Berichts-Nr. Auftragnehmer: 2022-618350-659.0

Untersuchung zu den technischen Voraussetzungen eines Einsatzes von Akkuhybridfahrzeugen im Netz "Bayerwald"

Kurztitel: "Akkuhybridfahrzeuge Bayerwald"

Auftraggeber

Bayerische Eisenbahngesellschaft mbH

Boschetsrieder Straße 69

81379 München



Firmenanschrift: Kompetenzzentrum Hochleistungsbahnen der TU Dresden

c/o IFB Institut für Bahntechnik GmbH

Wiener Straße 114/116

01219 Dresden

Tel.: +49 351 877 59 52 Fax: +49 351 877 59 90 E-Mail: sk@bahntechnik.de

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Arnd Stephan

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Eckert Fritz (IFB)

Dipl.-Ing. Nick Jacob (IFB) B. Eng. Jens Elger (IFB)

Dipl.-Ing. Nyascha Thomas Wittemann (TUD)

Dipl.-Ing. Tobias Bregulla (TUD) M. Sc. Johannes Strohhäcker (TUD)





Änderungsverzeichnis

Datum	Bearbeiter	Änderung
28.06.2022	Wittemann, TUD	Fertigstellung Berichtsentwurf
13.12.2022	Fritz, IFB; Wittemann TUD	Anmerkungen BEG, StMB vom 29.11. und 09.12. 2022 eingearbeitet
19.12.2022	Fritz, IFB; Wittemann TUD	Anmerkungen BEG vom 16.12.2022





Inhalt

Abbildu	ngsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis1		.11
Anlager	nverzeichnis	.13
Manage	Management Summary	
1	Aufgabenstellung und Methodik	.18
2	Wer wir sind	.20
3	Technologiebeschreibung	.21
3.1 3.1.1 3.1.2 3.1.3 3.2 3.2.1 3.2.2	Dieseltriebwagen (Diesel Multiple Unit – DMU) Charakterisierung der Technologie Alternative/ Synthetische Kraftstoffe Fahrzeugbeispiele Dieseltriebwagen Oberleitungs-/Batterie-Hybridtriebwagen (Battery Electric Multiple Unit – BEMU) Charakterisierung der Technologie Funktionsweise Oberleitungs-/ Batterie-Hybridfahrzeuge	.21 .24 e .28 .28
3.2.3 4	Fahrzeugbeispiele Oberleitungs-/Batterie-Hybrid Betrieblich-technische Randbedingungen	
4.1 4.2 4.3 4.4 4.5 5	Untersuchungsraum Fahrplan Elektrische Infrastruktur und zu untersuchende Betriebskonzepte Fahrzeuge Infrastruktur Betrieblich-technische Machbarkeit	.40 .41 .44 .47
5.1 5.2 5.3 5.3.1 5.3.2	Bahnbetriebssimulator OpenTrack	.51 .54 .54
5.3.3 5.3.4 5.3.5	RB 36	.62 .63
5.3.6 5.4 6	Bewertung betriebliche Stabilität	.68





6.1	Ladeinfrastruktur zum einsatz von Beiviu	.69
6.2	Allgemeine Anforderungen für die Elektrifizierung	.70
6.2.1	Grundsatz	.70
6.2.2	Anforderungen der Sicherungstechnik	.70
6.2.3	Anforderungen des Personenschutzes	.71
6.2.4	Anforderungen an Lichtraumprofil, Brücken und Streckenklasse.	.73
6.3	Speisung mit Bahnstrom aus zentralem Bahnstromnetz	.77
6.4	Speisung aus dem Landesnetz	.79
6.4.1	Allgemeine Randbedingungen	.79
6.4.2	Vollumrichterlösung mit 16,7 Hz	.79
6.4.3	Trafolösung mit 50 Hz	.81
6.4.4	Symmetrierumrichterlösung mit 50 Hz	.82
6.5	Teilelektrifizierung als Verlängerung oder Inseloberleitung	.83
7	Ladeinfrastruktur im Bayerwaldnetz	.85
7.1	Untersuchte Infrastrukturvarianten	.85
7.1.1	Ladestationen	
7.1.2	Zusatzelektrifizierung als Anschlusselektrifizierung	
7.1.3	Zusatzelektrifizierung als Oberleitungsinselanlage (OLIA)	
7.1.4	Steckerladung	
7.1.5	Betrieb und Überwachung der Ladeinfrastruktur	
7.2	Auswirkungen des Umbaus auf DSTW in der Zwieseler Spinne	
7.3	Schutzgebietsübersicht	
7.4	Infrastrukturmaßnahme RB 35 Oberleitungsverlängerung Plattlin	
		_
7.4.1	Variante 1: Oberleitung bis vor die Donaubrücke Deggendorf	.92
7.4.2	Variante 2: Oberleitung bis Deggendorf Hbf	.95
7.4.3	Anfrage DB Energie Leistungsreserve Bestands-Uw Plattling	.96
7.5	Infrastrukturmaßnahme RB 35/36/37 OLIA Zwiesel	.97
7.5.1	Übersicht Infrastrukturmaßnahme	.97
7.5.2	Bestimmung des Leistungsbedarfs der OLIA Zwiesel	100
7.5.3	Variante 1: Elektrische Anbindung über Umspannwerk Regen	102
7.5.4	Variante 2: Anbindung über Umspannwerk Zwiesel	104
7.5.5	Brücken westlich Zwiesel und südlich Ludwigsthal	106
7.6	Infrastrukturmaßnahme RB 35 Oberleitungsinselanlage Nyrsko.	108
7.6.1	Verlängerung der Oberleitung ab Klatovy als Alternative?	108
7.6.2	Oberleitungsinselanlage Nyrsko	110
7.7	Infrastrukturmaßnahme RB 36	111
7.7.1	Option 1: Ladestation Grafenau	111
7.7.2	Option 2: Ausbau Oberleitungsinselanlage Zwiesel – Lichtenthal	
		113





10	Zusammenfassung150
9	Rahmenterminplan146
8.5.4	Zusammenfassung Wirtschaftlichkeitsbetrachtung144
8.5.3	Ergebnisse des Kostenvergleichs141
8.5.2	Betrachte Fälle140
8.5.1	Lebenszykluskostenuntersuchungen im Bayerwaldnetz139
8.5	Kostenvergleich DMU vs. BEMU139
8.4	Betriebskostenschätzung138
8.3.2	Anschluss Ladeinfrastruktur beim Verteilnetzbetreiber Bayernwerk
8.3.1	Berücksichtigte Kosten je einzelner Infrastrukturmaßnahme134
8.3	Infrastrukturbezogene Kosten
8.2	Fahrzeugbezogene Kosten
8.1.4	Restwert eines Investitionsgutes
8.1.3	Kapitalwertmethode
8.1.2	Lebenszyklusphasen und Berechnungsmethode
8.1.1	Zielsetzung der LCC-Analyse
8.1	Methodik
8	Kostenermittlung und -vergleich126
7.10.2	Anpassung DB-Regelwerk zum 11.12.2022 – Stand Ende 11/2022123
7.10.1	Einschätzung der Gutachter
7.10	Fahrende Transition oberleitungsgebundener/-loser Betrieb123
7.9	Infrastrukturoption: Dezentrale Ladestation Bayerisch Eisenstein
7.8.3	Stellungnahme der Länderbahn zum Ort der Ladestation der RB 38
7.8.2	Option 2: Ladestation Viechtach
7.8.1	Option 1: Ladestation Gotteszell
7.8	Infrastrukturmalsnahme RB 38114





Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Antriebsstrang dieselmechanisch (Schematisch)	21
Abbildung 2:	Beispiel Bestandsfahrzeug ADtranz/Stadler RegioShuttle RS1	25
Abbildung 3:	Beispiel Neufahrzeug Alstom Lint 54 (BR 622)	26
Abbildung 4:	Antriebsstrang klassischer elektrischer Elektrotriebzug (schematisch)	30
Abbildung 5:	Antriebsstrang Oberleitungs-/Batterie-Hybrid im OL-Betrieb (schematisch) ¹⁴	
Abbildung 6:	Antriebsstrang Oberleitungs-/Batterie-Hybrid im Batteriebetrieb (schematisch) ¹⁴	31
Abbildung 7:	Bsp. Siemens Mireo Plus B für Leistungen in Baden- Württemberg, Rendering	32
Abbildung 8:	Bsp. Erprobungsträger Alstom (ehem. Bombardier) Talent 3	
Abbildung 9:	Bsp. Erprobungsträger Stadler Flirt Akku	34
Abbildung 10): Bsp. Stadler Flirt Akku für Schleswig-Holstein (I.) bzw. Pfalznetz (r.), Rendering	35
Abbildung 11	I: Bsp. Alstom Coradia Continental BEMU für Leistungen im VMS, Rendering	
Abbildung 12	2: BEMU Fahrzeug der Plattform CAF Civity	36
Abbildung 13	3: Untersuchungsraum	39
Abbildung 14	1: Referenzfahrzeiten auf Basis LINT 41 (entsprechend der Leistungsbeschreibung)	41
Abbildung 15	5: angesetztes Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagramm Stadle Akku Flirt	
Abbildung 16	6: Höhen- und Geschwindigkeitsprofil RB 35 Klatovy – Bayerisch Eisenstein	48
Abbildung 17	7: Höhen- und Geschwindigkeitsprofil RB 35 Bayerisch Eisenstein – Plattling	48
Abbildung 18	3: Höhen- und Geschwindigkeitsprofil RB 36 Zwiesel - Grafenau	49





Abbildung 19: Höhen- und Geschwindigkeitsprofil RB 37 Zwiesel – Bodenmais
Abbildung 20: Höhen- und Geschwindigkeitsprofil RB 38 Gotteszell - Viechtach
Abbildung 21: Höhenprofil Gesamtstrecke RB 35 57
Abbildung 22: Übersicht des resultierenden Infrastrukturbedarf für das "Bayerwald" Netz
Abbildung 23: nicht mit der Rückleitung verbundener Beleuchtungsmast, Anschlüsse (Schraubverbindungen) zur Nachrüstung erkennbar
Abbildung 24: Nicht mit der Rückleitung verbundene Bahnsteigmöblierung ⁴¹ 73
Abbildung 25: Geländer ohne Längsverbindung, jedoch mit hierfür vorgesehenen Laschen ⁴¹
Abbildung 26: Bahnsteigdach im Lichtraumprofil des Stromabnehmers ⁴¹ 74
Abbildung 27: beispielhaftes Brückenbauwerk
Abbildung 28: Profilprüfung eines Tunnels mit Maßabschätzung zur Gleisverschiebung ⁴²
Abbildung 29: Beispiele zu prüfender Brücken: genietete Stahlträgerbrücke (oben) bzw. alte Betonbrücke aus den 1930er Jahren (unten)
Abbildung 30: Mast einer 110-kV-Bahnstromleitung 78
Abbildung 31: Beispielhafte Abbildung Bahn-Unterwerk der DB Energie 78
Abbildung 32: Aufbau einer Ladestation mit Vollumrichter zur Erzeugung von 15 kV 16,7 Hz
Abbildung 33: Aufbau einer 15-kV-50-Hz-Ladestation mit Trafolösung ⁴⁶ . 82
Abbildung 34: Aufbau einer 15-kV-50-Hz-Ladestation mit Symmetrierumrichterlösung ⁴⁶
Abbildung 35: Maßnahmenübersicht Ausbau Zwiesel Spinne auf DSTW 89
Abbildung 36: Schutzgebietsübersicht Bayerischer Wald bzw. Böhmerwald (Šumava)
Abbildung 37: Kartendarstellung Oberleitung Plattling – Deggendorf 93





Abbildung 36. Illeunger Fulsgangersteg im Bannsteigbereich Fankoren . 94
Abbildung 39: Donaubrücke Deggendorf mit Waldbahn-Fahrzeugen 96
Abbildung 40: Kartendarstellung der Ladeinsel Zwiesel (rote Kreise = FFH-Gebietsquerung)99
Abbildung 41: Bildfahrplan der Zugkreuzung der Linie RB 35 am Bahnhof Zwiesel mit Darstellung der anschließenden Fahrzeit innerhalb der Ladeinsel101
Abbildung 42: Variante 1 Energieversorgung Ladeinsel Zwiesel in Regen 103
Abbildung 43: Variante 2 Energieversorgung Ladeinsel Zwiesel in Zwiesel105
Abbildung 44: Regen-Brücke ca. bei Bahn-km 119,2 westlich Zwiesel. Länge 131 m 107
Abbildung 45: Regen-Brücke ca. bei Bahn-km 123,2 südlich Ludwigsthal, Länge 126 m ⁶² 107
Abbildung 46: Stahlüberbau Regen-Brücke ca. bei Bahn-km 123,2 südlich Ludwigsthal 108
Abbildung 47: Höhenprofil Gesamtstrecke RB 35
Abbildung 48: Klatovy in Randlage im mit 25 kV 50 Hz elektrifizierten tschechischen Netz (rot)
Abbildung 49: Kartendarstellung der Oberleitungsinselanlage Nyrsko 111
Abbildung 50: Kartendarstellung der Ladestation im Bahnhof Grafenau 112
Abbildung 51: Kartendarstellung der Oberleitungsverlängerung der OLIA Zwiesel bis Lichtenthal113
Abbildung 52: Kartendarstellung Ladestation im Bahnhof Gotteszell 116
Abbildung 53: Kartendarstellung Ladestation im Bahnhof Viechtach 117
Abbildung 54: Kartendarstellung Bahnhof Bayerisch Eisenstein 121
Abbildung 55: Schematische Darstellung der Kapitalwertberechnung in zwei Schritten
Abbildung 56: schematische Betrachtung des Restwertverlaufes 131
Abbildung 57: Ergebnis des Vergleichs der Fälle 1 und 1a ohne Durchbindung bis Klatovy





Abbildung 58: Kostenanteile im Fall 1 der Lebenszykluskosten	142
Abbildung 59: Ergebnis des Vergleichs der Fälle 2, 2a sowie 3 mit Durchbindung bis Klatovy	143
Abbildung 60: Umsetzungsterminplan Elektrifizierung München-Lindau viel Parallelisierung	
Abbildung 61: Rahmenterminplan Oberleitungs(insel)anlagen in Deutschland	147
Abbildung 62: Rahmenterminplan Ladestationen	149





Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ül	bersicht synthetische Kraftstoffe (Beispiele)	24
Tabelle 2: vo	orgegebene Varianten Betriebs- und Nachladekonzepte	43
Tabelle 3: Fa	ahrzeugdaten Stadler Akku Flirt 2-Teiler	46
Tabelle 4: Au	usschnitt Berechnungstabelle RB 35 bis Bayerisch Eisenstei	
Tabelle 5: Ve	ergleich der Sollfahrzeiten und der in OpenTrack (OT) errechneten Fahrzeiten	54
Tabelle 6: Te	echnisch-betriebliche Machbarkeit der vorgegebenen Varianten	55
Tabelle 7: Er	nergiebedarf und SOC-Bilanz RB 35 bis Bayerisch Eisenstei mit OLIA Zwiesel	
Tabelle 8: Er	nergiebedarf und SOC-Bilanz RB 35 bis Klatovy* mit Ladeinsel im Bereich Zwiesel	57
Tabelle 9: Er	nergiebedarf und SOC-Bilanz RB 35 mit OLIA Zwiesel und zusätzlichem Fahrleitungsabschnitt zwischen Plattling und Deggendorf	58
Tabelle 10: E	Energiebedarf und SOC-Bilanz RB 35 bis Klatovy mit zusätzlichem Fahrleitungsabschnitt zwischen Plattling und Deggendorf sowie größerem Fahrzeugenergiespeicher	60
Tabelle 11: E	Energiebedarf und SOC-Bilanz RB 35 bis Klatovy mit OLIA Zwiesel, zusätzlichem Oberleitungs-Abschnitt Plattling – Deggendorf und der OLIA Nyrsko von Dešenice nach Petrovice	61
Tabelle 12: E	Energiebedarf und SOC-Bilanz RB 36 mit OLIA Zwiesel (für RB 36 nur zur Standladung) und Ladestation in Grafenau .	62
Tabelle 13: E	Energiebedarf und SOC-Bilanz RB 36 mit einer OL- Verlängerung zwischen Bf. Zwiesel und Hp Lichtenthal	63
Tabelle 14: E	Energiebedarf und SOC-Bilanz RB 37 mit Oberleitungsinselanlage Zwiesel	64
Tabelle 15: E	Energiebedarf und SOC-Bilanz RB 38 mit Ladestation am Bahnhof Gotteszell	64
Tabelle 16: E	Energiebedarf und SOC-Bilanz RB 38 mit Ladestation am Bahnhof Viechtach	64





Tabelle 17: Übersicht Ladezeiten und Zeitpuffer für Nachladungen bei Verspätungen o.ä
Tabelle 18: Verspätungsanalyse Zeitraum Januar 2018 – Oktober 2021 66
Tabelle 19: resultierende Pünktlichkeitswerte
Tabelle 20: Parameter für die Kapitalwertberechnung
Tabelle 21: Parameter der Restwertbetrachtung
Tabelle 22: angesetzte Kostenkennwerte Fahrzeuge
Tabelle 23: Angesetzte infrastrukturbezogene Kosten
Tabelle 24: Kosten der Anbindung an das Verteilnetz – Baukostenzuschuss
Tabelle 25: Kosten der Anbindung an das Verteilnetz – Verstärkungsmaßnahmen
Tabelle 26: Angenommene Rahmenbedingungen der Betriebskosten 138





Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Bildfahrplan RB 35 Plattling - Bayerisch Eisenstein, 04:00 Uhr – 11:00 Uhr1
Anlage 2: Bildfahrplan RB 35 Plattling - Bayerisch Eisenstein, 11:00 Uhr – 18:00 Uhr2
Anlage 3: Bildfahrplan RB 35 Plattling - Bayerisch Eisenstein, 18:00 Uhr – Ende
Anlage 4: Bildfahrplan RB 36 Zwiesel - Grafenau, 05:00 Uhr – 12:00 Uhr. 4
Anlage 5: Bildfahrplan RB 36 Zwiesel - Grafenau, 12:00 Uhr – 19:00 Uhr. 5
Anlage 6: Bildfahrplan RB 36 Zwiesel - Grafenau, 19:00 Uhr – Ende 6
Anlage 7: Bildfahrplan RB 37 Zwiesel - Bodenmais, 05:00 Uhr – 12:00 Uhr
Anlage 8: Bildfahrplan RB 37 Zwiesel - Bodenmais, 12:00 Uhr – 19:00 Uhr
Anlage 9: Bildfahrplan RB 37 Zwiesel - Bodenmais, 19:00 Uhr – Ende 9
Anlage 10: Bildfahrplan RB 38 Viechtach - Gotteszell, 04:00 Uhr – 11:00 Uhr 10
Anlage 11: Bildfahrplan RB 38 Viechtach - Gotteszell, 11:00 Uhr – 18:00 Uhr11
Anlage 12: Bildfahrplan RB 38 Viechtach - Gotteszell, 18:00 Uhr – Ende 12
Anlage 13: Energiebedarf und SOC-Bilanzen – BEG-Variante 1
Anlage 14: Energiebedarf und SOC-Bilanzen – BEG-Variante 2 14
Anlage 15: Energiebedarf und SOC-Bilanzen – BEG-Variante 3 15
Anlage 16: Energiebedarf und SOC-Bilanzen – BEG-Variante 4 16
Anlage 17: Energiebedarf und SOC-Bilanzen – BEG-Variante 5 17
Anlage 18: Referenzfahrzeugtabelle der DB Netz AG für die Alstom-Lint- Fahrzeugfamilie
Anlage 19: RB 35 Oberleitungsverlängerung ab Plattling Variante 1 bis vor die Donaubrücke Deggendorf





Anlage 20: RB 35 Oberleitungsverlängerung ab Plattling – Bauwerke im Abschnitt Plattling – Deggendorf Hbf20
Anlage 21: RB 35 Oberleitungsverlängerung ab Plattling Variante 2 bis Deggendorf Hbf21
Anlage 22: RB 35/36/37 Oberleitungsinselanlage Zwiesel (Bettmannsäge – Ludwigsthal)
Anlage 23: RB 35/36/37 Oberleitungsinselanlage Zwiesel – Bauwerke im Abschnitt Bettmannsäge – Ludwigsthal23
Anlage 24: RB 35 Oberleitungsinselanlage Nyrsko (Bettmannsäge – Ludwigsthal)24
Anlage 25: RB 36 Variante 1 Ladestation Grafenau25
Anlage 26: RB 36 Variante 2 Ausbau Oberleitungsinselanlage Zwiesel 26
Anlage 27: RB 36 Ausbau Oberleitungsinselanlage Zwiesel – Bauwerke im Abschnitt Zwiesel – Lichtenthal27
Anlage 28: RB 38 Variante 1 Ladestation Gotteszell
Anlage 29: RB 38 Variante 2 Ladestation Viechtach29





Management Summary

Klassische Streckenelektrifizierungen mit Oberleitungen als Alternative zum Dieselbetrieb sind aufgrund der niedrigen Verkehrsleistungen bzw. Nutzungszahlen im Netz Bayerwald derzeit unrealistisch, da es in Bayern weitere nicht elektrifizierte Strecken gibt, die prioritär eine Streckenelektrifizierung mit Oberleitung erhalten sollen. Deshalb prüft die Bayerische Eisenbahngesellschaft (BEG) den Einsatz von Oberleitungs-/ Akku-Hybridfahrzeugen (BEMU – Battery Electric Multiple Unit), die in Plattling und Klatovy die vorhandene Oberleitung zum Wiederaufladen nutzen könnten. BEMU sind Elektrotriebwagen, die um einen elektrochemischen Energiespeicher erweitert wurden und damit auch nicht elektrifizierte Strecken befahren können. In der vorliegenden Studie wird energetischen, infrastrukturellen, welche technischen betrieblichen Randbedingungen für einen Betrieb mit BEMU zu beachten sind. Verschiedene Varianten werden im Vergleich wirtschaftlich bewertet. Hierzu wurden die Kosten für die zusätzlich zu errichtende Ladeinfrastruktur prognostiziert und ein Rahmenterminplan für die Umsetzung der Infrastruktur erarbeitet sowie die Einflüsse der Durchquerung der Schutzgebiete auf Planung und Errichtung abgeschätzt.

Das Bayerwaldnetz ist grundsätzlich mit BEMU-Fahrzeugen zu betreiben. Nach Vorgabe des Auftraggebers wurde dies anhand des Fahrzeuges Flirt Akku der Firma Stadler geprüft. Hierzu sind je nach Betriebskonzept verschiedene Lade-Infrastrukturmaßnahmen notwendig, wobei deren Errichtung den Zeitplan zur Betriebsaufnahme bis Ende 2030 vor große Herausforderungen stellt. Während der Erstellung der Studie wurde die Betriebsaufnahme auf Ende 2034 verschoben. Die gutachterliche Empfehlung lautet deshalb, vor einer Betriebsaufnahme mit BEMU einen Übergangsvertrag für ca. fünf Jahre vorzusehen und in dieser Zeit mit den Bestandsfahrzeugen den Verkehr weiterzuführen.

Folgende Infrastruktur ist für den Linienendpunkt in Bayerisch Eisenstein nötig:

- RB 35: Oberleitungsinselanlage (OLIA) Zwiesel (im Streckenabschnitt Bettmannsäge Ludwigsthal),
- RB 36: Errichtung einer Ladestation in Grafenau,
- RB 37: Mitnutzung der OLIA Zwiesel zur Standladung in Zwiesel,
- RB 38: Errichtung einer Ladestation in Viechtach oder Gotteszell (Standort-Entscheidung durch BEG bei einer möglichen endgültigen Strecken-Reaktivierung).

Zusätzlich wird bei einer Durchbindung bis Klatovy notwendig:

- RB 35: Oberleitungsinselanlage Nyrsko (Dešenice Petrovice n. Úhlavou) in Tschechien
- RB 35: Fahrleitungsverlängerung Plattling Deggendorf (Hbf).

Für die oben unterstellten Infrastrukturmaßnahmen und einem Linienendpunkt in Bayerisch Eisenstein wären für einen BEMU-Betrieb Infrastruktur-Investitionen in Höhe von ca. 31,8 Mio. Euro erforderlich. Für die Ermöglichung einer





Durchbindung bis nach Klatovy wurden weitere 21,5 Mio. Euro für die dafür notwendigen Infrastrukturmaßnahmen ermittelt. Bei der Berechnung der Infrastrukturkosten wurden 20 % Planungskosten bezogen auf das Investitionsvolumen unterstellt. Darin enthalten sind für alle Infrastrukturmaßnahmen unterstellte Planfeststellungsverfahren, da nahezu das gesamte Bayerwaldnetz bis auf die Randbereiche bei Klatovy und Plattling in naturschutzrechtlich teilweise streng geschützten Bereichen liegt. Die notwendige Fahrzeuganzahl beträgt bei einem unterstellten 1-h-Takt ohne Durchbindung nach Klatovy 15 Fahrzeuge inkl. Reserve. Für die Durchbindung nach Klatovy im 2-h-Takt sind es 19 Fahrzeuge. Für 15 kurze (zweiteilige Fahrzeuge mit einer Länge von ca. 46 m. Länge und Jacobs-Drehgestell, ähnlich bspw. Stadler Flirt Akku für Schleswigoder Mireo Plus B für Ortenau-Netz) BEMU wurde Investitionssummer von ca. 83,7 Mio. Euro unterstellt, für 19 kurze BEMU von ca. 106.0 Mio. Euro. Für einen BEMU-Betrieb nur bis Baverisch Eisenstein ohne Verzicht auf Doppeltraktionen und unter Berücksichtigung der Betriebskosten ergaben sich somit vergleichsrelevante Gesamtkosten (ohne Trassen- und Personal) von ca. 267 Mio. Euro, inklusive Durchbindung bis Klatovy steigen diese auf ca. 345 Mio. Euro für eine Betrachtungszeitraum von 30 Jahren.

Die RB 35 ohne Durchbindung bis Klatovy stellt somit die geringere Herausforderung dar und verringert die Infrastrukturkosten deutlich, allerdings würde der Verkehr auf tschechischer Seite voraussichtlich weiterhin mit Dieselfahrzeugen erbracht. Der dargestellte Infrastrukturausbau ermöglicht den Verkehr mit kurzen Stadler Flirt Akku mit einer Länge von 46 m, ist jedoch auch auf andere Fahrzeug-Produkte am Markt übertragbar. Die Prüfung der Fahrplan- und Umlaufkonzepte zeigte, dass der geforderte Fahrplan, der dem Bestands-Betriebskonzept mit RegioShuttles entspricht, auch im Störungsfall gefahren werden kann.

Der Betrieb sollte als Ergebnis der wirtschaftlichen Betrachtung möglichst mit kurzen BEMU (ca. 46 m Länge) durchgeführt werden, wobei auch dann der Betrieb mit BEMU noch wirtschaftlich ungünstiger ist als jener mit Dieselfahrzeugen. Dieser Vorteil des DMU gegenüber BEMU gilt nur bei Kostenansätzen von 1,17 Euro pro Liter Diesel, wie zu Beginn der Untersuchungen angenommen. Bei Dieselbezugskosten von 1,50 bis 1,60 Euro pro Liter und höher und gleichbleibenden Bahnstrombezugskosten von ca. 14 ct/kWh würden BEMU-Fahrzeuge in den untersuchten Szenarien eine höhere Wirtschaftlichkeit als DMU erreichen.

Wenn möglich sind, um die Wirtschaftlichkeit zu verbessern, Optimierungen der Kapazitäten der Fahrten auf der RB 35 und der Umlaufpläne vorzunehmen, sodass Einfach- statt Doppeltraktionen (Fahrzeugbedarf: 17 statt 19) möglich werden. Ggf. wird dies möglich, da die Fahrzeuge des Typs Stadler Flirt Akku (Version für Schleswig-Holstein) je bereits 123 Sitz- und Stehplätze aufweisen, eine Doppeltraktion der Bestandsfahrzeuge vom Typ RegioShuttle demgegenüber je nur ca. 30 Sitz- und Stehplätze mehr. In Abstimmungen im Projektverlauf zeigte sich zudem, dass die heute umgesetzte Sitzplatzanzahl einer Doppeltraktion tendenziell eher überdimensioniert erscheint.





Nicht betrachtet wurde der Ausbau auf die Streckenklasse C2 als Voraussetzung für den BEMU-Betrieb. Die Umsetzung einer Streckenklassenanhebung ist vor Inbetriebnahme neuer Fahrzeuge zwingend erforderlich, da auch zum Ersatz der Bestandsflotte potenziell mögliche Wasserstoff-/ Akku-Hybridfahrzeuge und Diesel-Neufahrzeuge nach aktuellem Stand mindestens eine Anhebung auf Streckenklasse B2, für einen BEMU-Verkehr sogar mindestens auf C2 erfordern. Insbesondere vor dem Hintergrund des Alters der RegioShuttle-Bestandsflotte, das voraussichtlich einen ggf. notwendigen Weiterbetrieb für nur einige wenige Jahre möglich machen würde, ist hier großer Handlungsbedarf zur Streckenklassenanhebung technologieunabhängig notwendig. Die Gutachter empfehlen deshalb eine Anhebung auf Streckenklasse C2, zumal nach Auskunft der BEG die DB Netz AG die drei neu zu errichtenden Brücken im Bayerwaldnetz bereits für die Streckenklasse C2 auslegt. Es ergibt sich ansonsten ggf. nach Ablauf der technischen Nutzungsdauer der RegioShuttle-Fahrzeuge ein Fahrzeugmangel und in Folge die Einstellung des Verkehrs im Netz Bayerwald.





1 Aufgabenstellung und Methodik

Veranlassung

Sowohl in Bayern als auch in Deutschland verkehren die Züge des Fernverkehrs überwiegend auf elektrifizierten Strecken. Im Nahverkehr hingegen werden noch zahlreiche Verkehre mit Dieselfahrzeugen erbracht. Dies stellt allerdings aufgrund der damit verbundenen Schadstoffemissionen ein Hindernis auf dem Weg zum Ziel des Freistaats dar, den Schienenpersonennahverkehr hin zur Emissionsfreiheit zu entwickeln. Aus diesem Grund sollen auf nicht elektrifizierten Strecken sukzessive alternative Antriebe geprüft und langfristig mit den kommenden Neuausschreibungen der Verkehrsverträge eingeführt werden.

Die Bayerische Eisenbahngesellschaft mbH (BEG), hundertprozentige Tochter des Freistaats Bayern, besitzt hierbei eine wichtige Rolle. Als Aufgabenträgerin übernimmt sie die Planung, Finanzierung, Ausschreibung und Bestellung der Verkehrsleistungen. In entsprechenden Wettbewerbsverfahren können sich Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) bewerben und einen Zuschlag erhalten, sofern sie das wirtschaftlichste Angebot eingereicht haben. Durch diese Form der Organisation lassen sich auch emissionsfreie Antriebe fördern. Dies ist ein wichtiger Schritt zur Erreichung der Klimaziele des Freistaats Bayern.

Eine solche Ausschreibung findet im Netz "Bayerwald" mit einer geplanten Inbetriebnahme im Jahr 2034 statt. Hierbei besteht die Vorgabe der BEG, Akkuhybridfahrzeuge (BEMU) einzusetzen, wenn dies technisch und wirtschaftlich machbar ist. Diese können sowohl unter der Fahrleitung als auch im Batteriemodus verkehren. Zur Nachladung ist allerdings eine entsprechende Infrastruktur erforderlich, deren zeitliche Nutzbarkeit sich auch aus betrieblichen Rahmenbedingungen heraus ergeben. Daher werden in dieser Untersuchung vorgegebene Betriebskonzepte auf ihre jeweilige Machbarkeit hin geprüft und auch hinsichtlich ihres Verhaltens im Störfall bewertet.

Stand der Technik

Auf elektrifizierten Strecken sind leistungsstarke, effiziente und instandhaltungsarme elektrische Fahrzeugantriebe mit stromrichtergespeisten Drehstrommotoren seit vielen Jahren Standard. Die klassische Streckenelektrifizierung mit Oberleitungen lohnt sich wirtschaftlich jedoch erst ab Verkehrsleistungen über circa 10 Mio. Bruttotonnen (Fahrzeug + Transportgut bzw. Personen) pro Jahr. Auf nichtelektrifizierten Strecken dominieren im Leistungsbereich bis ca. 1 MW aktuell dieselmechanische und dieselhydraulische Antriebe die Fahrzeugflotten. Für höhere Leistungen bis 2,5 MW haben sich insbesondere bei Lokomotiven dieselelektrische Antriebe etabliert. Hauptgrund für den Einsatz von Dieselfahrzeugen sind die deutlich reduzierten Infrastrukturkosten. Die geringeren Leistungsanforderungen erlauben dabei betrieblich akzeptable Reichweiten.

Verbrennungsantriebe sind jedoch mit hohen CO₂- sowie lokalen Schadstoff- und Lärmemissionen behaftet. Zudem kostet, von kurzfristigen geopolitisch bedingten





Schwankungen abgesehen, die Traktionsenergie am Rad bei Dieselbetrieb mehr als das Doppelte gegenüber dem elektrischen Betrieb, was trotz ähnlichen Beschaffungskosten pro Kilowattstunde am deutlich höheren Wirkungsgrad des elektrischen Antriebs mit Versorgung aus der Oberleitung liegt. Darüber hinaus bieten elektrische Traktionsantriebe auch ohne Oberleitung aber in Kombination mit Energiespeichern grundsätzlich die Möglichkeit der Rekuperation von Bremsenergie. Ebenso eröffnen diese Antriebe durch ihre lokale Emissionsfreiheit Fahrten in Gebieten mit hohen Abgas- oder Lärmschutz-anforderungen sowie in Tunneln.

Abgrenzung der Untersuchung

Klassische Streckenelektrifizierungen mit Oberleitungen als Alternative zum Dieselbetrieb Iohnen sich aufgrund der niedrigen Verkehrsleistungen im Netz Bayerwald voraussichtlich nicht. Deshalb setzt die Bayerische Eisenbahngesellschaft (BEG) hier auf den Einsatz von Oberleitungs-/Batterie-Hybridfahrzeugen (BEMU), die in Plattling und Klatovy die vorhandene Oberleitungsinfrastruktur sowie zusätzlich zu errichtende Infrastruktur im Netz zum wiederaufladen der Fahrzeugenergiespeicher nutzen können.

Die vorliegende Studie untersucht, welche energetischen, technischen und betrieblichen Randbedingungen für einen Betrieb mit BEMU zu beachten sind und bewertet verschiedene Varianten im Vergleich wirtschaftlich. Hierzu werden die Kosten für die zu errichtende Ladeinfrastruktur prognostiziert sowie die Einflüsse auf Planung und Errichtung bei der Durchquerung der Schutzgebiete abgeschätzt.

Sowohl technisch als auch wirtschaftlich werden die Einflüsse des BEMU-Einsatzes auf die konstruktiven Ingenieurbauwerke sowie den Oberbau (Stichwort: Streckenklassenanhebung von Streckenklasse A auf mindestens C2) **nicht** betrachtet. Die muss Teil weiterer laufender und zukünftiger Untersuchungen durch den Netzbetreiber DB Netz sein.

Hinweis:

Im Rahmen dieser Studie wird der Begriff "Batterie", der allgemein nur einen nicht wieder aufladbaren chemischen Energiespeicher beschreibt, entsprechend allgemeiner Gepflogenheiten als Synonym für den wieder aufladbaren "Akkumulator/Akku" verwendet.

BEMU Bayerwald Seite 19 von 181 Stand: 19.12.2022





2 Wer wir sind

Das Projekt "Untersuchung zu den technischen Voraussetzungen eines Einsatzes von Akkuhybridfahrzeugen im Netz Bayerwald" wird vom Kompetenzzentrum Hochleistungsbahnen der TU Dresden, bestehend aus der Institut für Bahntechnik GmbH sowie der der TU Dresden, Professur Elektrische Bahnen, bearbeitet.

