

BERICHT

Titel:	Wissenschaftliche Bewertung von alternativen, emissionsarmen Antriebskonzepten für den bayerischen SPNV
Kurztitel:	AP C – Mögliche Anwendungstrecken alternativer Antriebskonzepte
Auftraggeber:	Bayerische Eisenbahngesellschaft mbH (BEG) Herr Dr.-Ing. Johann Rieder
Auftragnehmer:	Technische Universität Dresden Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ Institut für Bahnfahrzeuge und Bahntechnik Professur für Elektrische Bahnen
Bearbeiter:	Dipl.-Ing. André Müller
Berichtsnummer:	2017-EB-009
Datum:	Dresden, den 03.11.2017

Freigabe

DATUM	VERSION	ÄNDERUNG/AKTUALISIERUNG
02.08.2017	2017/EB-007	Neuerstellung
03.11.2017	2017/EB-009	Neuerstellung

Erstellt: Dipl.-Ing. André Müller
Datum, Unterschrift

Freigegeben: Prof. Dr.-Ing. Arnd Stephan
Datum, Unterschrift

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
1 Aufgabenstellung und Zielsetzung	6
2 Anwendungsstrecken	7
2.1 Aschaffenburg – Heilbronn: 256 km, 23 % elektrifiziert	8
2.2 Landshut – Bogen: 69 km, 50 % elektrifiziert.....	9
2.3 Ebern – Ebermannstadt: 64 km, 50 % elektrifiziert	11
2.4 Langenneufnach – Schongau: 125 km, 42 % elektrifiziert	12
2.4.1 Weilheim – Schongau: 25 km, 1 % elektrifiziert	13
2.5 München – Bayrischzell: 78 km, 47 % elektrifiziert	15
2.6 München – Lenggries: 67 km, 55 % elektrifiziert	16
2.7 München – Tegernsee: 59 km, 63 % elektrifiziert	17

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 2-1, graphischer Vergleich der Kapitalwerte für unterschiedliche Antriebskonzepte und Betriebsprogramme für die Strecke Aschaffenburg - Heilbronn	9
Abb. 2-2, graphischer Vergleich der Kapitalwerte für unterschiedliche Antriebskonzepte und Betriebsprogramme für die Strecke Landshut - Bogen.....	10
Abb. 2-3, graphischer Vergleich der Kapitalwerte für unterschiedliche Antriebskonzepte und Betriebsprogramme für die Strecke Ebern - Ebermannstadt	11
Abb. 2-4, graphischer Vergleich der Kapitalwerte für unterschiedliche Antriebskonzepte und Betriebsprogramme für die Strecke Langenneufnach – Schongau	13
Abb. 2-5, graphischer Vergleich der Kapitalwerte für unterschiedliche Antriebskonzepte und Betriebsprogramme für die Strecke Weilheim – Schongau	14
Abb. 2-6, graphischer Vergleich der Kapitalwerte für unterschiedliche Antriebskonzepte und Betriebsprogramme für die Strecke München - Bayrischzell	16
Abb. 2-7, graphischer Vergleich der Kapitalwerte für unterschiedliche Antriebskonzepte und Betriebsprogramme für die Strecke München - Lenggries	17
Abb. 2-8, graphischer Vergleich der Kapitalwerte für unterschiedliche Antriebskonzepte und Betriebsprogramme für die Strecke München - Tegernsee.....	18

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1, Ergebnisse der Kapitalwertberechnung Aschaffenburg - Heilbronn.....	8
Tabelle 2-2, Ergebnisse der Kapitalwertberechnung Landshut - Bogen	10
Tabelle 2-3, Ergebnisse der Kapitalwertberechnung Ebern - Ebermannstadt.....	11
Tabelle 2-4, Ergebnisse der Kapitalwertberechnung Langenneufnach - Schongau	12
Tabelle 2-5, Ergebnisse der Kapitalwertberechnung München - Bayrischzell	15
Tabelle 2-6, Ergebnisse der Kapitalwertberechnung München - Lenggries	16
Tabelle 2-7, Ergebnisse der Kapitalwertberechnung München - Tegernsee	17

1 AUFGABENSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

In den Arbeitspaketen A und B wurden gegenwärtige Optionen alternativer Antriebskonzepte und die zugehörigen Umsetzungsanforderungen vorgestellt. Auf Grundlage der erarbeiteten Methodik werden im Folgenden die hybriden- bzw. dualen Antriebskonzepte mit Bezug auf den Einsatz im bayerischen SPNV auf technische, betriebliche und ökonomischen Potenziale analysiert. Gegenstand der Untersuchung sind die nachfolgend aufgeführten Streckenabschnitte, deren betriebliche Einsatzprofile nach Ansicht des Auftraggebers Bayerische Eisenbahngesellschaft mbH BEG besonders repräsentativ für den bayerischen SPNV sind:

- Der viel befahrene 256 km lange, aber nur zu 23 % elektrifizierte Abschnitt von Aschaffenburg nach Heilbronn.
- Die 69 km von Landshut nach Bogen auf denen derzeit zu 50 % eine Oberleitung verfügbar ist.
- Die ebenfalls zu 50 % elektrifizierte und 64 km lange Verbindung von Ebern nach Ebermannstadt.
- Die Strecke von Langenneufnach nach Schongau, die bei einer Gesamtlängen von 125 km zwischen Gessertshausen und Geltendorf über eine 53 km lange Oberleitungsanlage und im weiteren Verlauf noch in Weilheim über ein Stück Oberleitung verfügt – dies ergibt einen Elektrifizierungsgrad von 42 %.
- Die an den 37 km langen voll elektrifizierten Streckenabschnitt von München nach Holzkirchen anschließenden und noch nicht elektrifizierten Teilabschnitte nach
 - Bayrischzell (41 km),
 - Lenggries (30 km)
 - und Tegernsee (22 km).

