Ergebnisse
5. Fazit

Rahmenbedingungen Infrastruktur

In dieser Untersuchung betrachteteter Netzteil des Pfalznetzes

Los 1 der Ausschreibung



Karte auf Basis Openstreetmap; DB OpenData

Rahmenbedingungen Fahrzeug

Mögliche Technologien für das Pfalznetz

kein Teil des
Untersuchungs-
auftrags

~~1. Streckenelektrifizierung Gesamtnetz und Einsatz klassischer Elektrofahrzeuge~~

2. Weiterbetrieb mit klassischen Dieselfahrzeugen
Referenzfall, ohne zusätzliche Infrastruktur



3. Oberleitungs-/ Batterie-Hybridfahrzeuge
mit elektrischem Energiespeicher und Nachlade-Infrastruktur
(vorhandene Oberleitung und zusätzliche Ladeabschnitte)



4. Zweikraftfahrzeuge Elektro/ Diesel
sog. Dual-Mode-Fahrzeuge ohne elektrischen Energiespeicher
und ohne zusätzliche Infrastruktur



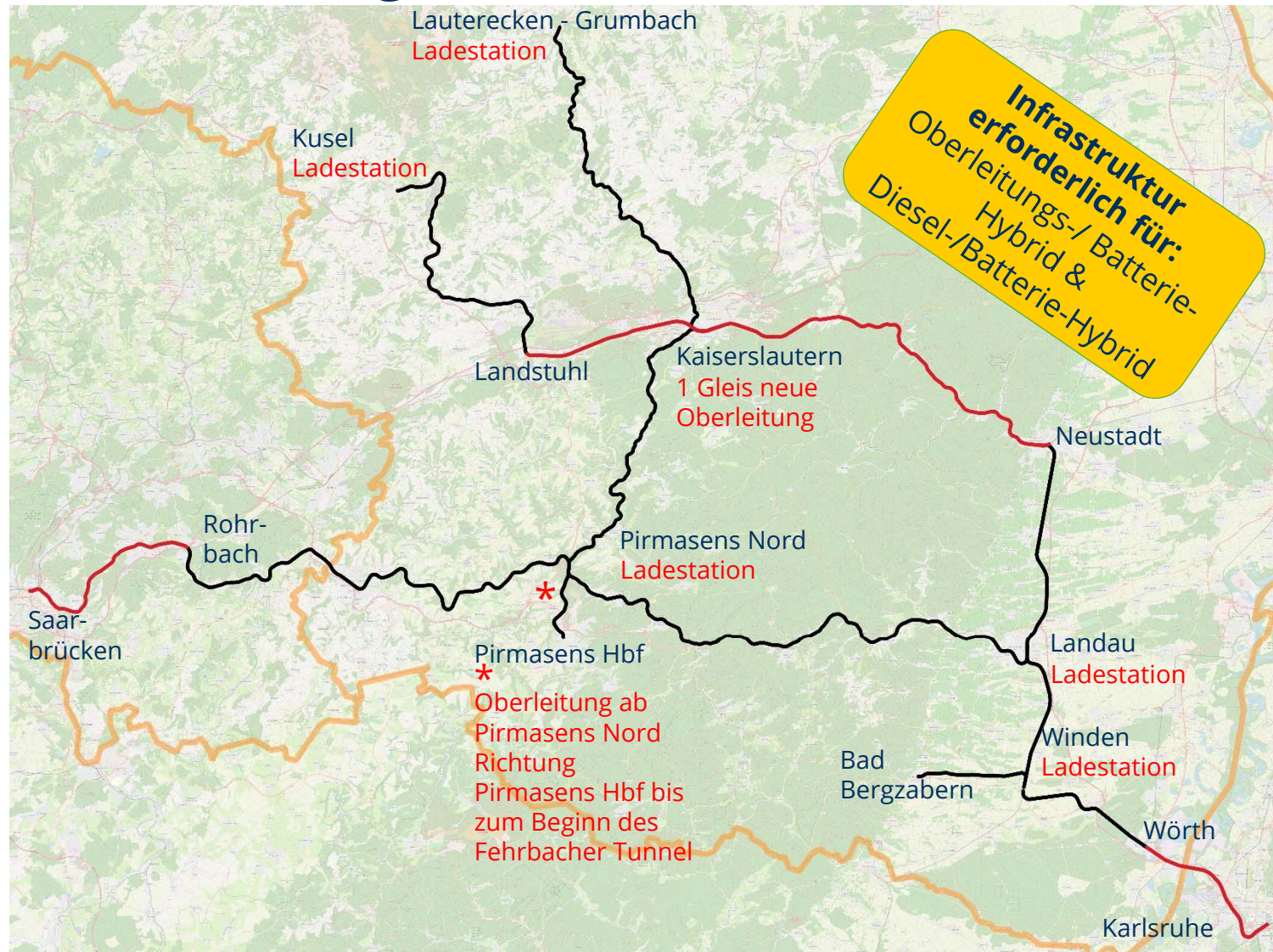
5. Diesel-/ Batterie-Hybridfahrzeuge
mit elektrischem Antrieb & Energiespeicher sowie Nachlade-
Infra. (vorhandene Oberleitung und zusätzliche Ladeabschnitte)