Das **IFB Institut für Bahntechnik** GmbH bietet als spezialisiertes Ingenieurunternehmen vielfältige Dienstleistungen in der Beratung, Planung, Projektierung, Forschung und Entwicklung für moderne Bahnsysteme an. Die Denk- und Arbeitsweise der über 40 Experten aus den Bereichen Fahrzeug-, Antriebs-, Energie-, Sicherungs- und Leittechnik sowie Planung und Projektmanagement ist stark interdisziplinär. Mit einem hohen Anspruch an die Ergebnisqualität und die Flexibilität bei der Projektrealisierung hat das IFB seit 35 Jahren nicht nur eine stabile Geschäftsentwicklung erreicht, sondern sich auch einen exzellenten Ruf bei den Auftraggebern erarbeitet. Das IFB ist an zwei Standorten – Berlin und Dresden – vertreten. Die vom IFB angebotenen Dienstleistungen sind sowohl national als auch zunehmend international ausgerichtet.

Die exklusive Gesellschafterstruktur des IFB, ergänzt durch zwei Universitätskooperationen in Berlin und Dresden, sichert dem IFB eine gute Vernetzung in der Branche, ein hohes Maß an Neutralität und eine hervorragende Innovationsfähigkeit.

Die angebotenen wissenschaftlichen Arbeiten liegen in der Kernkompetenz der Professur für Elektrische Bahnen der **TU Dresden**. Für verschiedene Aufgabenträger des SPNV, unter anderem in Rheinland-Pfalz (ZSPNV RLP Süd), Bayern (BEG), Hessen (RMV), Mecklenburg-Vorpommern (VMV/MEID) und Sachsen (VVO/ZVON) wurden bereits vergleichbare Untersuchungen durchgeführt. Die vorgesehenen Bearbeiter haben sich im Rahmen dieser zahlreichen Projekte auf derartige Untersuchungen spezialisiert.

Lehre und Forschung der Professur auf dem Gebiet der elektrischen Verkehrssysteme haben eine langjährige Tradition. Arbeitsschwerpunkte sind u. a. die Fahrdynamik, Antriebstechnik und Leistungssteuerung elektrischer Fahrzeuge, der Leistungs- und Energiebedarf elektrischer Verkehrssysteme sowie die Gestaltung und Auslegung der elektrischen Energieversorgungsanlagen. Aktuell prägen vor allem Hybridfahrzeuge mit alternativen Antriebs- und Energieversorgungskonzepte das Forschungs- und Dienstleistungsprofil. Hierzu zählen auch Lebenszykluskosten-Untersuchungen zur Elektrifizierungswürdigkeit.

Für viele der o. g. Themenfelder werden moderne Simulations- und Analysewerkzeuge genutzt. Die Professur verfügt über eine umfangreiche eigene Labor- und Messausstattung, die auch im Dienstleistungsangebot für Weiterbildungen und (Feld-) Messungen genutzt wird.





3 Technologiebeschreibung

3.1 Dieseltriebwagen (Diesel Multiple Unit – DMU)

3.1.1 Charakterisierung der Technologie

Klassische Dieseltriebwagen mit geringer Leistung (bis ca. 1,2 MW) stellen den Stand der Technik im Nahverkehr auf Nebenbahnen dar. Betrieblich bietet die Technologie einige Vorteile: hohe Reichweiten von ca. 500 bis 1000 km zwischen dem Tanken und eine flächendeckend vorhandene, technologisch einfache und kostengünstige Tankinfrastruktur ermöglichen einen flexiblen Einsatz auf allen Strecken. Dies gilt auch bei Veränderungen im Liniennetz, bei einer Umsetzung in andere Netze aufgrund von Betreiberwechseln sowie für Umleitungen/Linienkürzungen bei Baustellen.

Dieselfahrzeuge verfügen über meist mehrere kompakte und als gesamte Einheit schnell austauschbare Traktionsanlagen bestehend aus Motor, Getriebe, Kühlung, Abgasnachbehandlung, Hilfsbetriebeversorgung, ggf. Retarder etc., die in sogenannten PowerPacks zusammengefasst sind. Die technologisch einfache Umsetzung des Antriebes im Fahrzeug ermöglicht(e) es außerdem, kurze und leichte Fahrzeuge (bspw. Lint 27, 41 bzw. 54 von Alstom, Itino von Bombardier oder Regio-Shuttle von Stadler) zu bauen sowie niedrige Streckenklassen zu befahren. Besonders auf Nebenbahnen sind die Streckenklassen A (Radsatzlast < 16 t/Radsatz. im Baverwald östlich von Gotteszell vorherrschend und maßgebend¹) und B (Radsatzlast < 18 t/Radsatz) anzutreffen. Kurze Fahrzeuge mit geringer Sitzplatzkapazität können vor allem auf wenig ausgelasteten Strecken die Betriebskosten niedrig halten. Die geringe Masse und der daraus folgend niedrigere Energiebedarf sowie die geringere Anzahl an Drehgestellen und Traktionsanlagen (günstigere Instandhaltung) führen im Vergleich zu längeren Fahrzeugen zu geringeren Betriebskosten. Zudem können kurze Bahnsteiglängen bedient werden.



Abbildung 1: Antriebsstrang dieselmechanisch (Schematisch)²

https://geovdbn.deutschebahn.com/isr [Zugriff im April 2022]

² Grafik: Wittemann, TU Dresden





Traktion

Die Traktionsenergie wird vom Dieselmotor über einen rein mechanischen oder hydromechanischen mit Anfahrwandler (in Einzelfällen auch elektrischen) Antriebsstrang zum Rad übertragen.

Bremsen

Die Bremsenergie wird durch Retarder (in Einzelfällen bei elektrischem Antriebsstrang auch in Bremswiderständen) verschleißfrei in Wärme gewandelt bzw. durch mechanische Bremsen aufgebracht. Die Wiederverwendung der Bremsenergie durch Speicherung ist nicht möglich.

Umweltaspekte

Größter Nachteil des Dieselantriebs sind die unmittelbaren Emissionen von Schadstoffen wie Stickoxiden (NOx) und Kleinstpartikeln (Feinstaub/ PM) sowie des klimaschädlichen Gases CO₂. Werden Neufahrzeuge in Betrieb genommen, so müssen diese seit 2019 den EU- Emissionsstandard Stage V erfüllen³. Dieser reduziert die Schadstoffemissionen erheblich verglichen mit Fahrzeugen mit Einsatzbeginn vor 1999 (Gültigkeitsbeginn des Emissionsstandards Stage 1).

Die Emission von CO₂ ist jedoch ausschließlich von der Verbrauchsmenge des Kraftstoffs abhängig. In diesem Bereich sind bei heutigen Dieselmotoren bereits nahezu alle physikalischen Grenzen ausgeschöpft, es kann deshalb allenfalls von einer begrenzten Reduzierung der CO₂-Emissionen durch den Einsatz von Neufahrzeugen ausgegangen werden.

Hinzu kommen erhebliche Schallemissionen, vor allem im Beschleunigungsvorgang. Verursacht werden diese durch erhöhte Drehzahlen der Dieselmotoren. Aber auch im Stillstand werden die tieffrequenten Motorengeräusche gegebenenfalls als störend wahrgenommen; ein Abschalten der Motoren ist aber häufig wegen der weiter notwendigen Heizung/Klimatisierung nicht möglich.

3.1.2 Alternative/ Synthetische Kraftstoffe

Aktuell wird in Dieseltriebfahrzeugen nahezu ausschließlich fossiler Dieselkraftstoff eingesetzt⁴. Die Beimischung von Biodiesel ist aufgrund zahlreicher Auswirkungen auf den Kraftstoff selbst, die Verbrennung sowie Teile des Motors und der Versorgungseinrichtungen nur begrenzt möglich. Da sich dadurch allenfalls eine Reduktion der CO₂ Emissionen, nicht jedoch eine vollständige Neutralität ergibt, ist eine ausschließliche Beimischung von Biokraftstoffen oder synthetischen Kraftstoffen nicht zweckmäßig.

³ https://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php. [Zugriff am 20 Mai 2022].

⁴ https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/343542/ [Zugriff am 20. Mai 2022]





Größere Relevanz könnten flüssige Kraftstoffe erreichen, die auf Basis von Power-to-X-Verfahren erzeugt werden. Diese ermöglichen die strombasierte Herstellung von Kraftstoffen und stellen einen möglichen Pfad der Sektorenkopplung zwischen erneuerbarer Energieerzeugung und dem Verkehrssektor dar. Eine bereits angewandte Variante ist hierbei die Elektrolyse zur Erzeugung von Wasserstoff. Durch weitere Verfahren können aus diesem gasförmigen Stoff auch flüssige Kraftstoffe synthetisiert werden (Power-to-Liquid (PtL)/Power-to-Fuels)⁵. Flüssige Kraftstoffe bieten gegenüber gasförmigem Wasserstoff den Vorteil der leichteren Handhabbarkeit im Betrieb und eine Speicherung auf dem Fahrzeug ohne Druckbehälter. Durch die geringen Prozesswirkungsgrade der Herstellung und der anschließenden Verbrennung im Dieselmotor ist der Gesamtwirkungsgrad sehr niedrig (<< 25 %), so dass dies nur eine sinnvolle Anwendung bei Sektorenkopplung mit klimaneutral erzeugter elektrischer Energie eine sinnvolle Anwendung finden kann. Größte Herausforderung sind die geringen aktuell am Markt verfügbaren Kraftstoffmengen, die einen regulären Einsatz erheblich verteuern.

Alternativ angetriebene Fahrzeuge sind aktuell noch nicht in der Lage, alle Leistungsklassen des heutigen Dieselverkehrs gleichwertig zu ersetzen bzw. sind entsprechende Produkte am Markt (noch) nicht verfügbar oder nur mit hohem technischem Aufwand und damit verbundenen hohen Kosten umsetzbar. Dies gilt insbesondere für Fahrzeuge besonders hoher Leistung (bspw. Neigetechnikfahrzeuge) sowie für sehr kleine Gefäßgrößen (z. B. RegioShuttle, wie sie im Netz Bayerwald zum Einsatz kommen), da die Speichermedien zusätzliches Volumen und hohe zusätzliche Massen auf die Fahrzeuge bringen. Beide Fahrzeuggrößen am Rande des Typenspektrums sind aktuell zudem von keinem Hersteller mehr im (bekannten verfügbaren) Lieferangebot, vor allem aufgrund gestiegener normativer Anforderungen seit den letzten Serienlieferungen. Seit dem Ende der RegioShuttle-Fertigung gibt es keine in Deutschland marktgängigen einteiligen Nahverkehrsfahrzeuge mehr. Kleinste kurzfristig verfügbare Einheit bildet aktuell der Fahrzeugtyp Lint 41 von Alstom mit einer um knapp 70 % größeren Länge über Puffer/Kupplung.

Aktuell erprobt die Deutsche Bahn AG deshalb in verschiedenen Diesel-Fahrzeugen unterschiedliche Arten synthetischen Kraftstoffs. Es besteht dabei die Hoffnung, den alten Fahrzeuggenerationen einen Teil ihrer technologisch bedingten Emissionen abzunehmen und diese noch einige Jahre weiter zu Betreiben. Für die Anwendung dieser Kraftstoffe gilt weiterhin, dass diese nicht vollständig CO₂-neutral sind und für eine rußarme Anwendung ein Rußpartikelfilter nachgerüstet werden muss. Auch ein SCR-Katalysator zur NO_x-Reduktion ist für eine bessere Umweltbilanz zu empfehlen bzw. ggf. notwendig.

Die Kraftstoffe haben verschiedene Eigenschaften. Teilweise erfüllen diese noch die einschlägige Norm für Dieselkraftstoff, bestehen jedoch bereits teilweise aus pflanzlichen Rohstoffen (Beispiel Shell R33 aus 33 % regenerativen Rohstoffen).

⁵ https://www.energieagentur.nrw/tool/sektorenkopplung/information/power-to-x/power-to-gas-power-to-liquid.php [Zugriff am 19. Mai 2020]





Es werden jedoch auch Kraftstoffe rein aus hydrierten Pflanzenfetten hergestellt (Beispiel HVO – Hydrotreated Vegetable Oils). Diese weisen eine deutliche höhere CO₂-Reduktion auf, die Verträglichkeit mit den vorhandenen Motoren, insbesondere mit Kunststoffbestandteilen, muss jedoch detailliert geprüft werden.

Neben der CO₂-Reduktion kann es auch das Ziel sein, ausschließlich eine sauberere Verbrennung zu erreichen. Für diesen Einsatzfall können Gas-to-Liquid-Kraftstoffe, die aus umgewandeltem Erdgas gewonnen werden, genutzt werden.

Eine knappe Übersicht der CO₂-Emisionen (ungefähre Werte) sowie der erwarteten Kosten pro Liter als Beispiel ausgewählter Kraftstoffe bietet die folgende Tabelle:

Tabelle 1: Übersicht synthetische Kraftstoffe (Beispiele)⁶

Тур	Klassischer Diesel	Shell R33	HVO- Kraftstoff*
CO ₂ -Emission pro I inkl. Erzeugung & ggf. Mehrverbrauch	ca. 3.160 g/l	ca. 2.500 g/l	ca. 40 g/l
Reduktion in % inkl. ggf. Mehrverbrauch	-	ca. 22 %	ca. 87 %
Prozentuale Kostenerhöhung	100 %	ca. 30 %	ca. 50 %
Bemerkung	-	Mehrverbrauch ca. 4 %	Mehrverbrauch ca. 5 %

^{*}Hydrogenated Vegetable Oil (HVO)/Pflanzenöl

3.1.3 Fahrzeugbeispiele Dieseltriebwagen

ADtranz/Stadler RegioShuttle RS 1 BR 650

Die Fahrzeuge des Typs RegioShuttle RS1 des Herstellers Stadler (bzw. ursprünglich Adtranz) sind Einteiler mit bis zu 100 Sitzplätzen (Waldbahn 77⁷). Die kurze Länge von ca. 25 m und die geringe Masse ermöglichen einen kostengünstigen Betrieb auf Linien mit geringer Nachfrage. Deshalb wurden 497 Fahrzeuge für diverse Nebenbahnen in Deutschland und der Tschechischen Republik beschafft⁸. Die RegioShuttle-Fahrzeuge der Länderbahn als Betreiberin der

BEMU Bayerwald Seite 24 von 181 Stand: 19.12.2022

⁶ Quelle: Datenbank der Professur für Elektrische Bahnen

⁷ https://www.laenderbahn.com/media/laenderbahn/downloads/waldbahn/5-Ueber-Uns/waldbahn-Fahrzeugflotte/Datenblatt_Waldbahn_web_2.pdf [Zugriff im April 2022]

⁸https://www.tagblatt.ch/wirtschaft/stadler-in-zahlen-vom-kmu-zum-weltkonzern-mit-8000-mitarbeitern-ld.1076347 [Abgerufen am 19. Mai 2020]





Waldbahn wurden 1996 und 1997⁹ in Dienst gestellt und stellen die aktuellen Fahrzeuge auf den betrachteten Linien im Bayerwaldnetz dar. Grundsätzlich ist für diese Fahrzeuge eine Lebensdauer von ca. 25 - 30 Jahren zu erwarten, insbesondere nach einem Redesign bzw. einer Auffrischung zur Neuvergabe im Jahr 2013. Ein Einsatz für noch eine weitere Hauptuntersuchungsperiode (8 Jahre) nach 2030 ist technisch voraussichtlich umsetzbar, jedoch sind die dann 33 bis 34 Jahre alten Fahrzeuge technisch-wirtschaftlich dann bereits über ihrer ursprünglich prognostizierten Lebensdauer, sodass nach Daten der Professur für Elektrische Bahnen der TU Dresden mit einem niedrigen sechsstelligen, zusätzlich zur HU auftretenden Betrag pro Fahrzeug zum Weiterbetrieb zu rechnen ist, um technisch verschlissene oder/und obsolete Komponenten aufarbeiten oder gegen Substitute austauschen zu können.



Abbildung 2: Beispiel Bestandsfahrzeug ADtranz/Stadler RegioShuttle RS1¹⁰

Alstom Lint 41 BR 648, BR 623 bzw. Lint 54 BR 622 sowie Pesa Link

Neufahrzeuge in klassischer Dieseltriebwagentechnik sind weiterhin beziehbar. Auf dem deutschen Markt bieten aktuell Alstom mit der Lint-Fahrzeugplattform (Lint 41, 54 und 81, wobei die Zahl für die ungefähre Fahrzeuglänge steht) sowie Pesa mit der Link-Plattform solche Triebwagen in (ein-)/zwei- bis dreiteiliger Ausführung an. Die Sitzplatzanzahl variiert dabei zwischen 120 – 180 (Zweiteiler mit drei/vier Drehgestellen) bis ca. 300 (Dreiteiler). Sie erfüllen die aktuellen Emissionsstandards, die für eine Zulassung in Deutschland Voraussetzung sind (EU Standard Stage V). Die üblichen Komfortmerkmale wie Klimaanlage und W-LAN moderner Schienenfahrzeuge sind vorhanden.

Einteilige Fahrzeuge in der Größe des RegioShuttle (ca. 70 Sitzplätze) sind seit vielen Jahren nicht mehr bestellt bzw. geliefert worden, vom Pesa Link wurde nur ein Prototypfahrzeug gebaut. Größte Hürde sind dabei die verschärften normativen Anforderungen hinsichtlich Crash-Festigkeiten, die höhere Radsatzlasten bedingen und Fahrzeuge dieser Länge technisch komplex werden lassen. Einer Bestellung müssen also umfangreiche Neukonstruktions- und

BEMU Bayerwald Seite 25 von 181 Stand: 19.12.2022

⁹ siehe Fußnote 7

¹⁰ https://www.vmv-mbh.de





Zulassungs-arbeiten folgen, sofern diese für ein solch kleines Lieferlos wie im Bayerwald überhaupt angegangen würden und zudem technisch umsetzbar sind.