2 ANWENDUNGSTRECKEN

Gegenüber der Voruntersuchung werden die im Folgenden ermittelten Kapitalwerte auf Wunsch des Auftraggebers unter der Maßgabe einer auf 18 h erhöhten Einsatzdauer berechnet. Zudem wird angenommen, dass der in den mitgelieferten Berechnungen angegebene momentane Streckenelektrifizierungsgrad unverändert bleibt. Da alle zu untersuchenden Streckenabschnitte nur teilelektrifiziert sind, werden die Ergebnisse der Kapitalwertberechnung für den klassischen Elektrotriebzug in den Tabellen und Diagrammen nicht angegeben. Bei Interesse sind die Ergebnisse im Teil B (interner Bericht) des mitgelieferten Anhangs einzusehen. Zeigen die Berechnungen jedoch, dass die ausgeschlossene Streckenelektrifizierung gegenüber den alternativen Antriebskonzepten wirtschaftlich vorteilhaft ist, so wird dies in den Erläuterungen explizit hervorgehoben.

Fahrzeuge mit OL-/ Batterie-hybridem Antriebskonzept können Teilabschnitte ohne Energiebezug aus der Oberleitung - laut Herstellerangaben - zwischen maximal 60 km und 80 km befahren. Jedoch werden dann die mitgeführten Energiespeicher sehr tief entladen. Dies wirkt sich einerseits negativ auf die Lebensdauer der Batterien aus, andererseits ist der Ladevorgang von Akkumulatoren nicht linear. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei niedrigerem „state of charge“ die Zellspannung der Batterie und in Folge die Fähigkeit Energie aufzunehmen, abnimmt (Verlängerung der Ladedauer ist zu erwarten).

Aus diesem Grund wird auf Strecken mit Elektrifizierungslücken von deutlich über 40 km Länge der Einsatz OL-/ Batterie-Hybrider Antriebskonzepte ausgeschlossen. Demzufolge wird dieser Fahrzeugtyp für die Strecke Aschaffenburg – Heilbronn ausgeschlossen, da der OL-freie Abschnitt von 66 km zwischen Königshofen und Crailsheim im äußeren Grenzbereich möglicher Reichweiten (60-80 km) liegt.

In den Arbeitspaketen A und B wird unterstellt, dass auf diesen Fahrzeugen Energiespeicher mit maximal 150 kWh verfügbarer Energie installiert sind und diese einen spezifischen Energieverbrauch von ca. 2,82 kWh/km haben. Diese Zahlen zeigen, dass die oben angegebenen auf Herstellerangaben basierenden maximalen Reichweiten sehr positive Annahmen sind. Denn es gilt:

$$\frac{150 \text{ kWh}}{2,82 \frac{\text{kWh}}{\text{km}}} \approx 53,2 \text{ km}$$

Auf Basis dieser Zahlen können zudem Überschlagsberechnungen bezüglich der Zeiten für Nachladevorgänge durchgeführt werden. Die beim Ladevorgang (ebenso wie beim Entladevorgang) maximal übertragbare Leistung wird durch die C-Rate der Batterie begrenzt. Bei Lithium-Akkumulatoren liegen diese zwischen 2C und 4C laut Herstellerangaben. Überschlagsberechnungen mit bekannten Zwischenkreiskenngrößen ergeben, dass so Nachladeleistungen zwischen 300 kW und 600 kW realisierbar sind. Ist die Batterie komplett entladen, so sind unter Annahme eines linearen (nicht realisierbarer Idealfall) Nachladevorgangs zwischen 15 und 30 Minuten für den Nachladevorgang einzuplanen.

2.1 ASCHAFFENBURG – HEILBRONN: 256 KM, 23 % ELEKTRIFIZIERT

- Um den Betrieb auf dieser 256 km langen Strecke, speziell im 30-Min-Takt sicherstellen zu können, wird ein sehr umfangreicher Fuhrpark benötigt (siehe Tabelle 2-1).
 - hohe Fahrzeugbeschaffungskosten
- Die Folge ist ein verhältnismäßig hohes Verkehrsaufkommen.
 - Einen großen Anteil an den Gesamtkosten machen die Traktionsenergiekosten aus.
- Da Traktionsenergiekosten eines elektrisch betriebenen Triebzugs gegenüber dem Dieselantriebskonzept, aber auch gegenüber hybriden Antriebskonzepten, wesentlich geringer sind, zeigen die Ergebnisse (siehe Anhang B1-2), dass eine Vollelektrifizierung wirtschaftlich am vorteilhaftesten wäre.
- Die erhöhten Investitionskosten für die OL-Infrastruktur amortisieren sich über den Betrachtungszeitraum durch die signifikant günstigeren Traktionsenergiekosten.
- Aufgrund des langen OL-freien Streckenabschnitts zwischen Königshofen und Crailsheim (66 km) wird, wie eingangs erwähnt, der Einsatz von OL-/ Batterie-Hybridtriebzügen ausgeschlossen.
- Nimmt das Verkehrsaufkommen – aufgrund verlängerter Taktzeiten – ab, erscheinen zunehmend die Hybridkonzepte von Vorteil. Im 2-h-Takt zeigt sich der Diesel-/ Batterie-Hybrid (EcoTrain) als kostengünstigste Lösung (siehe Tabelle 2-1 und Abb. 2-1).
- Die gegenüber dem Dieselmotorkonzept und dem OL-/ Diesel-Hybridkonzept günstigeren Traktionsenergiekosten sind Folge der Fähigkeit des Diesel-/ Batterie-Hybrid im OL-freien Abschnitt, die Bremsenergie im mitgeführten Energiespeicher zu speichern.
- Dass der Kostenvorteil des OL-/ Diesel-Hybrid nicht noch deutlicher ausfällt liegt daran, dass der Energiespeicher nach einigen Jahren gewechselt werden muss – abhängig vom Batterienutzungsregime.