6. Wasserstoff-/ Batterie-Hybridfahrzeuge
mit elektrischem Antrieb & Energiespeicher sowie
Brennstoffzelle, mit Wasserstoff-Tankinfrastruktur und -logistik



Überblick vorgesehene *zusätzliche* Ladeinfrastruktur

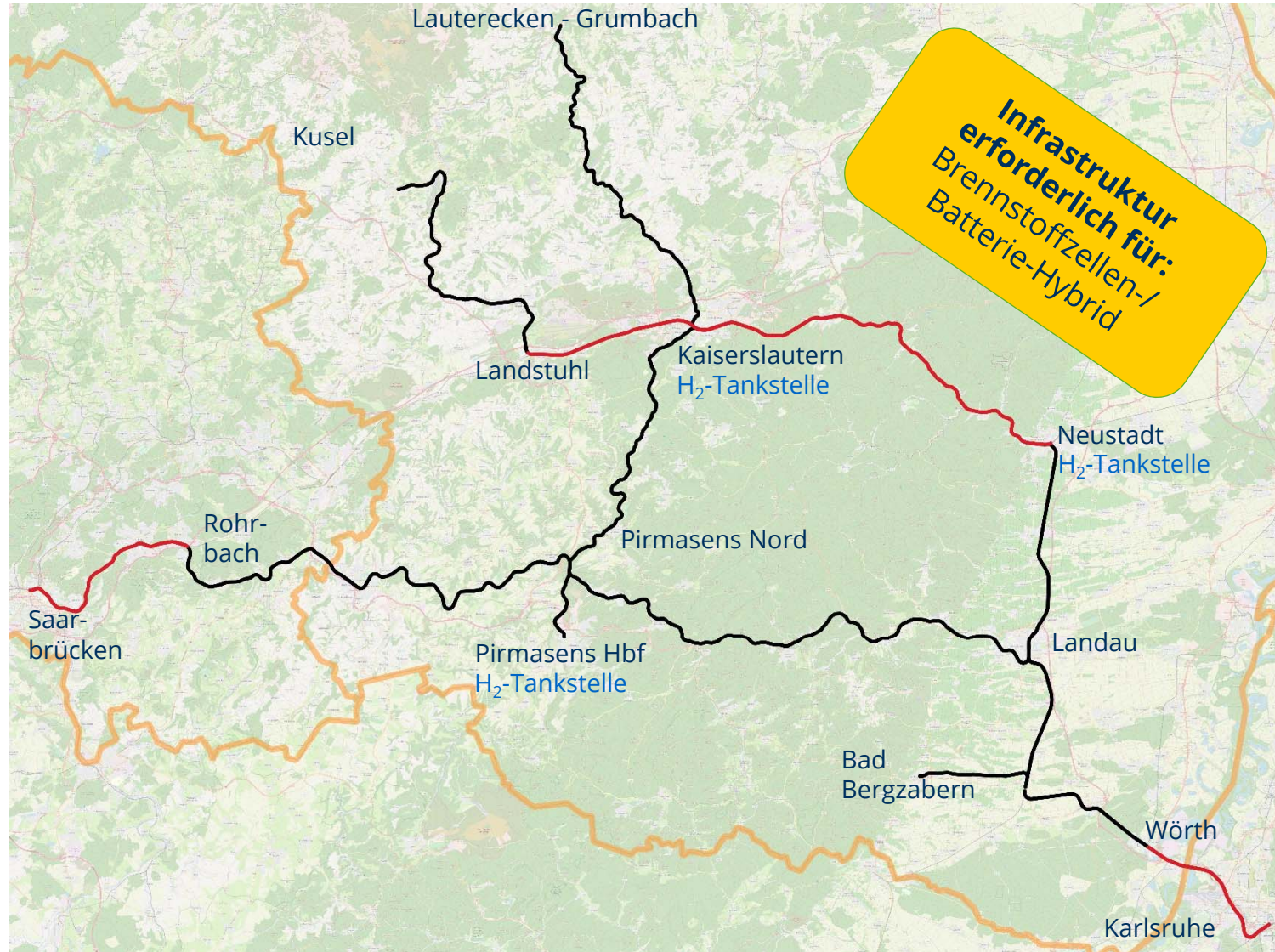


Ladestation:

- ermöglicht Laden von Fahrzeugen über einen Stromabnehmer
- entspricht baulich einer Standardoberleitung über einem/mehreren Gleisen eines Bahnhofs ohne anschließende Bahnstrecken
- Energieversorgung über Trafo mit Umrichter 50 Hz → 16,7 Hz
- Oberleitung und Energieversorgung können auch bei späterer Elektrifizierung genutzt werden

Karte auf Basis
Openstreetmap;
DB OpenData

Überblick vorgesehene H₂-Infrastruktur



H₂-Tankstelle:

- ermöglicht Betanken der Wasserstoffzüge mit verflüssigtem Wasserstoff unter hohem Druck
- H₂-Versorgung mit LKW und Spezial-Trailer über öffentliches Straßennetz

1. Intention & Handlungsbedarf
2. Methodik
3. Rahmenbedingungen Fahrzeuge & Netz
- 4. Untersuchungen & Ergebnisse**
5. Fazit