Abbildung 3: Beispiel Neufahrzeug Alstom Lint 54 (BR 622) 11

Zusammenfassung

Dieseltriebwagen stellen das Rückgrat im nicht elektrifizierten SPNV dar. Aufgrund der geringen Infrastrukturanforderungen (Diesel-Tankstelle), der hohen Reichweite (bis zu 1000 km) und der nahezu uneingeschränkten betrieblichen Einsetzbarkeit sind sie weit verbreitet. Die Emission von CO2 und Lärm ist allerdings bei der Verbrennung von fossilem Kraftstoff im Verbrennungsmotor unausweichlich. Mögliche Verfahren zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen aus Biomasse oder Elektroenergie zur CO2-Reduktion sind technisch möglich, aber noch mit wirtschaftlichen Unsicherheiten verbunden. Größte Hürde ist hierbei das Alter der Bestandsflotte, das auch bei Nutzung synthetischer wirtschaftliche und technische Hürden aufwirft (Ersatzteilverfügbarkeit, Instandhaltungsaufwand, Verfügbarkeit der Fahrzeuge). Hinzu kommen die wirtschaftlichen Unsicherheiten synthetisch oder biogen erzeugten Kraftstoffs, da bei anderen Verkehrsträgern ein hoher Bedarf zu erwarten ist und deren Preiselastizität zwangsläufig andere Spielräume aufweist. Insbesondere die Luft- und Schifffahrt verfügen über wenig technische Alternativen zum synthetischen oder biogenen Kraftstoff, sodass hier die bestimmenden Markteilnehmer hinsichtlich der Bezugskosten zu erwarten sind. Eine Neubeschaffung von Dieseltriebwagen ist noch möglich, allerdings aktuell nicht ohne große Vorlaufzeiten und hohe Kosten möglich, wenn die Bestandsfahrzeuggröße beibehalten werden soll. Zudem stellt sich die Frage, in wie fern es zum Vertragsende 2030 noch zeitgemäß wäre, verbrennungsmotorisch angetriebene Triebwagen zu beschaffen.

Aktuell gibt es zudem auf dem deutschen DMU-Markt nach Kenntnis der Gutachter nur von Alstom aus der Lint-Familie kurzfristig verfügbare Fahrzeuge ohne umfangreich notwendige Neukonstruktionen und große Hürden bei der Fahrzeugzulassung. Deren Fahrzeuge haben jedoch auch eine Streckenklasse von mindestens B2, die die verfügbare Streckenklasse im Netz Bayerwald (Klasse A) somit deutlich überschreitet. Theoretisch könnte auch Pesa nach in der Vergangenheit umfangreichen Zulassungsschwierigkeiten wieder Fahrzeuge auf den deutschen Markt liefern, jedoch liegt die Radsatzlast der nach

¹¹ Foto: bahnbilder.de, Hans-Peter Kurz





Deutschland gelieferten Fahrzeuge mit 18,2 t (Zweiteiler) bzw. 18,9 t (Dreiteiler) und damit in der Streckenklasse C2.

Für die Lint-Fahrzeugfamilie aus Lint 41, 54 und 81 findet sich in Anlage 18 eine Streckenlassen-Übersicht der einzelnen Fahrzeugvarianten auf Basis der "Radsatzlastdaten (Außergewöhnliche Zuladung)". Die Quelle für die angegebenen Radsatzlasten ist die im Internet verfügbare Referenzfahrzeug-tabelle der DB Netz. Es ist deutlich ersichtlich, dass bei den Fahrzeugen ohne Jakobs-Drehgestell (Lint 54/81) die Einhaltung der Streckenklasse B möglich wird, bei den von der Gefäßgröße für das Netz Bayerwald passenderen Lint 41 halten zwei die Streckenklasse B ein, die meisten befinden sich jedoch im Bereich der Klasse C. Kein Fahrzeug hält die Streckenklasse A ein. Die Massen-angaben stützen sich auf den Fall "außergewöhnlicher Zuladung". Diese sind nach den "Technische Netzzugangsbedingungen (TNB) gültig ab 12.12.2021" der DB Netz AG für die Bemessung der Streckenklasse zu nutzen. Diese besagt: "Fahrzeuge sind nach Streckenklassen einzustufen. Die Einstufungsbasis ist die Fahrzeugmasse bzw. Radsatzlast (RSL), welche für die "außergewöhnliche Zuladung" nach DIN EN 15528 und mittige Schwerpunktlage zu berechnen ist."

Es kann also zusammengefasst werden, dass zwangsläufig eine technische Anpassung zur Erhöhung der Streckenklasse im Netz Bayerwald, auf die Streckenklasse C2 notwendig wird. Insbesondere vor dem Hintergrund des Alters der RegioShuttle-Bestandsflotte, das voraussichtlich einen ggf. notwendigen Weiterbetrieb für nur einige wenige Jahre möglich machen würde, ist hier großer Handlungs-bedarf zur Streckenklassenanhebung technologieunabhängig notwendig. Es ergibt sich ansonsten ggf. nach Ablauf der technischen Nutzungsdauer der RegioShuttle-Fahrzeuge ein Fahrzeugmangel und in Folge die Einstellung des Verkehrs im Netz Bayerwald.

Ob die DB Netz AG als Infrastrukturbetreiberin abweichende, baureihenbezogene Regelungen für die leichten und wenig infrastrukturverschleißenden Nahverkehrs-Triebwagen akzeptieren würde, wäre jedoch ggf. ebenfalls noch zu prüfen. Auf der Strecke Heidenau-Altenberg gibt es beispielsweise ein verändertes und schnelleres Geschwindigkeitsprofil für die Talfahrt der BR 642 zur Einhaltung des Fahrplans. Diese Regelung ist dort explizit baureihenbezogen und trägt den hohen Verzögerungswerten der Baureihe Rechnung. Ggf. ist eine solche Regelung bei Radsatzlasten für die insgesamt verhältnismäßig sehr massearmen Nahverkehrstriebwagen baureihenbezogen ebenfalls möglich.

¹² Technische Netzzugangsbedingungen (TNB) der DB Netz AG, gültig ab 12.12.2021, S. 82, abgerufen am 27.11.2022, verfügbar unter https://fahrweg.dbnetze.com/resource/blob/7662312/ac4b2ea93131ec720593aab277708812/TNB-2022-Stand-12-12-2021-neu-data.pdf.





3.2 Oberleitungs-/Batterie-Hybridtriebwagen (Battery Electric Multiple Unit – BEMU)

3.2.1 Charakterisierung der Technologie

Oberleitungs-/Batterie-Hybridfahrzeuge sind klassische Elektrotriebwagen, die um einen elektrochemischen Energiespeicher erweitert wurden. Dieser kann während der Fahrt sowie im Stand an der Oberleitung geladen werden und stellt auf oberleitungsfreien Abschnitten die gesamte benötigte Energie (Traktion, Hilfsbetriebe, Heizung bzw. Klimatisierung) für das Fahrzeug zur Verfügung. Bei vorhandener Elektrifizierung wird die Oberleitung wie bei einem Elektrotriebzug als Energieversorgung genutzt. Bei bestehenden Elektrifizierungsperspektiven der zu befahrenden Strecken ist die Technologie zudem aufwärtskompatibel, da die Oberleitung später auch dort zum Fahren und Laden genutzt werden kann. Zudem schreitet dann die Alterung der Batterien weniger schnell voran infolge der geringeren Entladetiefe. Bei Vollelektrifizierung ist auch die Stilllegung der Batterieanlage möglich, ggf. gegen Ausgleich der fahrdynamisch und zulassungsrelevanten Batteriemasse und unter Berücksichtigung in der Zugleittechnik (Anforderung diesbezüglich wäre im Lastenheft vorzusehen).

Herausforderung ist, ausreichend Energie speichern zu können, um auch größere oberleitungsfreie Distanzen von 40 – 80 km zuverlässig zu überbrücken. Die Fahrzeughersteller setzen aktuell auf drei verschiedene Zelltechnologien (Nickel-Mangan-Cobalt-Oxide NMC, Lithium-Titanat-Oxid LTO, Lithium-Eisen-Phosphat LFP), die sich in Energiedichte (Energieinhalt pro Masse bzw. pro Volumen), Leistungsfähigkeit beim Entladen bzw. Laden (Lade- und Entladeleistung, ausgedrückt in der C-Rate), Alterungsverhalten (Lebensdauer) sowie Beschaffungskosten je Kilowattstunde (kWh) Energieinhalt unterscheiden.

Die Oberleitungs-/ Batterie-Hybridtechnologie lässt höhere Fahrgeschwindigkeiten und Beschleunigungswerte zu als diese mit Dieseltriebwagen möglich sind. Dies gilt insbesondere im Betrieb unter der Oberleitung, da die Fahrzeuge hier als klassische Elektrotriebwagen verkehren. Da sich die Beschleunigungszeiten verkürzen können, wird eine Teilnahme am dichten Takt auf elektrifizierten Hauptstrecken möglich. Gegebenenfalls gibt es ebenso Fahrzeitverkürzungen auf im Batteriebetrieb befahrenen Abschnitten, jedoch ist hierzu die Bezugsbasis zu beachten. Insbesondere die spurtstarken RegioShuttle bieten hier häufig aufgrund der leistungsstarken Motorisierung keine schlechteren Fahrzeiten.

Die Ladeleistung der Fahrzeuge liegt im Stillstand bei ca. 1,0 - 1,2 MW pro Stromabnehmer. Sie wird dabei begrenzt durch den maximal möglichen Stillstandsstrom über die Kontaktstelle Oberleitung-Stromabnehmerschleifleiste von 80 A¹³, da diese sonst zu heiß wird und der Fahrdraht mittelfristig entfestigt wird. Je nach Batterietechnologie und deren maximal möglicher Ladeleistung

¹³ DKE/UK 351.2: Ortsfeste Anlagen, Norm DIN EN 50367 (VDE 0115-605):2017-01 Tabelle 5, Berlin: VDE-Verlag GmbH, 2017.





kann die Leistung in Fahrt jedoch deutlich höher liegen. Somit sind im Stillstand Ladezeiten für das volle Aufladen der Batterie von 10 bis 30 min, je nach Speichergröße realistisch, in Fahrt kann diese geringer ausfallen. Dies liegt am höheren zulässigen Strom am Stromabnehmer während der Fahrt (je nach Oberleitungsbauart mehrere hundert Ampere, mind, 600 A), Allerdings müssen dafür auch die Fahrzeugtransformatoren ausreichend zusätzliche Leistung zur Ladung bereitstellen können, während gleichzeitig Traktionsleistung benötigt wird. Diese sind durch die Hersteller anhand des zu fahrenden Betriebsprogramms und der verfügbaren Ladeinfrastruktur zu dimensionieren. Neue Anforderungen ergeben sich bei der Betriebsumstellung auf Fahrzeuge solchen Typs durch höhere zu erwartende Radsatzlasten. Die ca. 10 % höhere Masse durch die Ergänzung der Batterien im Vergleich zum Basis-EMU sowie die ohnehin höhere Masse der elektrischen Komponenten (insbes. Trafo & Stromrichter) im Vergleich zum Dieseltriebwagen verursachen eine insgesamt erhöhte Fahrzeugmasse. Nach Erkenntnissen der Professur für Elektrische Bahnen der TU Dresden halten alle aktuell am Markt verfügbaren BEMU hierbei nur die Streckenklasse C ein, im Bayerwaldnetz ist aufgrund der Streckenklasse A auf allen Streckabschnitten östlich von Zwiesel (in Deutschland) jedoch aktuell die Befahrung mit Fahrzeugen mit höhere Radsatzlasten nur nach umfangreicher Prüfung und ggf. Anpassungen an Brücken, Durchlässen und dem Oberbau durch DB Netz möglich.

3.2.2 Funktionsweise Oberleitungs-/ Batterie-Hybridfahrzeuge

3.2.2.1 EMU-Funktionsweise

Elektrotriebwagen stellen das Rückgrat des elektrischen Nahverkehrs dar und werden aufgrund der Möglichkeit zur Installation von hoher, verteilter Antriebsleistung entlang des gesamten Zuges mittlerweile bevorzugt im Nahverkehr verwendet. Durch die hohe Anzahl an angetriebenen Radsätzen lässt sich eine gute Übertragung der Antriebsmomente auf die Schiene erreichen. Dies ermöglicht eine hohe Spurtstärke. Ebenso ermöglicht die Antriebsverteilung eine höhere Rekuperation von Bremsenergie im Vergleich zu lokomotivbespannten Garnituren, da die Bremsmomente auf mehr angetriebene Radsätze verteilt sind. Vorteilhaft sind sowohl das hohe Beschleunigungsvermögen als auch die Wartungsarmut der Antriebsanlage. Der Energiebezugspreis ist pro Kilowattstunde zwar preislich auf vergleichbarem Niveau mit der im Diesel gespeicherten Energie, die hohe Energieeffizienz des elektrischen Antriebs ermöglicht jedoch einen erheblich kostengünstigeren Betrieb (Faktor 2,5 bis 3 beim Energiebezug).

Grundvoraussetzung für den Betrieb von Elektrotriebwagen ist die Gesamtelektrifizierung einer Linie, die erhebliche Erstinvestitionen erfordert. Neben der Installation einer Fahrleitungsanlage entlang des gesamten Fahrwegs sind auch Fragen der Energiebereitstellung, der elektromagnetischen Verträglichkeit, der notwendigen baulicher Anpassungen von Ingenieurbauwerken sowie der Herstellung von elektrotechnisch sicheren Personenverkehrsanlagen im Planungsprozess detailliert zu untersuchen.





Traktion

Die Traktionsenergie wird aus der Oberleitung über Stromabnehmer, Transformator und Stromrichter zu den elektrischen Fahrmotoren übertragen. Die kontinuierliche, leistungsfähige Energieversorgung aus der Oberleitung ermöglicht hohe Geschwindigkeiten, schnelle Beschleunigung und geringe Traktionsenergiekosten.

Bremsen

Beim Bremsen kann das Fahrzeug die Bremsenergie durch die als Generator arbeitenden Fahrmotoren nutzen/rekuperieren, diese in die Oberleitung zurückspeisen und so anderen Fahrzeugen bereitstellen. Ein Teil der Bremsenergie wird direkt für die Verbraucher im Fahrzeug (maßgeblich Heizung, Klimaanlage) weiterverwendet.

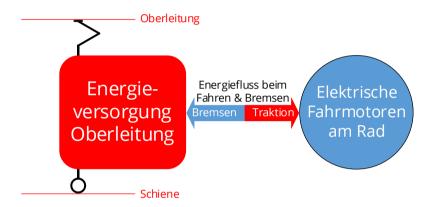


Abbildung 4: Antriebsstrang klassischer elektrischer Elektrotriebzug (schematisch) 14

Umweltaspekte

Die ökologische Bilanz des Betriebs ist bei Elektrotriebwagen maßgeblich durch die Energieerzeugung bestimmt, die durch steigende erneuerbare Anteile kontinuierlich verbessert wird. Die Bewertung wird durch die Berechnung mit spezifischen Emissionsfaktoren (Emission/kWh Elektroenergie) durchgeführt. Die Geräuschemissionen sind im Vergleich zu Dieselfahrzeugen wesentlich geringer, insbesondere beim Beschleunigen. Darüber hinaus ist das Fahrzeug im Stillstand, abgesehen von den Hilfsbetrieben, nahezu geräuschlos.

3.2.2.2 Oberleitungsbetrieb (OL-Betrieb)

Der technische Aufbau von Oberleitungs-/Batterie-Hybridfahrzeugen kann als Erweiterung des klassischen Elektrotriebwagens betrachtet werden:

¹⁴ Grafik: Wittemann, TU Dresden





Traktion

Im Oberleitungsbetrieb unterscheidet sich der Oberleitungs-/Batterie-Hybrid nicht wesentlich vom klassischen Elektrotriebzug. Erweitert wird dieser nur um das Laden der Batterie aus der Oberleitung sowohl im Stillstand als auch während der Fahrt.

Bremsen

Die Bremsenergie kann ebenfalls rekuperiert werden. Sie wird für alle Verbraucher im Fahrzeug bzw. bei nicht voll aufgeladener Batterie zum Laden derselben genutzt. Auf dem Fahrzeug nicht benötigte Energie wird in die Oberleitung zurückgespeist.

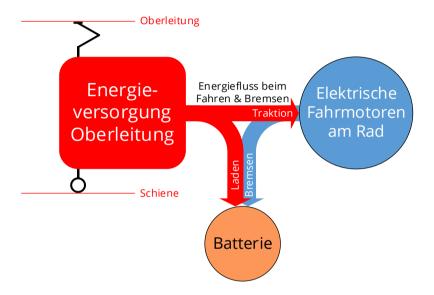


Abbildung 5: Antriebsstrang Oberleitungs-/Batterie-Hybrid im OL-Betrieb (schematisch)¹⁴

3.2.2.3 Batteriebetrieb

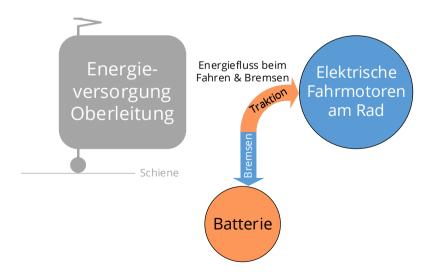


Abbildung 6: Antriebsstrang Oberleitungs-/Batterie-Hybrid im Batteriebetrieb (schematisch)¹⁴

BEMU Bayerwald Seite 31 von 181 Stand: 19.12.2022





Traktion

Der Energiebedarf für die Traktion sowie für alle weiteren Verbraucher (auch Heizung/Klimaanlage) im Fahrzeug wird aus der Batterie gedeckt. Die Reichweite hängt dabei maßgeblich von Topografie, Geschwindigkeits- und Fahrplanprofil, Außentemperaturen, Fahrzeugmasse und batteriespezifischen Größen ab.

Bremsen

Das Fahrzeug kann die Bremsenergie ebenfalls rekuperieren. Sie wird bei nicht voll aufgeladener Batterie zum Laden der Batterie und für alle Verbraucher im Fahrzeug genutzt. Überschüssige Energie wird in Bremswiderständen verschleißfrei (wenn vorhanden) oder in Reibungsbremsen verschleißbehaftet in Wärme gewandelt.