Tabelle 2-1, Ergebnisse der Kapitalwertberechnung Aschaffenburg - Heilbronn

Versorgungsart	Kapitalwerte für den RE-Betrieb [Mio €]		
	30-min-Takt	1-h-Takt	2-h-Takt
Benötigter Fuhrpark	19 + 3,23	10 + 1,70	5 + 0,85
Dieseltriebzug	1391.108	732.761	367.013
OL-/ Batterie-Hybrid	0.000	0.000	0.000
OL-/ Diesel-Hybrid	1168.486	620.004	315.291
Diesel-/ Batterie-Hybrid	1142.626	601.130	300.299
H2-/ Batterie-Hybrid	1499.387	791.897	398.846

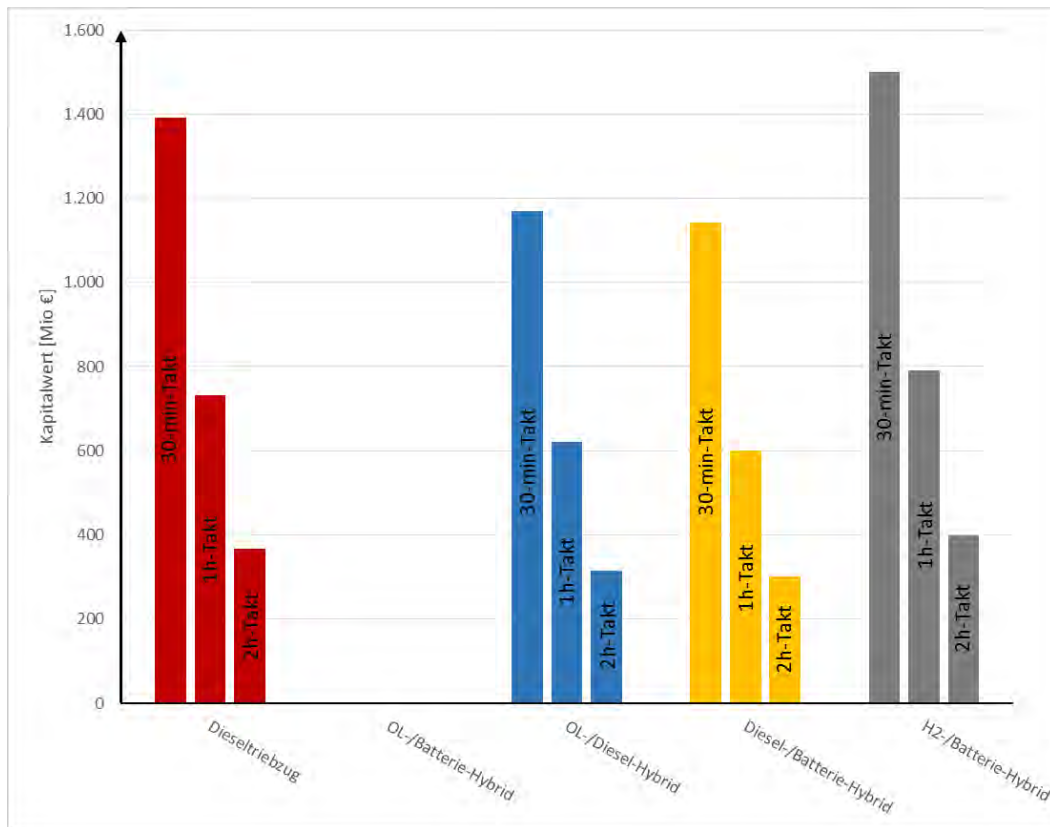


Abb. 2-1, graphischer Vergleich der Kapitalwerte für unterschiedliche Antriebskonzepte und Betriebsprogramme für die Strecke Aschaffenburg - Heilbronn

2.2 LANDSHUT – BOGEN: 69 KM, 50 % ELEKTRIFIZIERT

- Der zu untersuchende Streckenabschnitt ist mit 69 km nicht besonders lang und bereits zu fast 50 % elektrifiziert.
- Die OL-freien Abschnitte befinden sich jeweils auf den letzten Streckenkilometern vor den Endhaltstellen. Diese Abschnitte sind kurz, so dass es möglich ist, diese auf dem Hin- und Rückweg mit der in der Batterie gespeicherten Energie zu befahren.
- Aufgrund der bereits zu einem Großteil elektrifizierten Strecke und der, wie oben erwähnt, geringeren Traktionsenergiekosten der elektrisch angetriebenen Triebzüge erscheinen diese besonders gut für das Einsatzszenario geeignet zu sein.
- Dies bestätigen auch die Zahlen in Anhang B2-2.
 - Bei höchstem Verkehrsaufkommen, bspw. im 30-Min-Takt, erscheint es am günstigsten, den Rest der Strecke auch zu elektrifizieren
- Einerseits ist ohnehin keine Vollelektrifizierung geplant und andererseits zeigen die Ergebnisse in Tabelle 2-2 und Abb. 2-2, dass bei geringeren Takten (1-h- und 2-h-Takt) der Einsatz von OL-/ Batterie-Hybridfahrzeugen günstiger ist als der Einsatz klassischer Elektrotriebzüge und daher empfohlen werden kann.

Tabelle 2-2, Ergebnisse der Kapitalwertberechnung Landshut - Bogen

Versorgungsart	Kapitalwerte für den RE-Betrieb [Mio €]		
	30-min-Takt	1-h-Takt	2-h-Takt
Benötigter Fuhrpark	6 + 1,02	3 + 0,51	2 + 0,34
Dieseltriebzug	387.128	194.196	129.886
OL-/ Batterie-Hybrid	232.936	120.422	82.917
OL-/ Diesel-Hybrid	291.212	148.967	101.552
Diesel-/ Batterie-Hybrid	316.521	157.995	105.153
H2-/ Batterie-Hybrid	430.618	218.207	147.403