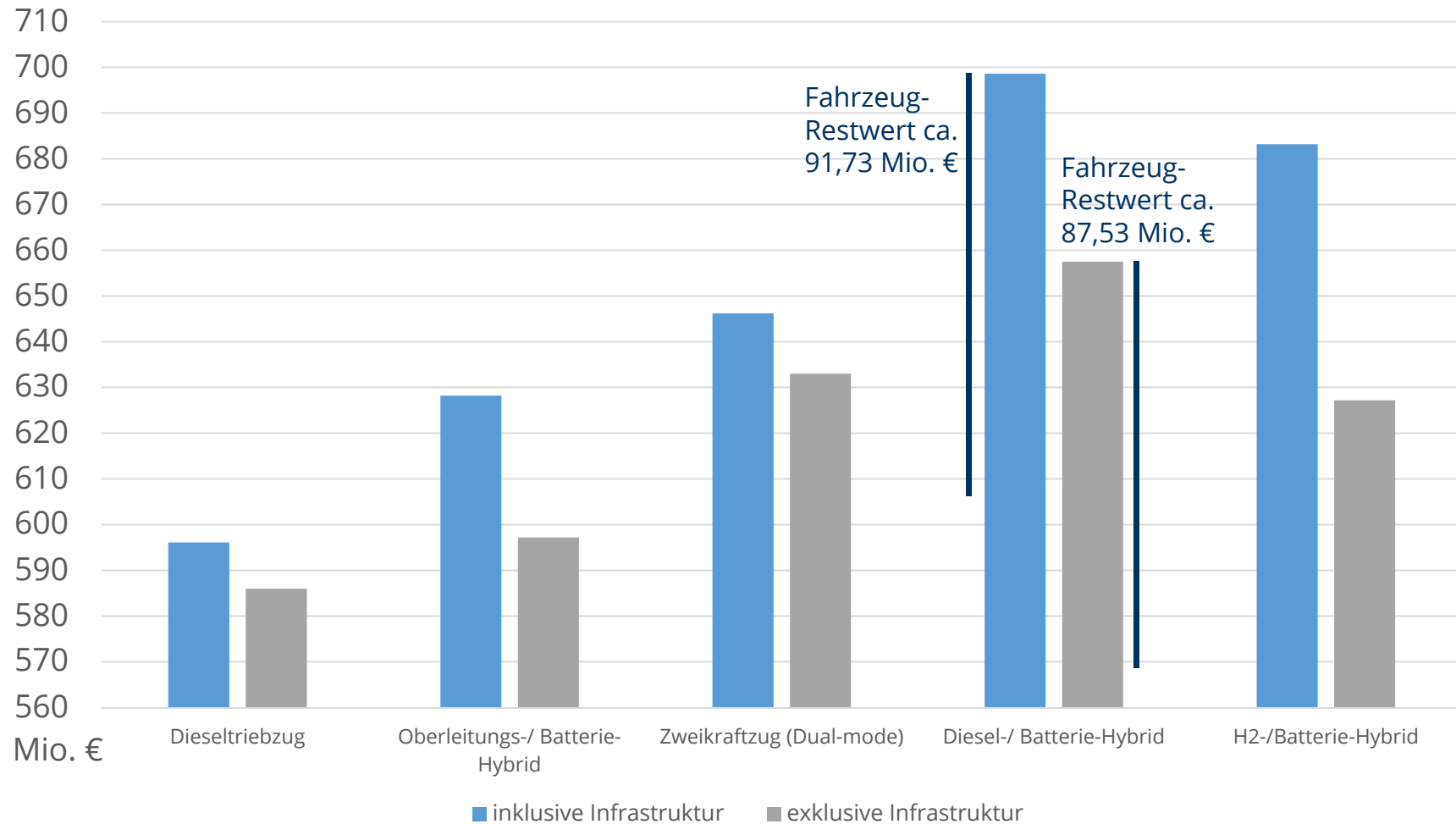
Untersuchungen & Ergebnisse

Betrachtete Parameter des Berechnungsmodells

- Investitionen Fahrzeuge & *zusätzliche* Infrastruktur
- Traktionsenergiekosten (abhängig von Bezugsquelle)
→ Diesel-/ H₂-Tankstelle, Oberleitung (Bahnnetz), Ladestation (Landesnetz)
- Instandhaltungskosten Fahrzeuge & *zusätzliche* Infrastruktur
 - laufende Instandhaltung
 - Hauptuntersuchungen Fahrzeuge
- Reinvestitionen in Hochtechnologiekomponenten
 - Batterien → Oberleitungs-/Batt.-Hybrid, Diesel-/Batt.-Hybrid, H₂-/Batt.-Hybrid
 - Brennstoffzellen → H₂-/Batterie-Hybrid
 - PowerPacks (Dieselmotoreinheit) → Diesel, Zweikraftzug, Diesel-/Batt.-Hybrid
→ jeweils in Abhängigkeit von variabler, belastungsabhängiger Lebensdauer
- ggf. erforderliche Reinvestitionen in Fahrzeuge & *zusätzliche* Infrastruktur
- (Restwerte bei Betrachtungsdauern < Abschreibungszeitraum der Komponenten)