3.2.3 Fahrzeugbeispiele Oberleitungs-/Batterie-Hybrid

Siemens Mireo Plus B



Abbildung 7: Bsp. Siemens Mireo Plus B für Leistungen in Baden-Württemberg, Rendering¹⁵

Durch die Firma Siemens Mobility GmbH wird die Fahrzeugplattform Mireo in einer Variante "Plus B" angeboten. Ausschließliche Oberleitungs-Fahrzeuge der Mireo-Plattform verkehren seit Juni 2020 auf der Rheintalbahn¹⁶ im Fahrgastverkehr und seit Ende 2021 auch auf der S-Bahn Rhein-Neckar¹⁷.

Siemens konnte Ende 2019 die Ausschreibung im Netz Ortenau in Baden-Württemberg über 20 Fahrzeuge (+3 Nachbestellungen 2021 für eine zusätzliche Linie¹⁸) für sich entscheiden¹⁹. Die zweiteiligen Fahrzeuge verfügen auf ca. 46 m

BEMU Bayerwald Seite 32 von 181 Stand: 19.12.2022

¹⁵ Grafik: Siemens Mobility GmbH

¹⁶ https://www.urban-transport-magazine.com/erstzulassung-fuer-den-neuen-mireo-von-siemens-mobility-bislang-176-mireos-bestellt/, abgerufen im Mai 2022.

¹⁷ Verkehrsverbund Rhein-Neckar, "Vertrag über die Verkehrsleistungen zur S-Bahn Rhein-Neckar Los 2 unterzeichnet," Verkehrsverbund Rhein-Neckar, Mannheim, 2017.

¹⁸ https://www.hermann-hesse-bahn.de/strecke/fahrzeuge/__Fahrzeuge.html [Zugriff am 26.01.2022]

¹⁹ https://press.siemens.com/global/de/pressemitteilung/siemens-mobility-erhaelt-ersten-auftrag-fuer-batteriezuege [Zugriff 20. Mai 2022]





Länge über ca. 120 Sitzplätze und werden im steigungsreichen Netz Ortenau regelmäßig eine Strecke von ca. 58 km batterieelektrisch überbrücken. Sie sollen ab 2023 eingesetzt werden.

Zuvor war es Siemens möglich, durch den Einsatz auf 50.000 km fahrplanmäßiger Fahrt im Batteriebetrieb eines einzelnen, mit 528 kWh Batterieenergieinhalt (Zellchemie LTO) ausgestatteten Fahrzeugs der Desiro-Mainline-Familie (in Zusammenarbeit mit der ÖBB-Personenverkehr AG als cityjet Eco vermarktet)²⁰, umfangreich Daten zu ermitteln und Betriebserfahrung zu sammeln, die in die Fahrzeuge des Typs Mireo Plus B einfließen. Das Einzelstück soll zu einem klassischen EMU rückgebaut und nach Aussagen des Herstellers in Deutschland nicht angeboten bzw. verkauft werden.

Alstom (ehemals Bombardier) Talent 3



Abbildung 8: Bsp. Erprobungsträger Alstom (ehem. Bombardier) Talent 3 BEMU²¹

Der "Talent 3 BEMU" von Alstom (ehemals Bombardier) existiert bereits als Prototyp; die Entwicklung wurde mit Fördergeldern des Bundes unterstützt. Er wurde aus einer laufenden Produktionslinie klassischer Elektrotriebwagen für Baden-Württemberg entnommen. Die Zulassung ist erteilt, der Ersteinsatz im Probebetrieb für eine Tochter der DB AG in der Region Alb-Bodensee und in Bayern begann im Januar 2022²² und endete Ende April 2022.

Der Zug ist 56,2 m lang und verfügt über 155 Sitzplätze. Als Batterietechnologie werden NMC-Zellen eingesetzt. Die regelmäßige Reichweite wird vom Hersteller mit bis zu 40 km angegeben. Dies ist bei einem Batterieenergieinhalt der verwendeten Batterietechnologie von aktuell 300 kWh realistisch (bis 440 kWh

BEMU Bayerwald Seite 33 von 181 Stand: 19.12.2022

²⁰

https://www.mobility.siemens.com/at/de/unternehmen/newsroom/pressemitteilungen/siemens-mobility-batteriezug-desiro-ml-cityjet-eco-sparte-140-tonnen-co2-ein-.html [Zugriff am 26.01.2022]

²¹ Foto: Alstom/Bombardier

²² https://www.eurailpress.de/nachrichten/fahrzeuge-komponenten/detail/news/db-regiotesteinsatz-des-bemu-talent-3-beginnt.html [Zugriff am 26.01.2022]





laut Quelle technisch möglich). Die Höchstgeschwindigkeit beträgt im Batteriebetrieb 120 km/h, unter Oberleitung 140 km/h²³.

Eine weitere Produktion innerhalb der neuen Eigentümerstruktur des Herstellers ist voraussichtlich nicht zu erwarten, da das geistige Eigentum an der Talent-Plattform zur Erfüllung kartellrechtliche Auflagen an CAF abgestoßen wurde, jedoch nach Informationen der TU Dresden exklusive des Erprobungsträgers. Somit fehlt für eine Weiterproduktion von Fahrzeugen der Talent-Familie jedoch das geistige Eigentum bei Alstom. Da CAF mit der Civity-Plattform außerdem bereits einen Alternativprodukt im Portfolio hat, sehen die Gutachter eine weitere Produktion ebenfalls als eher unwahrscheinlich an. Der Eigentumsübergang erfolgte zum 21.10. 2022. Jedoch konnte Alstom mit dem fahrplanmäßigen Betrieb des Erprobungsträgers umfangreiche Betriebserfahrungen für die Entwicklung des hauseigenen Typs Coradia Continental BEMU sammeln (s. u.).

Stadler Flirt Akku



Abbildung 9: Bsp. Erprobungsträger Stadler Flirt Akku²⁴

Das Fahrzeug existiert bereits und ist eine Eigenentwicklung der Firma Stadler. Laut Medienmitteilung des Herstellers verfügt das Fahrzeug bereits über eine Zulassung für den Personenverkehr²⁵ durch die Entnahme aus der Flirt-Produktlinie. Die Entwicklung wurde mit Fördermitteln des Bundes unterstützt.

Es ist 58,6 m lang und verfügt über 154 Sitzplätze. Nach Aussagen des Herstellers sind sowohl LFP- als auch LTO-Zellen für die Installation im Fahrzeug geeignet. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt im Batterie- und Oberleitungsbetrieb 140 km/h.

²³ https://www.golem.de/news/bombardier-und-tu-berlin-triebzug-mit-akku-soll-dieselzuege-ersetzen-1808-136240.html [Zugriff am 20.05.2022]

²⁴ Foto: Stadler Rail Deutschland GmbH

²⁵ Stadler Deutschland: "Medienmitteilung Stadler lässt den FLIRT von der Leine," Berlin, 2018







Abbildung 10: Bsp. Stadler Flirt Akku für Schleswig-Holstein (I.) bzw. Pfalznetz (r.), Rendering²⁶

Stadler konnte im Juli 2019 die Ausschreibung zur Lieferung von 55 Fahrzeugen für das Land Schleswig-Holstein für sich entscheiden. Die zweiteiligen Fahrzeuge sind mit ca. 46 m Länge und ca. 120 Sitzplätzen kleiner als der Prototyp des Herstellers und werden in den Flachland-Netzen in Schleswig-Holstein regelmäßig eine Reichweite von ca. 80 km batterieelektrisch überbrücken²⁷. Sie sollen ab 2023²⁸ eingesetzt werden und verfügen laut Hersteller über eine Reichweite von ca. 80 km bei ca. 550 kWh Energieinhalt auch im gealterten Zustand der LTO-Batteriezellen. Die ersten BEMU befinden sich aktuell in der Erprobung.

Hinzu kommen 44 ebenfalls zweiteilige Fahrzeuge, die Stadler auf Basis eines Gewinns der Ausschreibung des ZSPNV Rheinland-Pfalz Süd Ende 2021 für den Betrieb des Loses 1 des Pfalznetzes zur Betriebsaufnahme im Ende 2025 bzw. 2026 liefern wird. Diese sind abweichend ca. 55 m lang, was durch extralange Wagenkästen erreicht wird, sodass sie über 172 Sitzplätze verfügen. Es sollen Fahrleitungslücken von bis zu 48 km Länge bei einer Reichweite von 80 km überbrückt werden²⁹.

Abgerundet werden die Aufträge in Deutschland an Stadler zur Lieferung des Flirt Akku durch die Bestellungen im Februar 2022 von 14 BEMU mit 99 Sitzplätzen (12 Fahrräder) in zwei Wagenkästen mit Jakobs-Drehgestell (äquivalent zu Flirt Akku SH) für das Netz Warnow II, das im Dezember 2026 in Betrieb gehen soll.³⁰

_

²⁶ Grafiken: Stadler Rail Deutschland GmbH

²⁷ https://www.stadlerrail.com/de/medien/article/stadler-liefert-55-flirt-akku-fuer-dennahverkehrsverbund-schleswig-holstein/530/ [Zugriff am 20.05.2022]

²⁸ https://unternehmen.nah.sh/de/themen/neuigkeiten/akkunetze-zuschlag-fuer-zweiverkehrsunternehmen/ [Zugriff am 26.01.2022]

²⁹ https://www.stadlerrail.com/media/pdf/2021_1126_medienmitteilung_flirt%20akku_pfalznetz_de.pdf [Zugriff am 26.01.2022]

³⁰ https://www.eurailpress.de/nachrichten/betrieb-services/detail/news/mecklenburg-vorpommern-db-regio-ordert-flirt-bemu-fuer-teilnetz-warnow-ii.html [Zugriff im April 2022]





Alstom Coradia Continental BEMU



Abbildung 11: Bsp. Alstom Coradia Continental BEMU für Leistungen im VMS, Rendering³¹

Der Verkehrsverbund Mittelsachsen hat 2019 die Beschaffung von elf dreiteiligen Alstom Coradia Continental in der Oberleitungs-/Batterie-Hybridvariante beschlossen. Diese sollen ab 2023 auf der Strecke Chemnitz-Leipzig eingesetzt werden. Besonderheit des Einsatzes auf dieser Strecke ist eine notwendige, zu erreichende Höchstgeschwindigkeit von 160 km/h und eine zu überbrückende Oberleitungslücke von ca. 80 km, was den Energiespeichern auf dem Fahrzeug hohe Leistungen und einen vergleichsweise hohen Energiebezug abverlangt. Die Fahrzeuge, die 150 Sitzplätze bei ca. 56 m Fahrzeuglänge aufweisen³², verfügen deshalb über einen Batterieenergieinhalt von ca. 781 kWh³³.

CAF Civity BEMU



Abbildung 12: BEMU Fahrzeug der Plattform CAF Civity³⁴

Der BEMU von CAF basiert auf der modularen EMU-Fahrzeugplattform Civity für den Regional- und Nahverkehr, die in mehreren europäischen Ländern im Einsatz ist, jedoch noch nicht in Deutschland. Die Aufgabenträger VRR und NWL haben im Juni 2021 von diesem Fahrzeugtyp mehr als 60 Einheiten in zwei Größen mit einem Sitzplatzangebot von je 120 beziehungsweise 160 Sitzplätzen für den Einsatz auf sieben Regionalbahn- und Regionalexpresslinien bestellt.

BEMU Bayerwald Seite 36 von 181 Stand: 19.12.2022

³¹ Grafik: Alstom

³² https://www.alstom.com/de/press-releases-news/2020/2/alstom-unterzeichnet-ersten-vertragueber-batteriezuege-fuer-den [Zugriff am 26.01.2022]

³³ Korda, M.: ALTERNATIVE ANTRIEBE im SPNV – BEMU's für die Strecke Chemnitz – Leipzig, EU Railpress Forum: Alternative Antriebe im SPNV, 29.09.2020.

³⁴ Rendering: CAF/VRR





Diese sollen am Niederrhein und im Münsterland ab 2025 bzw. 2026 zum Einsatz kommen³⁵.

Es wird zudem erwartet, dass in den nächsten Jahren weitere Hersteller auf den deutschen Markt kommen werden:

- Hitachi, Japan: Die ersten BEMUs gingen im Oktober 2016 in Japan in Betrieb (360 kWh Li-Ion-Speicher). Hitachi ist ein in Europa aktiver Hersteller (bspw. Fertigung in Großbritannien und Italien). Daher ist es zu erwarten, dass dieser auch ein BEMU-Fahrzeug einführen wird. Die Teilnahme am deutschen Markt wird nach Herstellerangaben angestrebt.
- CRRC, China: Im Jahr 2018 bestellte die DB vier Hybrid-Rangierlokomotiven bei CRRC. Dies wurde als ersten Schritt auf den deutschen/ europäischen Markt angesehen. Die Einführung von elektrischen Regionaltriebzügen und eines BEMU Fahrzeugs wird daher mittelfristig erwartet.

Zusammenfassung

Oberleitungs-/ Batterie-Hybridfahrzeuge sind technisch rein elektrische Triebfahrzeuge, welche durch die Ergänzung um Energiespeicher auch außerhalb elektrifizierter Strecken betreibbar sind. Aufgrund der hohen Effizienz der Batterie, des elektrischen Antriebs sowie der Energiezuführung auf das Fahrzeug durch kontaktierende Systeme sind geringe Energiekosten, insbesondere an der Oberleitung, zu erwarten. Die chemisch bedingte geringe Energiedichte der Energiespeicher (ggü. Diesel) sorgt für eine hohe Batteriemasse bei gleichzeitig geringerer Reichweite. Hieraus resultiert, dass der Betrieb mit batterieelektrischen Fahrzeugen (auch bei Wasserstoff-/Batterie-Hybridfahrzeugen) immer auch ein Infrastrukturthema darstellt. Durch die Errichtung von zusätzlicher Ladeinfrastruktur kann Energie in das Fahrzeug zugeführt werden. Diese hat zusätzliche Investitionskosten und höhere Energiebezugskosten durch den zusätzlichen Speicherungsschritt und dezentralen (ggf. teureren) Energiebezug zur Folge. Beide Faktoren werden durch die Wahl des Bezugsnetzes (50 Hz Landesnetz bzw. 16,7 Hz Bahnenergie) determiniert. Die Speicherfähigkeit und Ladegeschwindigkeit der Batterien kann durch die gewählte Zellchemie beeinflusst werden. Grundsätzlich unterliegen Batterien aufgrund der Alterungsprozesse nach heutigem Stand allerdings regelmäßigen Austauschzyklen, die deutlich kürzer als die Fahrzeuglebensdauer sind.

Auf dem deutschen Markt sind mehrere Betriebsstarts für BEMUs geplant. Die folgende Liste zeigt einige der Netze zusammen mit den Fahrzeugen, die zum Einsatz kommen werden:

• 2023: SFBW Ortenau-Netz 20 (+Hermann-Hesse-Bahn 3), Siemens Mireo Plus B (120 Sitze, 46,6 m lang)

³⁵ https://www.vrr.de/de/presse/batterie-elektrische-fahrzeuge-fuer-das-niederrhein-muensterland-netz/ [Zugriff am 26.01.2022]





- 2023 2024: NAH.SH Schleswig-Holstein, 55 Stadler Flirt Akku (123 Sitze, ~ 46 m lang)
- 2023: ZVMS Chemnitz Leipzig, 11 Alstom Coradia Continental BEMU (150 Sitze, ~ 57 m lang)
- 2024 2025: ZSPNV RLP Süd Pfalznetz, 44 Stadler Flirt Akku (172 Sitze, ~ 55 m lang)
- 2025 2028: VRR Niederrhein-Münsterland-Netz, 63 CAF Civity BEMU 15 (120 Sitze, ~ 45 m lang) + 48 (150 Sitze, ~ 55 m lang)
- 2026: VMV/Land Mecklenburg-Vorpommern, 14 Stadler Flirt Akku (99 Sitze, 12 Fahrradstellplätze, ~ 46 m lang)

Darüber hinaus besteht auch die Nachfrage nach Straßenbahnen mit Batterieunterstützung. Dies ist auf diverse Gründe zurückzuführen, maßgeblich jedoch auf die prägende städtebaulich relevante optische Wirksamkeit von Oberleitungen. Einige Beispiele weltweit zeigen die Nachfrage nach batteriegestützten Straßenbahnen, die prinzipiell den Herstellern Knowhow-Aufbau für BEMU-Fahrzeuge für den Regionalverkehr ermöglichen. Auf folgende Unterschiede zwischen Straßenbahn- und Vollbahnfahrzeuge muss dennoch hingewiesen werden:

- Wesentlich kürzere Elektrifizierungslücken/ Haltestellenabstände,
- Geringere Fahrgeschwindigkeiten,
- Häufigeres Beschleunigen und Bremsen.

Dies führt in Summe zu einem geringeren Bedarf an Batteriekapazität bei dem Einsatz in Straßenbahnen. Da BEMUs derzeit noch nicht auf dem deutschen Eisenbahnnetz im Einsatz sind, werden die endgültig belastbaren Erfahrungen und Lebensdauerinformationen zu Batterien erst in 3-5 Jahren verfügbar sein.

BEMU Bayerwald Seite 38 von 181 Stand: 19.12.2022





4 Betrieblich-technische Randbedingungen

4.1 Untersuchungsraum

Die Schienenpersonennahverkehrsleistungen im heutigen sogenannten "Waldbahnnetz" werden europaweit zunächst als Los 2 im Netz "Regionalverkehr Ostbayern" ausgeschrieben. Inbetriebnahme ist im Dezember 2025. Dieses Los 2 soll dann unter Berücksichtigung der infrastrukturellen Randbedingungen im folgenden Schritt als Netz "Bayerwald" mit Akkuhybridfahrzeugen mit einer geplanten Inbetriebnahme im Dezember 2034 neu ausgeschrieben werden.