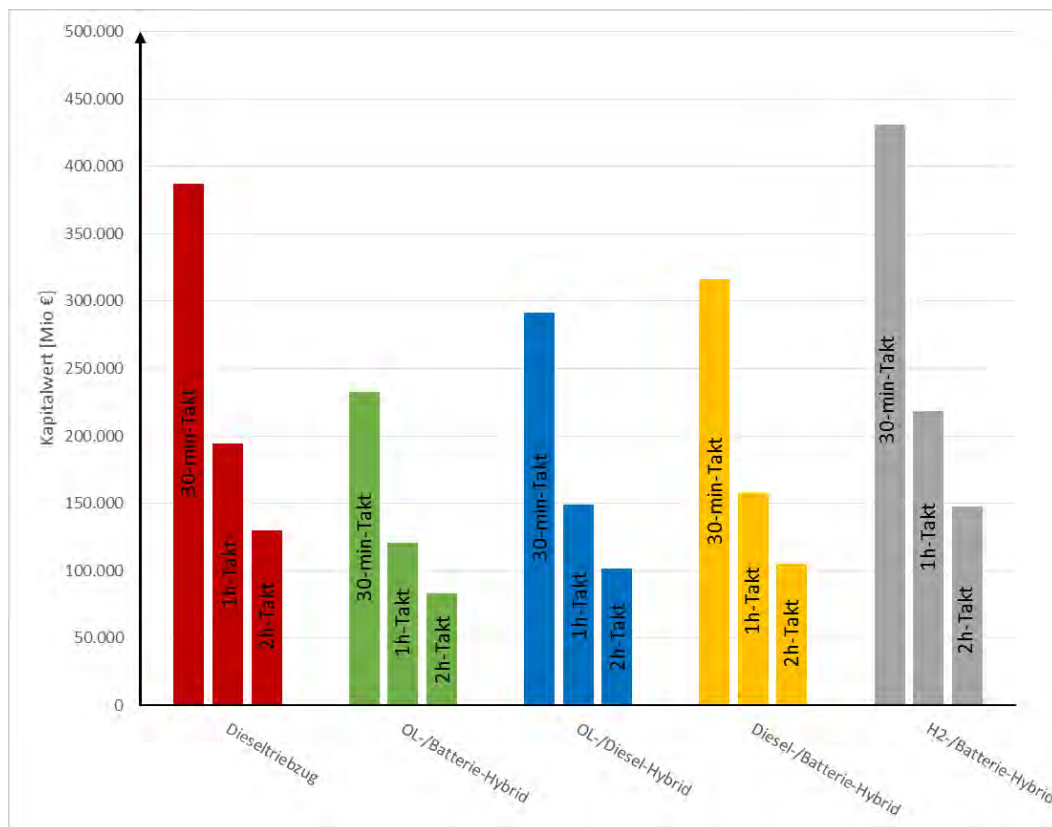


Abb. 2-2, graphischer Vergleich der Kapitalwerte für unterschiedliche Antriebskonzepte und Betriebsprogramme für die Strecke Landshut - Bogen

2.3 EBERN – EBERMANNSTADT: 64 KM, 50 % ELEKTRIFIZIERT

- Ähnliche Randbedingungen wie in Abschnitt 2.2 für die Strecke Landshut – Bogen.
- Daraus ergeben sich die gleichen Schlussfolgerungen und Empfehlungen.

Tabelle 2-3, Ergebnisse der Kapitalwertberechnung Ebern - Ebermannstadt

Versorgungsart	Kapitalwerte für den RE-Betrieb [Mio €]		
	30-min-Takt	1-h-Takt	2-h-Takt
Benötigter Fuhrpark	6 + 1,02	3 + 0,51	2 + 0,34
Dieseltriebzug	382.468	191.867	128.333
OL-/ Batterie-Hybrid	230.602	119.255	82.139
OL-/ Diesel-Hybrid	288.104	147.215	100.252
Diesel-/ Batterie-Hybrid	312.661	156.064	103.866
H2-/ Batterie-Hybrid	426.503	216.150	146.032

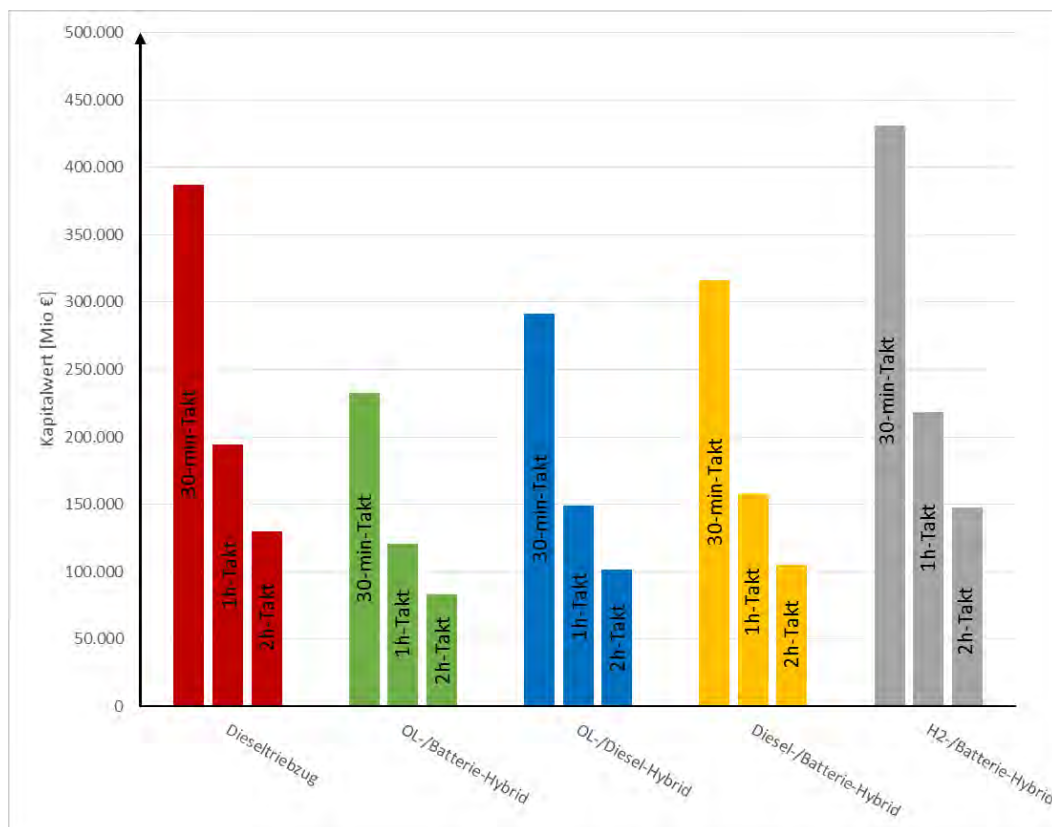


Abb. 2-3, graphischer Vergleich der Kapitalwerte für unterschiedliche Antriebskonzepte und Betriebsprogramme für die Strecke Ebern - Ebermannstadt