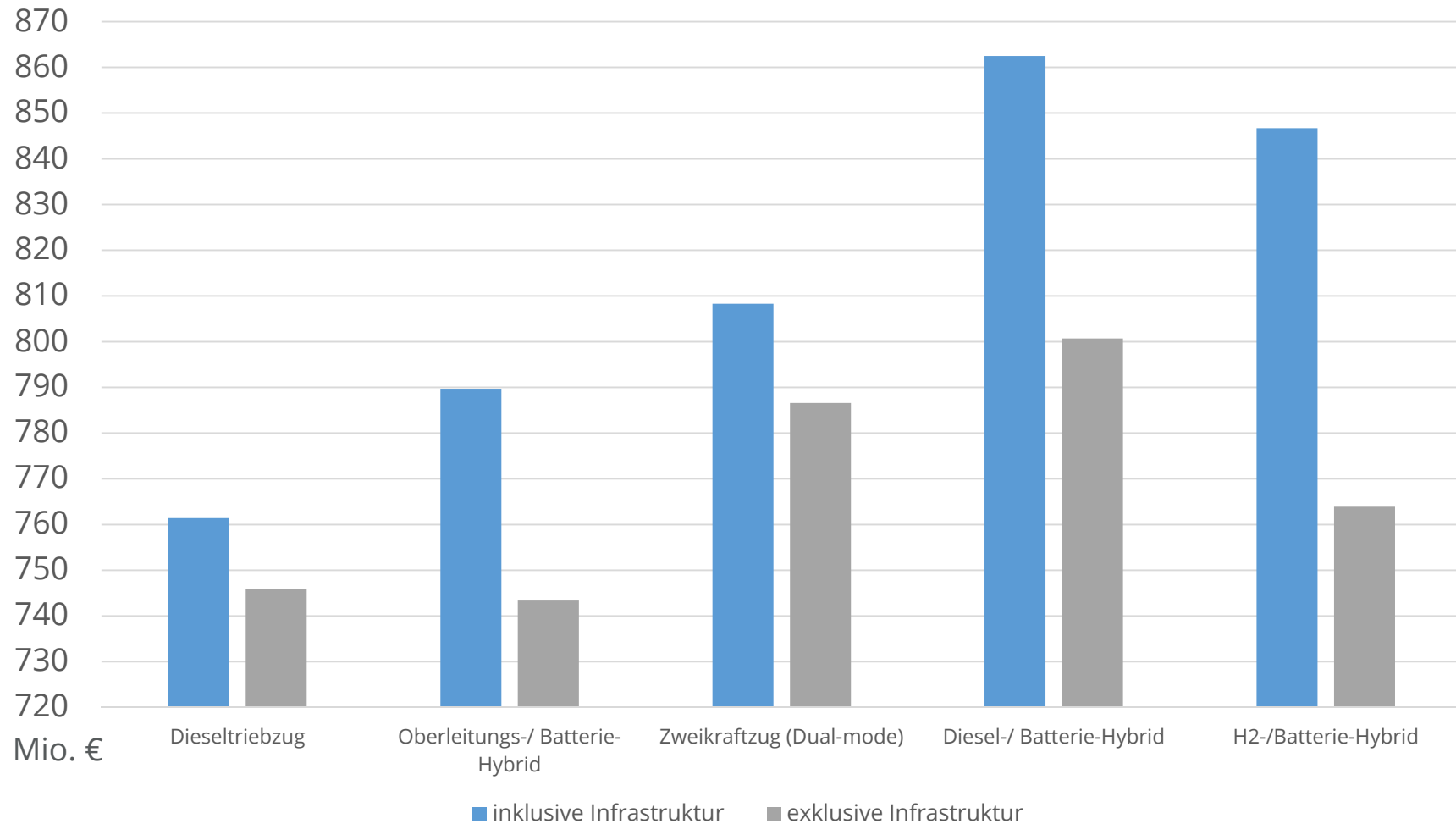
Kapitalwerte im Gesamtnetz

Betrachtungszeit 22,5 a = max. Laufzeit Verkehrsvertrag



Kapitalwerte im Gesamtnetz

Betrachtungszeit 35 a = Lebensdauer Fahrzeuge



Kapitalwerte im Gesamtnetz

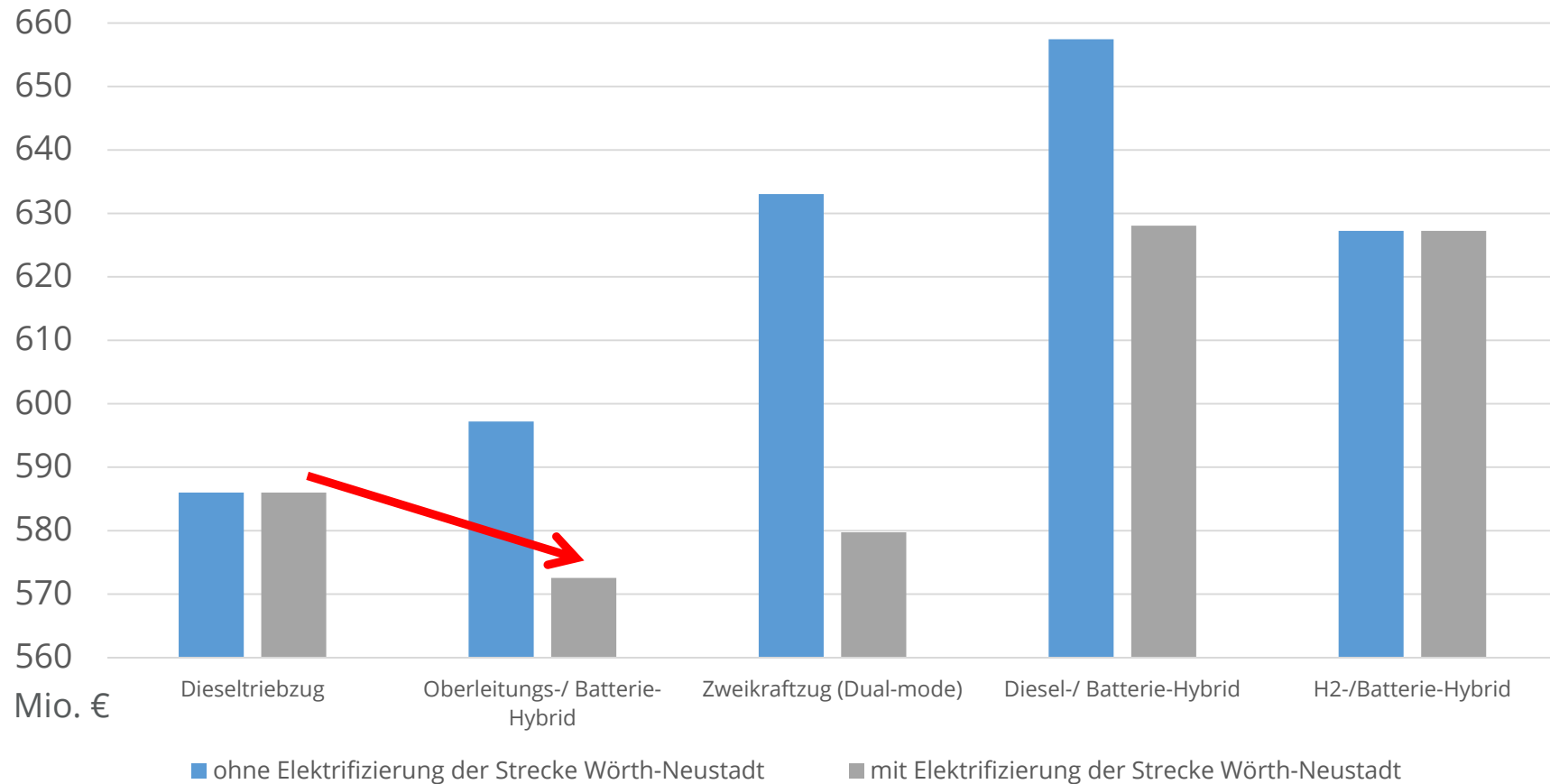
Gesamtübersicht

	35 Jahre mit Infrastruktur [Mio. €]	35 Jahre ohne Infrastruktur [Mio. €]	22,5 Jahre mit Infrastruktur [Mio. €]	22,5 Jahre ohne Infrastruktur [Mio. €]
Dieseltriebzug	761,4	746	596,1	586
Oberleitungs-/ Batterie-Hybrid	789,7	743,4	628,2	597,2
Zweikraftzug (Dual- mode)	808,3	786,6	646,2	633
Diesel-/ Batterie- Hybrid	862,5	800,7	698,6*	657,5*
H ₂ -/Batterie-Hybrid	846,7	763,9	683,2	627,2