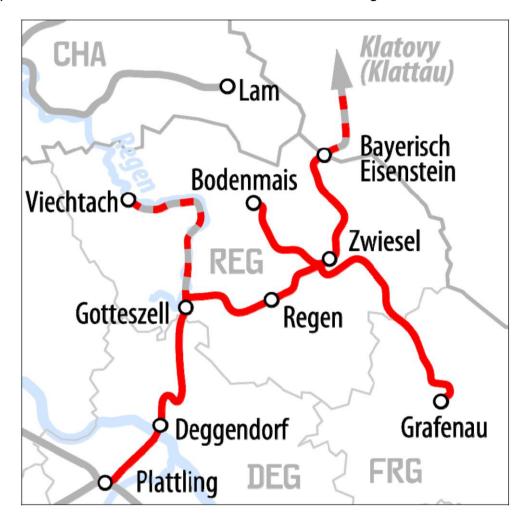


Abbildung 13: Untersuchungsraum³⁶

³⁶ Quelle: Bayerische Eisenbahngesellschaft mbH (BEG)





Zum Untersuchungsraum gehören die folgenden in Abbildung 13 dargestellten Relationen:

• RB 35: Plattling – Bayerisch Eisenstein (über Zwiesel)

Kursbuchstrecke
 Liniennummer
 Streckennummer
 Streckenlänge
 71,647 km

• RB 36: Zwiesel – Grafenau

Kursbuchstrecke
 Liniennummer
 Streckennummer
 Streckenlänge
 306
 RB 36
 5821
 Streckenlänge
 31,512 km

RB 37: Zwiesel – Bodenmais

Kursbuchstrecke
 Liniennummer
 Streckennummer
 Streckenlänge
 14,531 km

• RB 38: Gotteszell – Viechtach

Kursbuchstrecke
 Liniennummer
 Streckennummer
 908
 RB 38
 9581 (DLB)

Streckenlänge 0,409 km (DB Netz AG); 24,402 km (DLB)

Darüber hinaus ist die Anbindung des Streckenabschnitts nach Klatovy an die Linie RB 35 (alle 2 Stunden), wie in Abbildung 13 dargestellt, Teil der vorliegenden Untersuchung.

4.2 Fahrplan

Die in der Abbildung 14 dargestellten Referenzfahrzeiten wurden vom Auftraggeber mittels eines LINT 41 bestimmt und dienen als Grundlage für die vorliegende Studie. Es wird davon ausgegangen, dass ein vergleichbares Batteriehybridfahrzeug mindestens die gleiche oder eine höhere Fahrdynamik aufweist. Für die betriebliche Bewertung (insbesondere Verspätungsbewertung) wurden jedoch zusätzliche Fahrpläne durch den Auftraggeber auf Basis der heutigen RegioShuttle-Verkehre (RS1) bereitgestellt. Die Spurtstärke der RS1 ist erheblich höher als jene der Lint-41-Fahrzeuge. Es war deshalb zu erwarten, dass die BEMU-Fahrzeuge die RegioShuttle-Fahrzeiten halten, jedoch nicht wesentlich verbessern können, da kaum eine Verbesserung der Spurtstärke zu erwarten war. Hintergrund ist, dass beim RegioShuttle alle Radsätze angetrieben sind sowie eine hohe Leistung im Verhältnis zur Fahrzeugmasse (2x 228 kW auf 40,6 t) vorhanden ist.

Die sich aus den Simulationen ergebenden Bildfahrpläne sind in den Anlagen 1 bis 12 dargestellt.







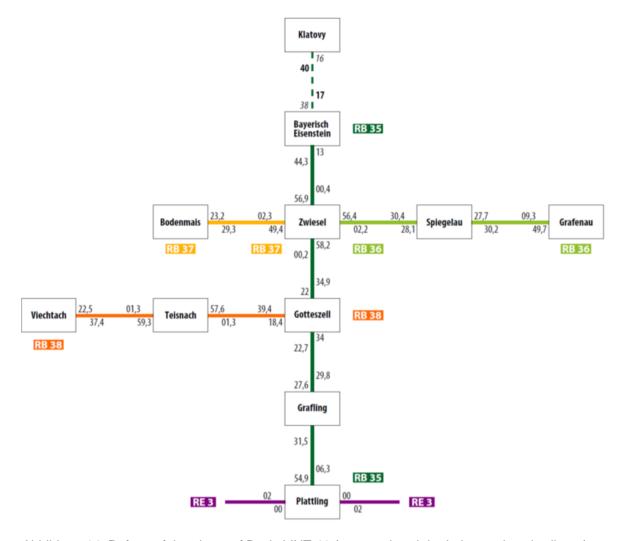


Abbildung 14: Referenzfahrzeiten auf Basis LINT 41 (entsprechend der Leistungsbeschreibung)

4.3 Elektrische Infrastruktur und zu untersuchende Betriebskonzepte

Aktuell existiert im deutschen Untersuchungsraum lediglich im Bahnhof Plattling eine Oberleitungsanlage mit 15 kV, 16,7 Hz. Das übrige Netz verfügt zwar über einige 400-V-Elektranten, aber über keine Ladestationen oder Zugvorheizanlagen, die eine Aufladung von Akkuhybridfahrzeugen ermöglichen würden.

Für die RB 35 ergibt sich bei Durchbindung bis zum Bahnhof Klatovy in Tschechien eine Lademöglichkeit unter der dort bestehenden Oberleitungsanlage mit einer Spannung von 25 kV und einer Frequenz 50 Hz.

In der vorliegenden Studie wurden entsprechend der Leistungsbeschreibung die vom Auftraggeber bereits im Vorfeld erstellten Varianten zum Betrieb von Akkuhybridfahrzeugen im Bayerwald untersucht (siehe Tabelle 2). In allen Varianten wird das Aufladen im bereits elektrifizierten Bahnhof Plattling bzw. bei Durchbindung der RB 35 nach Tschechien zusätzlich in Klatovy unterstellt.





Folgende Oberleitungsinselanlagen wurden für die Sicherstellung der Energieversorgung der Fahrzeuge im Untersuchungsraum in den einzelnen Varianten vorgegeben:

- Variante 1: Zentrale Oberleitungsinselanlage in Zwiesel,
- Variante 2: Dezentrale Oberleitungsinselanlage in Bayerisch Eisenstein und Grafenau,
- Variante 3: Dezentrale Oberleitungsinselanlage in Bayerisch Eisenstein und Zwiesel,
- Variante 4: Dezentrale Oberleitungsinselanlage in Bayerisch Eisenstein, Zwiesel und Grafenau,
- Variante 5: Dezentrale Oberleitungsinselanlage in Bayerisch Eisenstein, Grafenau und Bodenmais und
- Bei allen Varianten gleichermaßen: Dezentrale Oberleitungsinsel in Gotteszell oder Viechtach (gesondert betrachtet).

Damit ergeben sich je nach Variante Nachladungen in Zwiesel (RB 35, RB 36, RB 37), Bayerisch Eisenstein (RB 35), Grafenau (RB 36), Bodenmais (RB 37) bzw. in Gotteszell oder Viechtach (RB 38).

Die farbliche Markierung innerhalb Tabelle 2 ist wie folgt zu interpretieren:

Orange - Linienumlauf ist mit der vorgegebenen Nachlade-Infrastruktur technisch nicht umsetzbar

Grün - Linienumlauf ist mit der vorgegebenen Nachlade-Infrastruktur technisch umsetzbar

Grün-orange gestrichelt - Linienumlauf ist mit der vorgegebenen Nachlade-Infrastruktur mit Anpassungen technisch umsetzbar

BEMU Bayerwald Seite 42 von 181 Stand: 19.12.2022



Tabelle 2: vorgegebene Varianten Betriebs- und Nachladekonzepte

	Linie	von	Aufenthalt	über	Aufenthalt	nach	Aufenthalt	Nachladung in		
Variante 1										
	RB 35	Plattling	11 min	Zwiesel	1-3 min	Bayerisch Eisenstein/Klatovy	26-29 min / 24 bzw. 84 min	Plattling	Zwiesel	Klatovy (bei Durchbindung)
	RB 36	Zwiesel	5 min			Grafenau	19 min	Zwiesel		
	RB 37	Zwiesel	12 min			Bodenmais	6 min	Zwiesel		
	RB 38	Gotteszell	21 min			Viechtach	15 min	Gotteszell o. Viechtach		
Variante 2										
	RB 35	Plattling	11 min	Zwiesel	1-3 min	Bayerisch Eisenstein/Klatovy	26-29 min / 24 bzw. 84 min	Plattling	Bayerisch Eisenstein o. Klatovy (falls Durchbindung)	
	RB 36/37	Grafenau	19 min	Zwiesel	5 min o. 12 min	Bodenmais	6 min	Grafenau		
	RB 38	Gotteszell	21 min			Viechtach	15 min	Gotteszell o. Viechtach		
Variante 3										
	RB 35	Plattling	11 min	Zwiesel	1-3 min	Bayerisch Eisenstein/Klatovy	26-29 min / 24 bzw. 84 min	Plattling	Bayerisch Eisenstein o. Klatovy (falls Durchbindung)	,
	RB 36	Zwiesel	5 min			Grafenau	19 min	Zwiesel		
	RB 37	Zwiesel	12 min			Bodenmais	6 min	Zwiesel		
	RB 38	Gotteszell	21 min			Viechtach	15 min	Gotteszell o. Viechtach		
Variante 4										
	RB 35	Plattling	11 min	Zwiesel	1-3 min	Bayerisch Eisenstein/Klatovy	26-29 min / 24 bzw. 84 min		Bayerisch Eisenstein o. Klatovy (falls Durchbindung)	,
	RB 36	Zwiesel	5 min			Grafenau	19 min	Grafenau		
	RB 37	Zwiesel	12 min			Bodenmais	6 min	Zwiesel		
	RB 38	Gotteszell	21 min			Viechtach	15 min	Gotteszell o. Viechtach		
Variante 5										
	RB 35	Plattling	11 min	Zwiesel	1-3 min	Bayerisch Eisenstein/Klatovy	26-29 min / 24 bzw. 84 min		Bayerisch Eisenstein o. Klatovy (falls Durchbindung)	
	RB 36	Zwiesel	5 min			Grafenau	19 min	Grafenau		
	RB 37	Zwiesel	12 min			Bodenmais	6 min	Bodenmais		
	RB 38	Gotteszell	21 min			Viechtach	15 min	Gotteszell o. Viechtach		





Gemäß Leistungsbeschreibung wird die Ertüchtigung der im Untersuchungsraum betroffenen Strecken auf eine durchgehende Streckenklasse von mindestens C2 durch die DB Netz AG gewährleistet bzw. zunächst untersucht, um eine Befahrung mit BEMU zu ermöglichen. Eine Untersuchung hierzu erfolgt in dieser Studie nicht. Hintergrund ist, dass im Angebot aller Hersteller aktuell bei akzeptablen Reichweiten nur die Einhaltung der Streckenklasse C2 möglich ist. Im Jahr 2022 sind nach Angaben des Infrastrukturregisters der DB Netze die Streckenabschnitte Plattling – Deggendorf für Streckenklasse D4 sowie die Abschnitt Deggendorf – Gotteszell und die Strecke Zwiesel – Bodenmais für C2 zugelassen. Die Streckenabschnitte Gotteszell – Bayerisch Eisenstein sowie Zwiesel – Grafenau erlauben nur Streckenklasse A. Für die Strecke Gotteszell – Viechtach wird durch DLB GmbH Infrastruktur im besonderen Teil der Schienennetzzugangsbedingungen 2021 die Streckenklasse C2 angegeben.

Im Ergebnis der ersten Untersuchungen wurden prinzipiell technisch machbare (grün) und schwierig bzw. gar nicht umsetzbare Varianten bzw. Linien (gelb) identifiziert. Diese sind in Tabelle 2 zusammenfassend dargestellt. Gemeinsam mit dem AG wurde bereits im Nachgang der ersten Zwischenpräsentation die **Variante 4** als Vorzugsvariante festgelegt (siehe hierzu auch Abschnitt 5.3.1). Alle weiteren Untersuchungsschritte zur betrieblichen Umsetzbarkeit und zu den erforderlichen Infrastrukturmaßnahmen beziehen sich ab diesem frühen Projektstatus nur noch auf diese Variante. Hierfür wurde für die RB 35 die Variante 1 weiterentwickelt und die Untersuchung der Variante 4 entsprechend ergänzt.

4.4 Fahrzeuge

Die für die Untersuchung angenommen Fahrzeugparameter des Referenzfahrzeugs FLIRT Akku basieren auf beim Auftragnehmer verfügbaren Datensätzen. Für die Untersuchung wurde mit Blick auf die Auslegung der erforderlichen elektrischen Infrastruktur ein maximaler Besetzungsgrad angenommen.

Die Fahrzeugdaten sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Zur Bestimmung der zu überwindenden Fahrwiderstandskräfte in der Ebene wird die Davis-Formel

$$F_{W} = A + B \cdot v + C \cdot v^{2}$$

mit den aufgeführten Parametern verwendet. Neigungs- und Bogenwiderstand werden ortsabhängig auf Basis der vom Auftraggeber erhaltenen Streckendaten hinzugefügt.

In der Hilfsbetriebeleistung ist der Leistungsbedarf für die Klimatisierung, Beleuchtung, Batterieladung und Lüftung berücksichtigt. Die zugehörigen Werte sind in Tabelle 3 aufgeführt und gelten für dauerhaften Einsatz.

Für die Modellierung des Antriebs wird ein Gesamtwirkungsgrad von 85% unterstellt, der die mechanische Leistung am Rad und den elektrischen Leistungsbedarf am Stromabnehmer verknüpft.

BEMU Bayerwald Seite 44 von 181 Stand: 19.12.2022





Der zulässige Ladezustandsbereich der Fahrzeugbatterien wurde unter Berücksichtigung der Batteriealterung und einer schonenden Batterienutzung auf den Bereich zwischen 90 % und 30 % festgelegt.

Das Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagramm ist in der Abbildung 15 dargestellt. Der elektrische (Motor-)Bremskraftverlauf ist identisch zum Verlauf der Traktionszugkraft.

BEMU Bayerwald Seite 45 von 181 Stand: 19.12.2022







Tabelle 3: Fahrzeugdaten Stadler Akku Flirt 2-Teiler

Parameter	Wert	Bemerkung
Länge [m]	46,0	
Massen		
Leermasse [t]	90	
Gesamtmasse [t]	100	Vollbesetzung, ca. 124 Sitzplätze
Adhäsionsmasse [t]	100	
Rotationsfaktor [-]	1,04	
Fahrwiderstand		
Faktor A [kN]	1,28	
Faktor B [kN/km/h]	0,0031	
Faktor C [kN/(km/h) ²]	0,00039	
Traktion		
max. Geschwindigkeit [km/h]	160	OL-/Batteriebetrieb gleich, da im Netz Bayerwald keine Relevanz
max. Beschleunigung [m/s²]	0,95 / 1,0	Beschleunigung / Bremsen
Zugkraft [kN]	95	mechanisch am Rad
Traktionsleistung [kW]	1.000	mechanisch am Rad
Hilfsbetriebeleistung [kW]	90	Dauerbetrieb
Batterie		
max. Energieinhalt [kWh]	550	LTO-Zellchemie
max./min. zulässiger SOC [%]	90/30	
max. Ladeleistung [kW] im Stand	1.200 1.400	unter 15 kV, 16,7 Hz unter 25 kV, 50 Hz
max. Ladeleistung [kW] unter Fahrdraht in Fahrt	1.400	wird begrenzt durch max. Leistung des Trafos (→ Wert bei vergleichbaren vollelektrischen Flirt) ABER: zur Bildung einer Traktionsreserve generell nur 1.200 kW angenommen
Effizienz		
Wirkungsgrad Antrieb [%]	85,0	Stromabnehmer – Rad
Lade-/Entladewirkungsgrad [%]	97,0	für Ladung und Entladung jeweils einzeln anzusetzen





Mit dem zugrunde gelegten zweiteiligen Fahrzeug Stadler FLIRT Akku können die entsprechenden Mindestsitzplatzkapazitäten der RB 35 mit bis zu 154 Passagieren pro Fahrt während der Spitzenstunden ebenso nur mit einem Betrieb in Doppeltraktion abgedeckt werden, jedoch bietet das Fahrzeug grundsätzlich eine höhere Fahrgastkapazität als die Bestandsfahrzeuge (124 in Schleswig-Holstein bzw. 99 in Mecklenburg-Vorpommern ggü. 77 Sitzen).

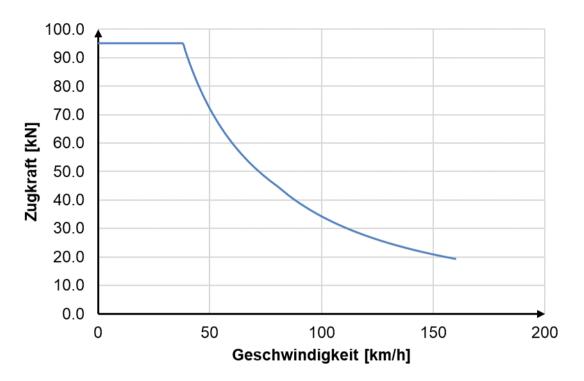


Abbildung 15: angesetztes Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagramm Stadler Akku Flirt

4.5 Infrastruktur

Unter Verwendung der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Infrastrukturdaten wurden die in Abbildung 16 bis Abbildung 20 dargestellten Höhenprofile im Simulationssystem Open Track modelliert. Die Daten für die Modellierung des Abschnitts von Bayerisch Eisenstein nach Klatovy wurden mit der Open Source Software BRouter erarbeitet, da während der Projektlaufzeit keine rechtzeitige Beschaffung dieser Infrastrukturdaten erfolgte.

In Abbildung 16 bis Abbildung 20 sind zudem die berechneten Geschwindigkeitsprofile auf Basis der in der Untersuchung zugrunde gelegten Oberleitungs-/Batterie-Hybridfahrzeuge (Tabelle 3) dargestellt. Die Fahrprofile sind Ergebnisse der Zugfahrtsimulationen auf Basis der maximal zulässigen Geschwindigkeiten und der Infrastrukturdaten für die jeweiligen Linienabschnitte, wobei die Darstellung jeweils nur in Fahrtrichtung von "links" nach "rechts" erfolgt. Die Rückrichtung ist die Abbildungen nicht dargestellt, weicht jedoch nur in Bahnhofsnähe in Abhängigkeit von Signalstandorten, Ende der Weichenbereiche, Fahrstraßenwahl etc. geringfügig ab und wurde entsprechend dieser Abweichung in der Simulation verwendet.