2.4 LANGENNEUFNACH – SCHONGAU:125 KM, 42 % ELEKTRIFIZIERT

- Die Streckenlänge entspricht der in Kapitel 3 untersuchten „klinischen Strecke“.
- Aktuell muss auch auf dieser Strecke der Einsatz von OL-/Batterie-hybriden Fahrzeugen ausgeschlossen werden, da der Streckenabschnitt zwischen Geltendorf und Schongau mit 58 km weitestgehend oberleitungsfreier Strecke die eingangs erwähnten 40 km deutlich übersteigt.
- Theoretisch könnten aber nach 35 km oberleitungsfreier Fahrt in Weilheim die Energiespeicher bei ausreichend langer Standzeit nachgeladen werden, da der Bahnhof bereits elektrifiziert ist.
- Jedoch ist eine sinnvolle Integration in das derzeit gefahrene Betriebsprogramm nur schwer vorstellbar und bedürfte einer genaueren Untersuchung, da der Ladevorgang zwischen 20 und 30 Minuten dauern würde.
- Trotzdem werden in Tabelle 2-4 und Abb. 2-4 die Kapitalwerte vergleichend angegeben – unter der Annahme, dass keine Vergrößerung des Fuhrparks bzw. Veränderung des Betriebskonzepts notwendig würde.
- Die berechneten Kapitalwerte in Tabelle 2-4 und Abb. 2-4 zeigen, dass die Antriebskonzepte des dualen OL-/ Diesel-Hybrid und des Diesel-/ Batterie-Hybrid wirtschaftlich am sinnvollsten sind.
- Die Untersuchung ergibt das der OL-/ Diesel-Hybrid wirtschaftlich günstiger erscheint als das Diesel-/ Batterie-Konzept. Dies liegt daran, dass sich für letztgenanntes Konzept ziemlich hohe Kosten für den Austausch der Batterie ergeben, die beim erstgenannten Konzept entfallen.
- Im Rahmen der vorliegenden Studie konnten die Effekte einer möglichen Nachladung in Weilheim nicht untersucht werden. Durch die Nachladung könnten die Traktionsenergiekosten des OL-/ Diesel-Hybrid weiter reduziert und die Haltbarkeit der Batterie positiv beeinflusst werden. Dieser spezielle Anwendungsfall bedarf der Analyse simulationsbasierter Untersuchungen.

Tabelle 2-4, Ergebnisse der Kapitalwertberechnung Langenneufnach - Schongau

Versorgungsart	Kapitalwerte für den RE-Betrieb [Mio €]		
	30-min-Takt	1-h-Takt	2-h-Takt
Benötigter Fuhrpark	10 + 1,70	5 + 0,85	3 + 0,51
Dieseltriebzug	694.754	348.010	209.312
OL-/ Batterie-Hybrid	406.924	206.783	126.727
OL-/ Diesel-Hybrid	536.038	272.803	167.510
Diesel-/ Batterie-Hybrid	569.638	284.553	170.519
H2-/ Batterie-Hybrid	758.330	382.063	231.556

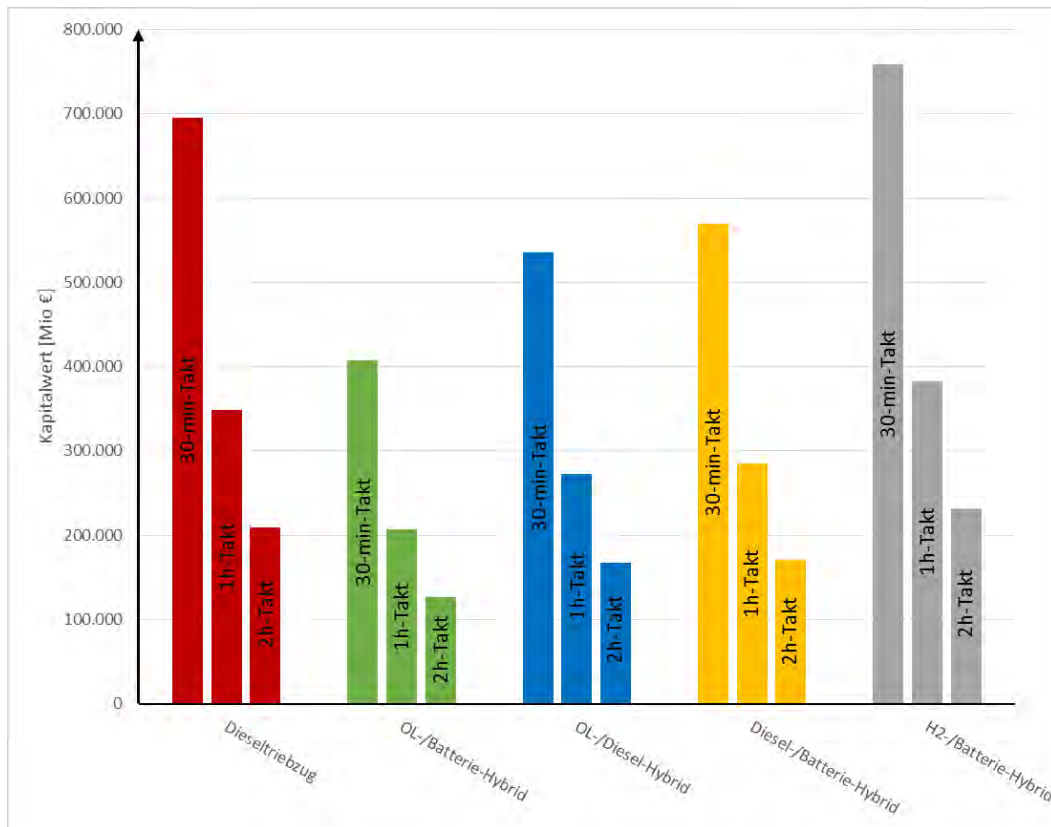


Abb. 2-4, graphischer Vergleich der Kapitalwerte für unterschiedliche Antriebskonzepte und Betriebsprogramme für die Strecke Langenneufnach – Schongau