*hoher Fahrzeugrestwert enthalten

Auswirkung Elektrifizierung Wörth - Neustadt

Betrachtungszeit 22,5 a *ohne* Infrastrukturkosten



➤ **Verkehr im Gesamtnetz wird bei Elektrifizierung der Strecke Wörth-Neustadt kostengünstiger als Beibehaltung des Dieselbetriebs.**

Abschätzung CO₂-Emissionen

Prognosehorizont: max. Vertragslaufzeit (22,5 Jahre)

Angaben in Tonnen CO ₂	Diesel- triebzug	Oberleitungs-/ Batterie-Hybrid	Zweikraftzug (Dual-mode)	Diesel-/ Batterie-Hybrid	H ₂ -/ Batterie-Hybrid
RK-RN	203.613	73.683	203.594	105.857	61.701
RLA-SPS	60.802	21.791	68.832	35.634	18.425
RWND-RBZB	12.361	4.430	13.993	7.244	3.746
SKL-SKUS	47.806	17.807	44.108	23.005	14.487
SKL-SLKG	35.992	12.412	40.130	20.925	10.907
SKL-SPS	40.300	13.969	44.470	23.173	12.212
SSH-SPS	77.621	28.249	76.479	39.775	23.522
Summe für 22,5 Jahre:	478.494	172.340	491.606	255.613	144.999
Prozentuale Einsparung:	0%	64%	-3%	47%	70%

1. Intention & Handlungsbedarf
2. Methodik
3. Rahmenbedingungen Fahrzeuge & Netz
4. Untersuchungen & Ergebnisse
- 5. Fazit**

Gutachterlicher Rat zur Technologieentscheidung

Unter Berücksichtigung aller untersuchten Randbedingungen sehen die Gutachter

Oberleitungs-/ Batterie-Hybridfahrzeuge

als die wirtschaftlichste Technologie im Pfalznetz an.

Begründung:

- Technologie kommt wirtschaftlich am weitesten an aktuellen Diesellokomotivbetrieb heran
- für Zeitraum 35 Jahre: **Technologie inkl. Infrastruktur 20 – 60 Mio. €** günstiger als Betrieb mit Neufahrzeugen anderer alternativer Antriebstechnologien
→ aber kostenintensiver als Diesellokomotivbetrieb
- für Zeiträume 22,5 & 35 Jahre: **Technologie ohne Infrastruktur ca. 20 – 55 Mio. €** günstiger als Betrieb mit Neufahrzeugen anderer alternativer Antriebstechnologien
→ aber immer noch ähnlich kostenintensiv wie der Diesellokomotivbetrieb
- **Hohes Wirtschaftlichkeitspotential bei zukünftiger Elektrifizierung** der Strecke Wörth – Neustadt
→ **dann Verkehr im Gesamtnetz kostengünstiger als Diesellokomotivbetrieb**
→ heutiges Flügelkonzept in Landau nach Neustadt & Pirmasens weiterhin möglich



Prof. Dr.-Ing. Arnd Stephan

Telefon: +49 (0) 351 463-36730

Fax: +49 (0) 351 463-36825

E-Mail: arnd.stephan@tu-dresden.de



Dipl.-Ing. Nyascha Thomas Wittemann

Telefon: +49 (0) 351 463-36829

E-Mail: nyascha_thomas.wittemann@tu-dresden.de

Technische Universität Dresden

Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“

Institut für Bahnfahrzeuge und Bahntechnik

Professur für Elektrische Bahnen

01062 Dresden

www.E-Bahnen.de