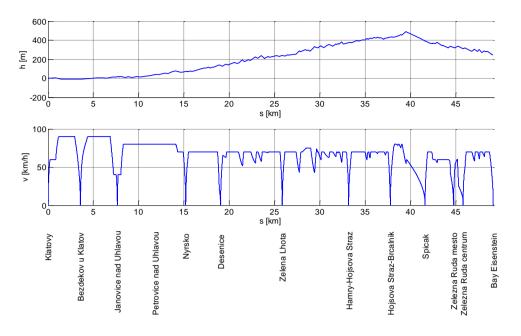


Abbildung 16: Höhen- und Geschwindigkeitsprofil RB 35 Klatovy – Bayerisch Eisenstein

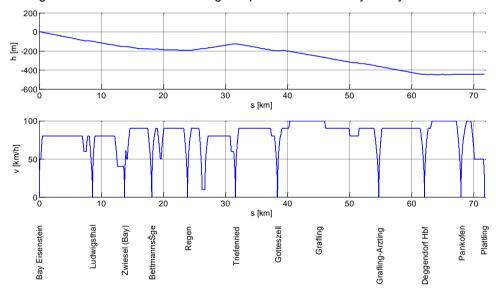


Abbildung 17: Höhen- und Geschwindigkeitsprofil RB 35 Bayerisch Eisenstein - Plattling







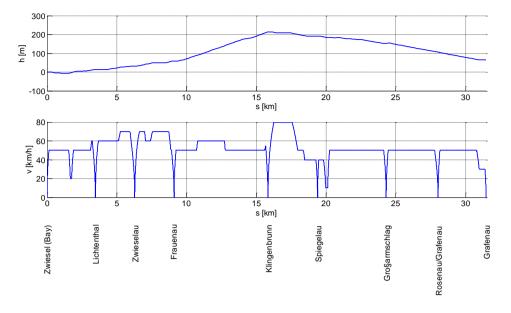


Abbildung 18: Höhen- und Geschwindigkeitsprofil RB 36 Zwiesel - Grafenau

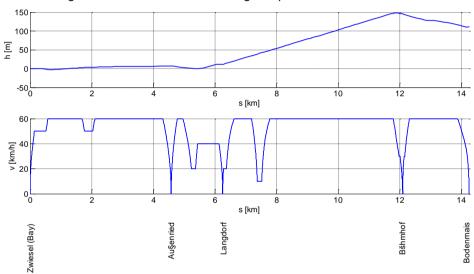


Abbildung 19: Höhen- und Geschwindigkeitsprofil RB 37 Zwiesel – Bodenmais







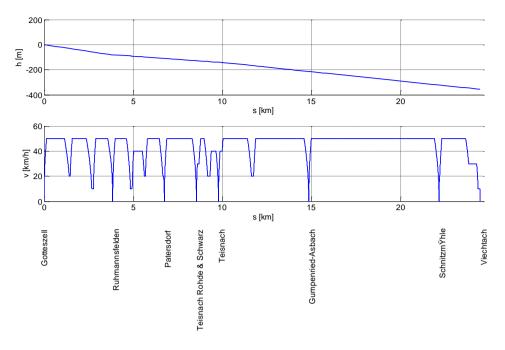


Abbildung 20: Höhen- und Geschwindigkeitsprofil RB 38 Gotteszell - Viechtach





5 Betrieblich-technische Machbarkeit

5.1 Bahnbetriebssimulator OpenTrack

Fahrleitungsgebundene elektrische Verkehrssysteme sind gekennzeichnet durch zeitlich und örtlich veränderliche Lastzustände. Für den Ortsveränderungsprozess der Fahrzeuge müssen Widerstandskräfte überwunden werden. Die wechselnden Betriebszustände der Fahrzeuge verursacht durch die ungleichförmige Bewegung werden mit einer Betriebssimulation abgebildet, die alle notwendigen Eingangsdaten berücksichtigt. In der Simulation werden in Zeitschritten (üblicherweise mit einer Länge von 1 s) die Fahrzustände der Fahrzeuge berechnet (Geschwindigkeit und Zugkraft unter Berücksichtigung der Fahrzeug- und Infrastruktureigenschaften sowie der Betriebssituation). Die Simulation des Betriebsablaufs im Simulator beruht auf:

- der Modellierung der Netzinfrastruktur aller betreffenden Strecken und Streckenabschnitte (einschließlich Trassierung mittels abschnittsweise definierter Gradienten und Bögen, Spurplan und ggf. Sicherungstechnik),
- · der Modellierung fahrdynamisch relevanter Fahrzeugdaten und
- der Modellierung aller betrieblichen Daten (Betriebsstellen, Fahrplan, Anschlussbeziehungen).

Während der Simulation wird die ungleichmäßige Bewegung der spezifizierten Fahrzeuge fahrplangesteuert auf der gegebenen Infrastruktur und unter definierbaren und reproduzierbaren Randbedingungen berechnet.

Mit der Simulation des Fahr- und Umlaufbetriebes wird die Umsetzbarkeit geplanter Betriebskonzepte unter Berücksichtigung der Fahrplanlage (Abfahrtszeiten an den Stationen beider Fahrtrichtungen), des Fahrzeugumlaufs und der Fahrplanstabilität in einem iterativen Prozess überprüft. Im Ergebnis der Betriebssimulationen liegen Fahrprofile, Fahrplanentwürfe, Umlaufzeiten sowie Bildfahrpläne vor.

5.2 Methodik

Zur Ermittlung der Fahrzeit und zur Überprüfung der Einhaltung des in der Abbildung 14 dargestellten Referenzfahrplans wird in der vorliegenden Untersuchung der Bahnbetriebssimulator OpenTrack, vorgestellt im Abschnitt 5.1, eingesetzt. Es werden für alle Simulationen sogenannte Spitzfahrten (minimale Fahrzeit bei maximalen Leistungsanforderungen) unterstellt. Eine Spitzfahrt ist gekennzeichnet durch maximale Beschleunigung bis zur (erreichbaren) Höchstgeschwindigkeit unabhängig von der Zeitdauer der Beharrung und anschließender maximale Bremsverzögerung.

Die Einhaltung der Soll-Fahrplandaten und der daraus resultierende Fahrplantakt wird mit Hilfe von Bildfahrplänen für alle Linien dokumentiert. Die dafür erarbeiteten Fahrplankonzepte werden dem Auftraggeber übergeben (Rail.ML-Dateien).





Darüber hinaus stellte der Auftraggeber Verspätungsdaten zur Verfügung. Diese Daten umfassen die monatliche Anzahl der aufgetretenen Verspätungsminuten sowie die Anzahl der Verspätungsfälle pro Bahnhof. Um sicherzustellen, dass trotz der auftretenden Störungen ein stabiler Fahrplan aufrechterhalten wird, werden zusätzlich Simulationsrechnungen nach der Monte-Carlo-Methode durchgeführt (Details im Kapitel 5.3.6.2). Dabei werden die zugrundeliegenden Störungen in jedem Simulationslauf zufällig verteilt.

Die Bewertung der technisch-betrieblichen Machbarkeit erfolgt auf Basis der zeitund wegabhängig Energiebedarfswerte und der daraus resultierenden Ladezustände der Fahrzeugbatterien unter Berücksichtigung der zugrunde gelegten elektrischen Infrastruktur detailliert je Linie.

Die spezifischen, auf Kilometer bezogenen Energiebedarfswerte und Fahrzeiten unter Fahrdraht bzw. auf freier Strecke werden vorab mit der Simulationssoftware Open Track berechnet. Die in der jeweiligen Variante geplanten und in den Untersuchungen berücksichtigten betrieblichen Aufenthaltszeiten an Ladestationen sind in den Ergebnisdarstellungen mit aufgeführt.

Für die Ermittlung der nachgeladenen Energiemenge unter Fahrdraht während der Fahrt und im Stillstand wird eine konstante Ladeleistung von 1.200 kW angenommen. Für das zugrunde gelegte Akkuhybridfahrzeug wäre eine Ladeleistung von 1.400 kW entsprechend vergleichbarer reiner vollelektrischer Fahrzeuge während der Fahrt möglich. Zur Schaffung einer Traktionsreserve werden jedoch auch hier "nur" 1.200 kW wie im Stand angesetzt Bei der Oberleitungsspannung von 15 kV ergibt sich daraus ein Ladestrom von 80 A, der entsprechend der gültigen Oberleitungsrichtlinien nach TSI ENE bzw. der DB Netze dem maximal zulässigen übertragenen Strom pro Stromabnehmer im Stillstand entspricht.

Aus den Werten der benötigten und nachgeladenen Energiemenge werden linienspezifisch für jeden Fahrtabschnitt und für jeden Ladeprozess SOC-Bilanzen erstellt (State-of-Charge; Ladezustand der Akkumulatoren). Für den Beginn eines Fahrzeugumlaufes wird jeweils ein Ladezustand von 90 % SOC angenommen. Wird während des Fahrzeugumlaufes ein SOC von 30 % unterschritten, bspw. aufgrund von zu kurzen Wendezeiten bzw. zu kurzen Fahrzeiten unter Oberleitung, muss für die jeweilige Linie zusätzliche Infrastruktur für einen BEMU-Betrieb vorgesehen werden, Der jeweils erforderliche Infrastrukturbedarf wird dann mit dem Ziel eine betriebliche Stabilität zu gewährleisten abgeleitet.

BEMU Bayerwald Seite 52 von 181 Stand: 19.12.2022







Tabelle 4: Ausschnitt Berechnungstabelle RB 35 bis Bayerisch Eisenstein

RB 35 bis Bayerisch Eisenstein, Ladeinsel Zwiesel	Fahrtzeit/ Streckenlä nge	spez. Energiebedarf/ km Lade/Entlade- Leistung	Δ Energie im Speicher	Speicher- Energieinhalt 495 kWh	resultierender State-Of-Charge 90%	nominaler Speicher- energieinhalt 550 kWh
Fahrstrecke Plattling - Bettmannsäge	53.334 km	-5.86 kWh/km	-313 kWh	182 kWh	33%	entspricht
Ladezeit Insel Bettmannsäge - Zwiesel	4 min	1200 kW	71 kWh	254 kWh	46%	100 % SOC
Standzeit in Zwiesel	2 min	1200 kW	36 kWh	290 kWh	53%	
Ladezeit Insel Zwiesel - Ludwigsthal	5 min	1200 kW	89 kWh	379 kWh	69%	
Fahrstrecke Ludwigsthal - Bayerisch Eisenstein	8.709 km	-7.12 kWh/km	-62 kWh	317 kWh	58%	
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	31 min	-90 kW	-48 kWh	269 kWh	49%	
Fahrstrecke Bayerisch Eisenstein - Ludwigsthal	8.709 km	-0.92 kWh/km	-8 kWh	261 kWh	47%	
Ladezeit Insel Ludwigsthal - Zwiesel	5 min	1200 kW	89 kWh	350 kWh	64%	
Standzeit in Zwiesel	2 min	1200 kW	36 kWh	386 kWh	70%	
Ladezeit Insel Zwiesel - Bettmannsäge	4 min	1200 kW	71 kWh	457 kWh	83%	
Fahrstrecke Bettmannsäge - Plattling	53.334 km	-2.89 kWh/km	-154 kWh	303 kWh	55%	
Standzeit in Plattling	11 min	1200 kW	196 kWh	495 kWh	90%	

In Tabelle 4 ist ein Auszug aus der verwendeten Berechnungstabelle beispielhaft anhand der RB 35 (ohne Durchbindung nach Klatovy) dargestellt. Für jeden Streckenabschnitt (unter Oberleitung bzw. im Batteriebetrieb) und Ladeprozess im Stillstand wird zunächst der mögliche Ladehub durch den Ladevorgang bzw. die benötigte Energiemenge im Batteriebetrieb zur Fahrt oder den Hilfs- bzw. Komfortbetriebebetrieb im Stillstand (Spalte 4 "Δ Energie im Speicher") errechnet. Der Energiebedarf (Spalte 3) wird hierzu streckenabschnittsgenau angesetzt, wie dieser aus der Spitzfahrtsimulation ermittelt wurde, bzw. es wird eine Ladeleistung an der Oberleitung angesetzt. Reserven z. B. für zusätzliche ungeplante Stillstandszeiten sind im angesetzten Spitzfahrtenergiebedarf bzw. in der Alterungsreserve vorhanden. Die Energiebedarfswerte werden mit den zurückgelegten Kilometern bzw. der verfügbaren Fahrt-/Standzeit multipliziert (Spalte 2) und ergeben so die Werte in Spalte 4. Daraus ergibt sich mit iedem Ladehub bzw. Streckenabschnitt im Batteriebetrieb ein neuer resultierender Speicher-Energieinhalt (Spalte 5), der auf maximal 90 % des Nennenergieinhalts (495 kWh) begrenzt ist und in der vorliegenden Untersuchung im Regelbetrieb mit Spitzfahrt nicht unter 30 % des Nennenergieinhalts (165 kWh) sinken darf. Bezogen auf den Nennenergieinhalt des Speichers wird daraus der resultierende State-of-Charge (SOC bzw. Ladezustand) als Prozentgröße (Spalte 6) ermittelt. Wird hier der Wert von 30 % unterschritten, ergibt sich eine Rotfärbung der Tabelle zur Kenntlichmachung der Unterschreitung des Grenzwertes.

Für die Strecke Plattling – Bettmannsäge (Batteriebetrieb) wurde in den Simulationsläufen ein Energiebedarf von 313 kWh berechnet. Dies führt zur Reduzierung des anfänglichen SOC von 90 % auf 33 %. Im weiteren Verlauf der Fahrt erfolgt das Nachladen unter der als Infrastrukturmaßnahme zugrunde gelegten Oberleitungsinselanlage (OLIA) Zwiesel zwischen Bettmannsäge und Zwiesel, im Stillstand in Zwiesel und anschließend auch zwischen Zwiesel und Ludwigsthal. Durch diese Nachlademöglichkeiten steigt der SOC sukzessive wieder bis auf 69 % an. Bis zum Erreichen des Bahnhofs Bayerisch Eisenstein sinkt der SOC auf unter 50%, verstärkt durch den Hilfs- und Komfortenergiebedarf während der langen Standzeit von 31 min in Bayerisch Eisenstein. Auf der Rückfahrt steigt er während der Fahrt unter der OLIA Zwiesel wieder bis auf 83 % an. Am Ende des Umlaufes beträgt der SOC bei Ankunft in Plattling 55 %. Nach entsprechender Ladezeit durch die dort vorhandene Oberleitungsanlage beträgt der Ladezustand der Fahrzeugbatterie wieder 90 % zum Beginn der





neuen Fahrt. Die technisch-betriebliche Machbarkeit ist für diesen Umlauf unter den gegebenen Randbedingungen und Infrastrukturmaßnahmen (OLIA Zwiesel) somit gegeben.

5.3 Betriebsnachweis

5.3.1 Analyse der Betriebskonzepte

Mit der Simulationssoftware OpenTrack (OT) wurde überprüft, ob die vom Auftraggeber mit einem herkömmlichen RegioShuttle RS1 ermittelten Fahrzeiten auch mit dem Akkuhybridfahrzeug Stadler FLIRT Akku erreicht werden können (siehe auch Abschnitt 4.5). Im Minutenbereich ergaben sich keine Unterschiede zwischen den vom Auftraggeber angegebenen Sollfahrzeiten und den im OT ermittelten Fahrzeiten (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Vergleich der Sollfahrzeiten und der in OpenTrack (OT) errechneten Fahrzeiten

Linie	Sollfahrzeit	Fahrzeit in OT
RB 35 Bayerisch Eisenstein – Plattling	1 h 11 min	1 h 11 min
RB 35 Plattling – Bayerisch Eisenstein	1 h 07 min	1 h 07 min
RB 35 Bayerisch Eisenstein – Klatovy	59 min	59 min
RB 35 Klatovy – Bayerisch Eisenstein	59 min	59 min
RB 36 Zwiesel – Grafenau	47 min	47 min
RB 36 Grafenau – Zwiesel	47 min	47 min
RB 37 Zwiesel – Bodenmais	21 min	21 min
RB 37 Bodenmais – Zwiesel	20 min	20 min
RB 38 Gotteszell – Viechtach	43 min	43 min
RB 38 Viechtach - Gotteszell	41 min	41 min

Nach Überprüfung der vorgegebenen Sollfahrzeiten wurden die fünf vom Auftraggeber vorgegebenen Varianten zum Betriebskonzept (siehe Tabelle 2) untersucht. Eine Übersicht zur betrieblich-technischen Machbarkeit der vorgegebenen Varianten und Betriebskonzepte ohne weitere Infrastrukturmaßnahmen ist in Tabelle 6 zusammengestellt.

Insgesamt stellte sich heraus, dass zunächst keines der vorgegebenen Betriebskonzepte direkt für alle Linien betrieblich-technisch umsetzbar ist, (siehe auch Tabelle 2). Alle Varianten erfordern die Überarbeitung der zugrunde gelegten Elektrifizierungs- und Nachladekonzepte für einzelne Relationen

BEMU Bayerwald Seite 54 von 181 Stand: 19.12.2022





entsprechend der Ergebnisse in Tabelle 6. Auffallend ist, dass die RB 35 bei keiner Variante mit den vom Auftraggeber vorgeschlagenen Infrastrukturmaßnahmen technisch-betrieblich direkt umsetzbar ist. Ursache hierfür ist der vergleichsweise lange nachladungsfreie Abschnitt Plattling – Zwiesel, der bei allen Varianten zu einem sehr niedrigen SOC bei der Ankunft an der Station Zwiesel führt. Dabei würde der minimal zulässige SOC-Wert von 30% unterschritten. Je nach Variante verringert sich der SOC im weiteren Fahrtverlauf noch weiter. Zusätzlich ergibt in den kurzen Ladezeitfenstern in Plattling, dass die Fahrzeugbatterie nach einem Umlauf nie wieder vollständig geladen und damit bei weiteren Umläufen immer weiter entladen wird. Die Untersuchungsergebnisse bezüglich dieser SOC-Bilanzen sind in den Anlagen 13 bis 17 für alle Varianten und Relationen detailliert zusammengestellt.