2.4.1 Weilheim – Schongau: 25 km, 1 % elektrifiziert

- Auch für die Strecke von Weilheim nach Schongau zeigen die Ergebnisse in Tabelle 2-5 und Abb. 2-5 vergleichbare Tendenzen zu den in Abschnitt 2.2 und 2.3 beschriebenen Untersuchungen.
- Da der Bahnhof in Weilheim bereits elektrifiziert ist und der Streckenabschnitt sehr kurz, könnte auf dem Teilstück Weilheim – Schongau auch ein OL-/ Batterie-Hybrid eingesetzt werden – vorausgesetzt, dass am Endhaltepunkt in Schongau eine Ladestation und eine ausreichend lange Wendezeit eingeplant werden.
- Tatsächlich benötigte Nachladezeiten und somit realisierbare Betriebsprogramme erfordern wiederum aufwändigere Simulationsrechnungen, was nicht Bestandteil dieser Untersuchung war.
- Die Ergebnisse zeigen, dass auch der Einsatz von Diesel-/Batterie-Hybridfahrzeugen einen wirtschaftlich deutlich vorteilhaften Betrieb gegenüber dem Betrieb mit aktuellen Dieselantriebskonzepten möglich macht.

Tabelle 2-5, Ergebnisse der Kapitalwertberechnung Weilheim - Schongau

Kapitalwerte für den RE-Betrieb [Mio €]			
Versorgungsart	30-min-Takt	1-h-Takt	2-h-Takt
Benötigter Fuhrpark	3 + 0,51	2 + 0,34	1 + 0,17
Dieseltriebzug	155.928	104.374	52.819
OL-/ Batterie-Hybrid	93.505	62.389	31.274
OL-/ Diesel-Hybrid	154.194	103.231	52.268
Diesel-/ Batterie-Hybrid	126.286	84.013	41.741
H2-/ Batterie-Hybrid	184.410	124.872	65.334

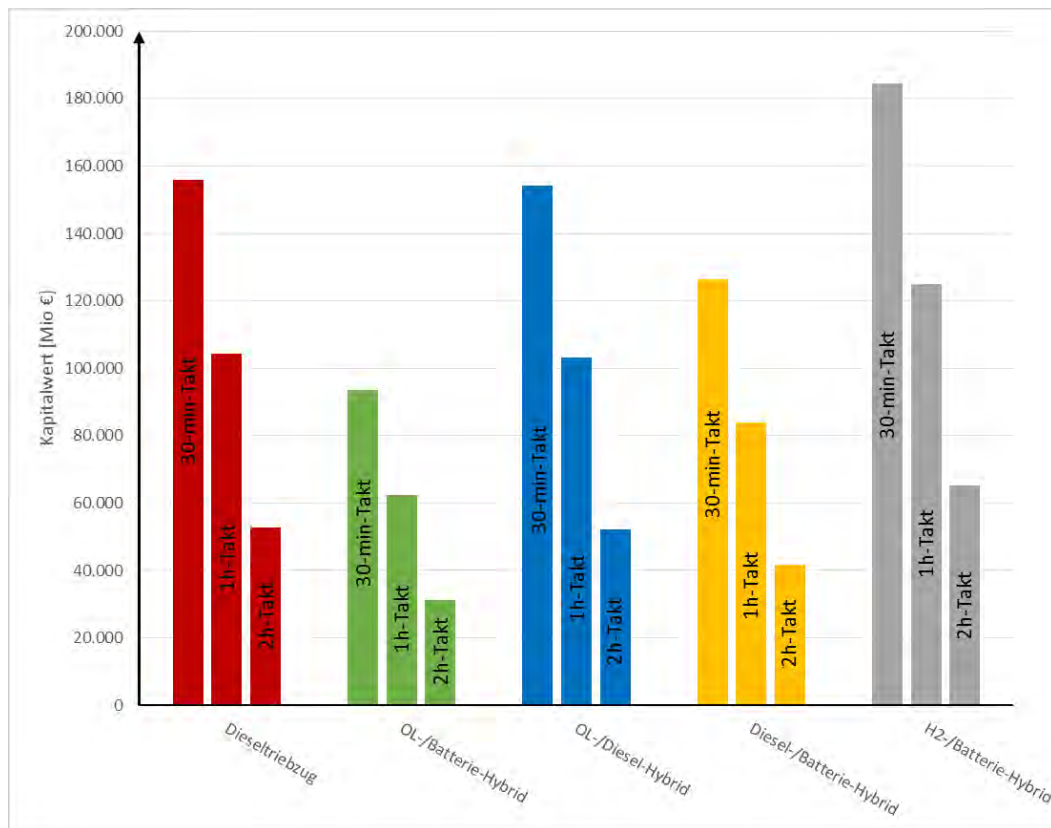


Abb. 2-5, graphischer Vergleich der Kapitalwerte für unterschiedliche Antriebskonzepte und Betriebsprogramme für die Strecke Weilheim – Schongau

2.5 MÜNCHEN – BAYRISCHZELL: 78 KM, 47 % ELEKTRIFIZIERT

- Auch für die Strecke von München nach Bayrischzell zeigen die Ergebnisse in Tabelle 2-5 und Abb. 2-5 vergleichbare Tendenzen zu den in Abschnitt 2.2 und 2.3 beschriebenen Untersuchungen.
- Jedoch verteilt sich der oberleitungsfreie Abschnitt diesmal nicht auf die Abschnitte vor beiden Endhalten, da die 37 Kilometer von München bis Holzkirchen voll elektrifiziert sind.
- Die benötigte Energie zur Überbrückung der 41 Kilometer von Hochkirchen nach Bayrischzell können aus dem Energiespeicher bezogen werden. Doch ist der Betrieb in beide Richtungen nur möglich wenn am Endhaltepunkt in Bayrischzell eine ausreichend lange Wendezeit und eine entsprechende Nachladeinfrastruktur eingeplant werden.
- Tatsächlich benötigte Nachladezeiten und somit realisierbare Betriebsprogramme erfordern wiederum aufwändigere Simulationsrechnungen, was nicht Bestandteil dieser Untersuchung war.
- Die Ergebnisse zeigen aber, dass auch durch den Einsatz von Diesel-/Batterie-hybriden und Diesel-/ OL-hybriden Fahrzeugen ein wirtschaftlich deutlich vorteilhafter Betrieb gegenüber dem Betrieb mit aktuellen Dieselantriebskonzepten möglich ist.

Tabelle 2-6, Ergebnisse der Kapitalwertberechnung München - Bayrischzell

Versorgungsart	Kapitalwerte für den RE-Betrieb [Mio €]		
	30-min-Takt	1-h-Takt	2-h-Takt
Benötigter Fuhrpark	7 + 1,19	4 + 0,68	2 + 0,34
Dieseltriebzug	459.825	263.299	132.282
OL-/ Batterie-Hybrid	274.166	159.852	83.643
OL-/ Diesel-Hybrid	349.642	202.823	104.943
Diesel-/ Batterie-Hybrid	376.313	214.808	107.138
H2-/ Batterie-Hybrid	508.828	293.243	149.520

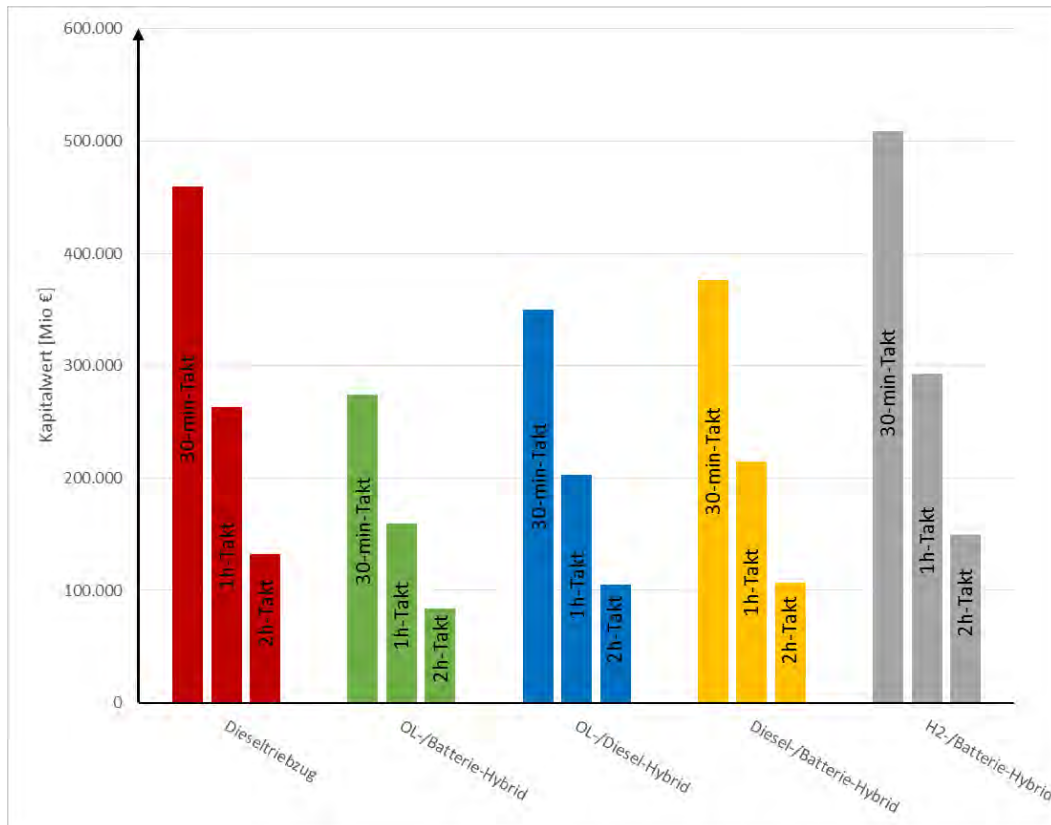


Abb. 2-6, graphischer Vergleich der Kapitalwerte für unterschiedliche Antriebskonzepte und Betriebsprogramme für die Strecke München - Bayrischzell

2.6 MÜNCHEN – LENGGRIES: 67 KM, 55 % ELEKTRIFIZIERT

- Ähnliche Randbedingungen wie in Abschnitt 2.5 für die Strecke München – Bayrischzell (gemeinsamer Streckenabschnitt München-Holzkirchen).
- Daraus ergeben sich die gleichen Schlussfolgerungen und Empfehlungen.

Tabelle 2-7, Ergebnisse der Kapitalwertberechnung München - Lenggries

Versorgungsart	Kapitalwerte für den RE-Betrieb [Mio €]		
	30-min-Takt	1-h-Takt	2-h-Takt
Benötigter Fuhrpark	6 + 1,02	3 + 0,51	2 + 0,34
Dieseltriebzug	385.328	193.297	129.286
OL-/ Batterie-Hybrid	232.825	120.762	83.408
OL-/ Diesel-Hybrid	282.502	144.798	98.896
Diesel-/ Batterie-Hybrid	315.030	157.249	104.656
H2-/ Batterie-Hybrid	429.029	217.412	146.874

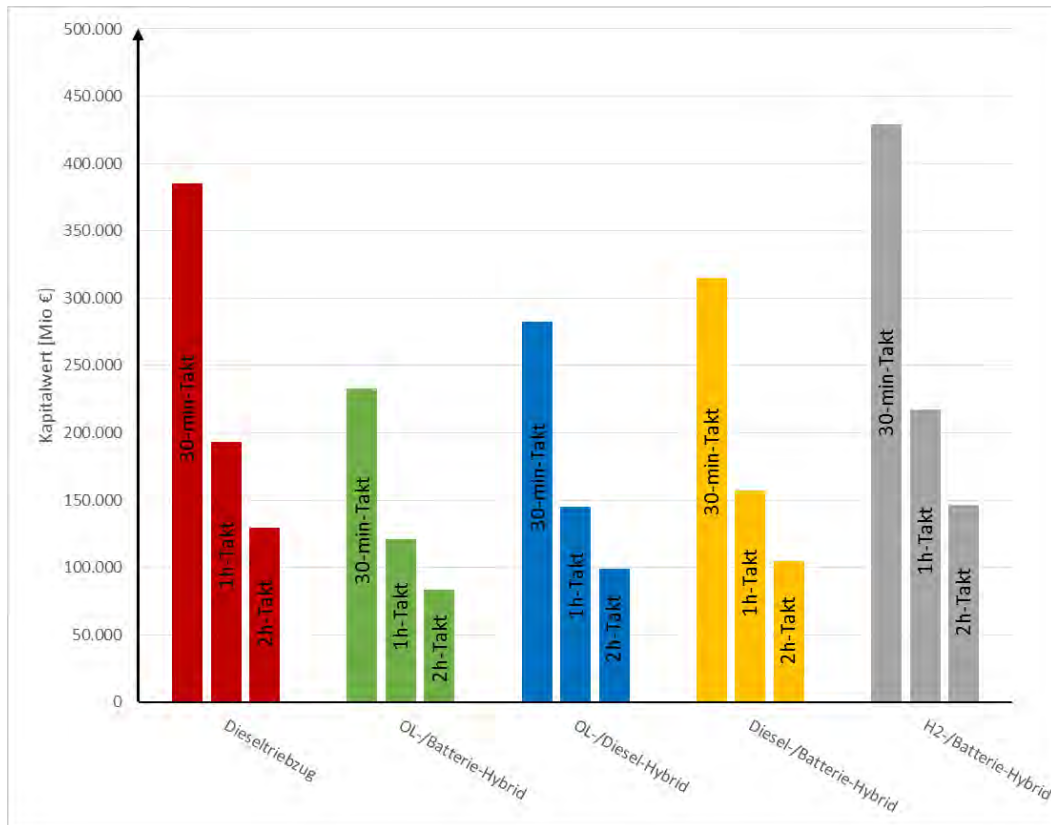


Abb. 2-7, graphischer Vergleich der Kapitalwerte für unterschiedliche Antriebskonzepte und Betriebsprogramme für die Strecke München - Lenggries

2.7 MÜNCHEN – TEGERNSEE: 59 KM, 63 % ELEKTRIFIZIERT

- Ähnliche Randbedingungen wie in Abschnitt 2.5 für die Strecke München – Bayrischzell (gleicher Streckenabschnitt München-Holzkirchen).
- Daraus ergeben sich die gleichen Schlussfolgerungen und Empfehlungen.

Tabelle 2-8, Ergebnisse der Kapitalwertberechnung München - Tegernsee

Versorgungsart	Kapitalwerte für den RE-Betrieb [Mio €]		
	30-min-Takt	1-h-Takt	2-h-Takt
Benötigter Fuhrpark	6 + 1,02	3 + 0,51	2 + 0,34
Dieseltriebzug	377.219	189.242	126.583
OL-/ Batterie-Hybrid	230.029	119.997	83.319
OL-/ Diesel-Hybrid	265.639	136.392	93.309
Diesel-/ Batterie-Hybrid	308.311	153.890	102.416
H2-/ Batterie-Hybrid	421.867	213.832	144.486

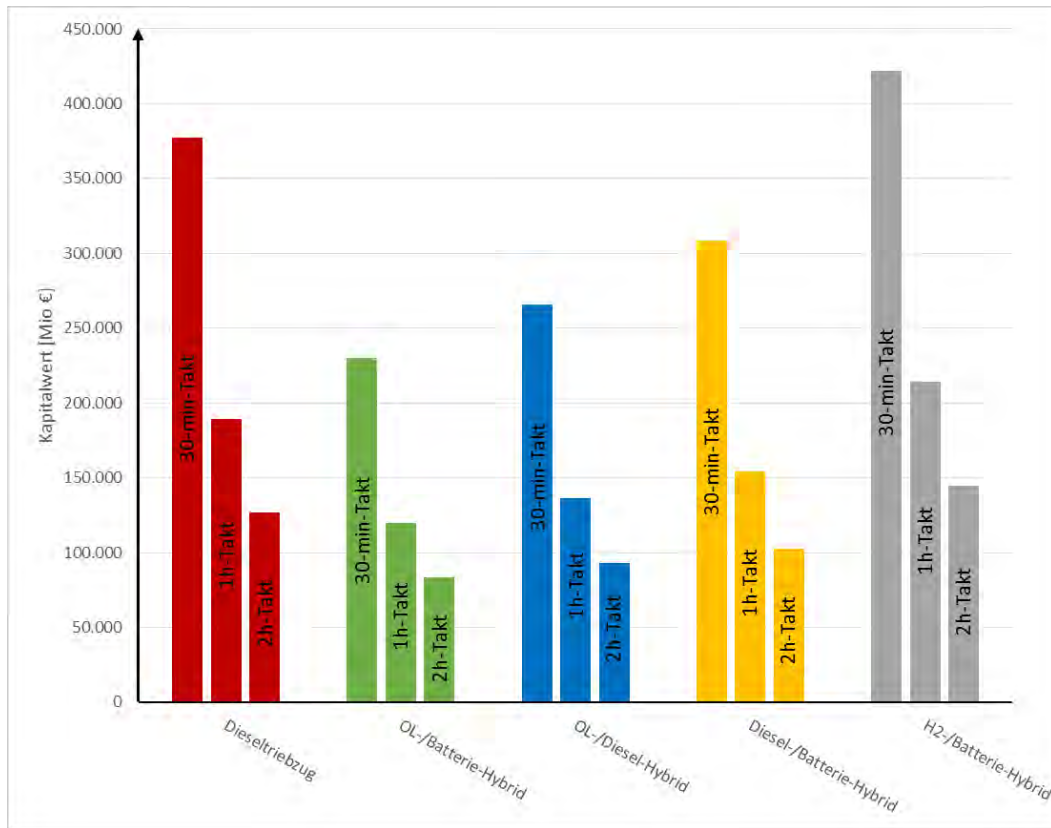


Abb. 2-8, graphischer Vergleich der Kapitalwerte für unterschiedliche Antriebskonzepte und Betriebsprogramme für die Strecke München - Tegernsee

ANHANG

A.1 BERECHNUNGEN ZUR STUDIE AUF BEILIEGENDER CD