Die vorgegebenen Varianten 4 und 5 weisen Betriebs- und Nachladekonzepte auf, die prinzipiell für die RB 36 bis 38 betrieblich-technisch umsetzbar sind.

Linie
Variante 1
Variante 2
Variante 3
Variante 4
Variante 5

RB 35
X
X
X
X

RB 36
X
X
X
✓

RB 37
X
X
✓
✓

RB 38
✓
✓
✓
✓

Tabelle 6: Technisch-betriebliche Machbarkeit der vorgegebenen Varianten

Als technisch-betrieblich und voraussichtlich auch ökonomischste vertretbare Variante wurde Variante 4 identifiziert. Gemeinsam mit dem Auftraggeber wurde bereits in einem frühen Projektstatus abgestimmt, im weiteren Projektverlauf nur noch diese Variante detaillierter zu untersuchen und alle Voraussetzungen und erforderlichen Maßnahmen für den Fall, dass die Linie RB 35 stündlich bis Bayerisch Eisenstein und im 2-h-Takt bis Klatovy verkehrt, herauszuarbeiten. Hierfür wurde für die RB 35 die Variante 1 weiterentwickelt und die Untersuchung der Variante 4 entsprechend ergänzt.

5.3.2 RB 35

Das nachfolgend beschriebene Betriebskonzept für den Betrieb der Linie RB 35 wurde zunächst auf seine Eignung für einen ganztägigen, robusten und pünktlichen Fahrgastbetrieb unter Berücksichtigung der folgenden Randbedingungen und Infrastrukturmaßnahmen geprüft:

- Nachladung im Stand unter der in Plattling bereits vorhandenen Oberleitungsanlage mit 15 kV 16,7 Hz
- Nachladung während der Fahrt und im Stand während des Stationshalts in Zwiesel unter einer zu errichtenden Oberleitungsinselanlage (OLIA) zwischen Bettmannsäge und Ludwigsthal

BEMU Bayerwald Seite 55 von 181 Stand: 19.12.2022





 bei Durchbindung der Linie bis Klatovy: Nutzung der dort bereits vorhandenen Oberleitungsanlage (25 kV, 50 Hz) zur Nachladung im Stand.

Der SOC-Verlauf in Tabelle 7 zeigt, dass mit dem geplanten Konzept ein stündlicher Betrieb bis Bayerisch Eisenstein ohne Einschränkungen möglich ist. Beim Erreichen der Oberleitungsanlage in Bettmannsäge von Plattling aus hat die Fahrzeugbatterie noch einen SOC von > 30 %. Durch die Nachladeprozesse während der Fahrten bis und ab Zwiesel sowie während des Halts an dieser Station erreicht das Fahrzeug die Station Bayerisch Eisenstein mit einem SOC von 58 %. Trotz der halbstündigen anzusetzenden Komfort- und Hilfsbetriebeversorgung an der Station Bayerisch Eisenstein im Stand und anschließender oberleitungsfreier Fahrt bis Ludwigsthal bleibt der SOC deutlich >30 %. Die Station Plattling wird mit einem SOC von 55 % erreicht; die Aufenthaltszeit bis zur Wiederabfahrt ist ausreichend um die Fahrzeugbatterie wieder auf 90 % SOC zu laden. Der Fahrzeugumlauf ist mit diesem Konzept aus betrieblich-technischer Sicht umsetzbar.

Eine detaillierte Beschreibung der Infrastrukturmaßnahme OLIA Zwiesel findet sich im Kapitel 7.5.

Tabelle 7: Energiebedarf und SOC-Bilanz RB 35 bis Bayerisch Eisenstein mit OLIA Zwiesel

RB 35 bis Bayerisch Eisenstein, Ladeinsel Zwiesel	Fahrtzeit/ Streckenlä nge	spez. Energiebedarf/ km Lade/Entlade- Leistung	Δ Energie im Speicher	Speicher- Energieinhalt 495 kWh	resultierender State-Of-Charge 90%	nominaler Speicher- energieinhalt 550 kWh
Fahrstrecke Plattling - Bettmannsäge	53.334 km	-5.86 kWh/km	-313 kWh	182 kWh	33%	entspricht
Ladezeit Insel Bettmannsäge - Zwiesel	4 min	1200 kW	71 kWh	254 kWh	46%	100 % SOC
Standzeit in Zwiesel	2 min	1200 kW	36 kWh	290 kWh	53%	
Ladezeit Insel Zwiesel - Ludwigsthal	5 min	1200 kW	89 kWh	379 kWh	69%	
Fahrstrecke Ludwigsthal - Bayerisch Eisenstein	8.709 km	-7.12 kWh/km	-62 kWh	317 kWh	58%	
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	31 min	-90 kW	-48 kWh	269 kWh	49%	
Fahrstrecke Bayerisch Eisenstein - Ludwigsthal	8.709 km	-0.92 kWh/km	-8 kWh	261 kWh	47%	
Ladezeit Insel Ludwigsthal - Zwiesel	5 min	1200 kW	89 kWh	350 kWh	64%	
Standzeit in Zwiesel	2 min	1200 kW	36 kWh	386 kWh	70%	
Ladezeit Insel Zwiesel - Bettmannsäge	4 min	1200 kW	71 kWh	457 kWh	83%	
Fahrstrecke Bettmannsäge - Plattling	53.334 km	-2.89 kWh/km	-154 kWh	303 kWh	55%	
Standzeit in Plattling	11 min	1200 kW	196 kWh	495 kWh	90%	
Fahrstrecke Plattling - Bettmannsäge	53.334 km	-5.86 kWh/km	-313 kWh	182 kWh	33%	
Ladezeit Insel Bettmannsäge - Zwiesel	4 min	1200 kW	71 kWh	254 kWh	46%	
Standzeit in Zwiesel	2 min	1200 kW	36 kWh	290 kWh	53%	
Ladezeit Insel Zwiesel - Ludwigsthal	5 min	1200 kW	89 kWh	379 kWh	69%	
Fahrstrecke Ludwigsthal - Bayerisch Eisenstein	8.709 km	-7.12 kWh/km	-62 kWh	317 kWh	58%	
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	31 min	-90 kW	-48 kWh	269 kWh	49%	
Fahrstrecke Bayerisch Eisenstein - Ludwigsthal	8.709 km	-0.92 kWh/km	-8 kWh	261 kWh	47%	
Ladezeit Insel Ludwigsthal - Zwiesel	5 min	1200 kW	89 kWh	350 kWh	64%	
Standzeit in Zwiesel	2 min	1200 kW	36 kWh	386 kWh	70%	
Ladezeit Insel Zwiesel - Bettmannsäge	4 min	1200 kW	71 kWh	457 kWh	83%	
Fahrstrecke Bettmannsäge - Plattling	53.334 km	-2.89 kWh/km	-154 kWh	303 kWh	55%	
Standzeit in Plattling	11 min	1200 kW	196 kWh	495 kWh	90%	

Wie Tabelle 8 zeigt, würde jedoch basierend auf dieser Infrastrukturausbaustufe (nur OLIA Zwiesel) bei einer betrieblichen Durchbindung bis Klatovy der Energiespeicher mehrfach unter einen SOC von 30 % entladen. Bei Ankunft in Klatovy würde der SOC lediglich noch 13 % betragen.

BEMU Bayerwald Seite 56 von 181 Stand: 19.12.2022







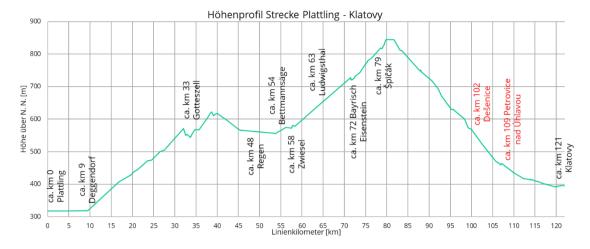


Abbildung 21: Höhenprofil Gesamtstrecke RB 35

Tabelle 8: Energiebedarf und SOC-Bilanz RB 35 bis Klatovy* mit Ladeinsel im Bereich Zwiesel

RB 35 bis Klatovy, Ladeinsel Zwiesel	Fahrtzeit/ Streckenlä nge	spez. Energiebedarf/ km Lade/Entlade- Leistung	Δ Energie im Speicher	Speicher- Energieinhalt 495 kWh	resultierender State-Of-Charge 90%	nominaler Speicher- energieinhalt 550 kWh
Fahrstrecke Plattling - Bettmannsäge	53.334 km	-5.86 kWh/km	-313 kWh	182 kWh	33%	entspricht
Ladezeit Insel Bettmannsäge - Zwiesel	4 min	1200 kW	71 kWh	254 kWh	46%	100 % SOC
Standzeit in Zwiesel	2 min	1200 kW	36 kWh	290 kWh	53%	
Ladezeit Insel Zwiesel - Ludwigsthal	5 min	1200 kW	89 kWh	379 kWh	69%	
Fahrstrecke Ludwigsthal - Bayerisch Eisenstein	8.709 km	-7.12 kWh/km	-62 kWh	317 kWh	58%	
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	2 min	-90 kW	-3 kWh	314 kWh	57%	
Fahrstrecke Bayerisch Eisenstein - Klatovy	49.13 km	-4.89 kWh/km	-240 kWh	73 kWh	13%	
Standzeit in Klatovy	24 min	1400 kW	500 kWh	495 kWh	90%	
Fahrstrecke Klatovy - Bayerisch Eisenstein	49.13 km	-7.39 kWh/km	-363 kWh	132 kWh	24%	
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	2 min	-90 kW	-3 kWh	129 kWh	23%	
Fahrstrecke Bayerisch Eisenstein - Ludwigsthal	8.709 km	-0.92 kWh/km	-8 kWh	121 kWh	22%	
Ladezeit Insel Ludwigsthal - Zwiesel	5 min	1200 kW	89 kWh	210 kWh	38%	
Standzeit in Zwiesel	2 min	1200 kW	36 kWh	246 kWh	45%	
Ladezeit Insel Zwiesel - Bettmannsäge	4 min	1200 kW	71 kWh	317 kWh	58%	
Fahrstrecke Bettmannsäge - Plattling	53.334 km	-2.89 kWh/km	-154 kWh	163 kWh	30%	
Standzeit in Plattling	11 min	1200 kW	196 kWh	359 kWh	65%	
Fahrstrecke Plattling - Bettmannsäge	53.334 km	-5.86 kWh/km	-313 kWh	47 kWh	9%	
Ladezeit Insel Bettmannsäge - Zwiesel	4 min	1200 kW	71 kWh	118 kWh	21%	
Standzeit in Zwiesel	2 min	1200 kW	36 kWh	154 kWh	28%	
Ladezeit Insel Zwiesel - Ludwigsthal	5 min	1200 kW	89 kWh	243 kWh	44%	
Fahrstrecke Ludwigsthal - Bayerisch Eisenstein	8.709 km	-7.12 kWh/km	-62 kWh	181 kWh	33%	
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	2 min	-90 kW	-3 kWh	178 kWh	32%	
Fahrstrecke Bayerisch Eisenstein - Klatovy	49.13 km	-4.89 kWh/km	-240 kWh	-62 kWh	-11%	
Standzeit in Klatovy	24 min	1400 kW	500 kWh	438 kWh	80%	
Fahrstrecke Klatovy - Bayerisch Eisenstein	49.13 km	-7.39 kWh/km	-363 kWh	74 kWh	14%	
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	2 min	-90 kW	-3 kWh	71 kWh	13%	
Fahrstrecke Bayerisch Eisenstein - Ludwigsthal	8.709 km	-0.92 kWh/km	-8 kWh	63 kWh	12%	
Ladezeit Insel Ludwigsthal - Zwiesel	5 min	1200 kW	89 kWh	153 kWh	28%	
Standzeit in Zwiesel	2 min	1200 kW	36 kWh	188 kWh	34%	
Ladezeit Insel Zwiesel - Bettmannsäge	4 min	1200 kW	71 kWh	260 kWh	47%	
Fahrstrecke Bettmansäge - Plattling	53.334 km	-2.89 kWh/km	-154 kWh	106 kWh	19%	
Standzeit in Plattling	11 min	1200 kW	196 kWh	302 kWh	55%	

^{*}Standzeit an der Station Klatovy ist im vorgegebenen Betriebskonzept deutlich länger, hier nur notwendige Standzeit für sicheres einmaliges Vollladen angegeben

Grund dafür ist die Länge der oberleitungsfreien Strecke zwischen Ludwigsthal und Klatovy (ca. 58 km) in Kombination mit der anspruchsvollen Topographie (siehe Abbildung 21) in Streckenverlauf. Die Strecke steigt von Bayerisch Eisenstein bis zum Brechpunkt bei Špičák weitere ca. 115 Höhenmeter an, in denen keine Nachladung stattfindet. Auf der Rückfahrt von Klatovy bis Špičák bzw. Bayerisch Eisenstein spielt der große Höhenunterschied ebenso die





entscheidende Rolle, da die vorhandene Energiemenge auch im vollständig geladenen Energiespeicher den Energiebedarf nicht in den vorgegebenen Grenzen decken kann.

Außerdem reicht im weiteren Betrieb des Umlaufes die vorgesehene Ladezeit in Plattling nicht für eine vollständige Wiederaufladung des Speichers aus. Dies bedeutet, dass der Speicher bei Beginn des folgenden Umlaufs nicht vollständig geladen wäre und bis zur Ankunft in Klatovy noch tiefer entladen wäre.

Tabelle 9: Energiebedarf und SOC-Bilanz RB 35 mit OLIA Zwiesel und zusätzlichem Fahrleitungsabschnitt zwischen Plattling und Deggendorf

RB 35 bis Klatovy,	Fahrtzeit/	spez. Energiebedarf/	Δ Energie			nominaler
Ladeinsel Zwiesel + OL-Verlängerung	Streckenlä	km	im Speicher	Speicher-	resultierender	Speicher-
nach Deggendorf	nge	Lade/Entlade-	ппорежне	Energieinhalt	State-Of-Charge	energieinhalt
		Leistung		495 kWh	90%	550 kWh
Fahrstrecke Brücke Deggendorf - Bettmannsäge	46.334 km	-5.86 kWh/km	-272 kWh	223 kWh	41%	entspricht
Ladezeit Insel Bettmannsäge - Zwiesel	4 min	1200 kW	71 kWh	295 kWh	54%	100 % SOC
Standzeit in Zwiesel	2 min	1200 kW	36 kWh	331 kWh	60%	
Ladezeit Insel Zwiesel - Ludwigsthal	5 min	1200 kW	89 kWh	420 kWh	76%	
Fahrstrecke Ludwigsthal - Bayerisch Eisenstein	8.709 km	-7.12 kWh/km	-62 kWh	358 kWh	65%	
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	2 min	-90 kW	-3 kWh	355 kWh	64%	
Fahrstrecke Bayerisch Eisenstein - Špičák	7.51 km	-15.59 kWh/km	-117 kWh	238 kWh	43%	
Fahrstrecke Špičák - Klatovy	41.62 km	-2.96 kWh/km	-123 kWh	114 kWh	21%	
Standzeit in Klatovy	24 min	1400 kW	500 kWh	495 kWh	90%	
Fahrstrecke Klatovy - Špičák	41.62 km	-8.18 kWh/km	-340 kWh	155 kWh	28%	
Fahrstrecke Špičák - Bayerisch Eisenstein	7.51	-3.01 kWh/km	-23 kWh	132 kWh	24%	
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	2 min	-90 kW	-3 kWh	129 kWh	23%	
Fahrstrecke Bayerisch Eisenstein - Ludwigsthal	8.709 km	-0.92 kWh/km	-8 kWh	121 kWh	22%	
Ladezeit Insel Ludwigsthal - Zwiesel	5 min	1200 kW	89 kWh	210 kWh	38%	
Standzeit in Zwiesel	2 min	1200 kW	36 kWh	246 kWh	45%	
Ladezeit Insel Zwiesel - Bettmannsäge	4 min	1200 kW	71 kWh	317 kWh	58%	
Fahrstrecke Bettmannsäge - Brücke Deggendorf	46.334 km	-2.89 kWh/km	-134 kWh	183 kWh	33%	
Fahrzeit Brücke Deggendorf - Plattling	6 min	1200 kW	107 kWh	290 kWh	53%	
Standzeit in Plattling	11 min	1200 kW	196 kWh	487 kWh	88%	
Fahrzeit Plattling - Brücke Deggendorf	6 min	1200 kW	107 kWh	495 kWh	90%	
Fahrstrecke Brücke Deggendorf - Bettmannsäge	46.334 km	-5.86 kWh/km	-272 kWh	223 kWh	41%	
Ladezeit Insel Bettmannsäge - Zwiesel	4 min	1200 kW	71 kWh	295 kWh	54%	
Standzeit in Zwiesel	2 min	1200 kW	36 kWh	331 kWh	60%	
Ladezeit Insel Zwiesel - Ludwigsthal	5 min	1200 kW	89 kWh	420 kWh	76%	
Fahrstrecke Ludwigsthal - Bayerisch Eisenstein	8.709 km	-7.12 kWh/km	-62 kWh	358 kWh	65%	
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	2 min	-90 kW	-3 kWh	355 kWh	64%	
Fahrstrecke Bayerisch Eisenstein - Klatovy	49.13 km	-4.89 kWh/km	-240 kWh	114 kWh	21%	
Standzeit in Klatovy	24 min	1400 kW	500 kWh	495 kWh	90%	
Fahrstrecke Klatovy - Bayerisch Eisenstein	49.13 km	-7.39 kWh/km	-363 kWh	132 kWh	24%	
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	2 min	-90 kW	-3 kWh	129 kWh	23%	
Fahrstrecke Bayerisch Eisenstein - Ludwigsthal	8.709 km	-0.92 kWh/km	-8 kWh	121 kWh	22%	
Ladezeit Insel Ludwigsthal - Zwiesel	5 min	1200 kW	89 kWh	210 kWh	38%	
Standzeit in Zwiesel	2 min	1200 kW	36 kWh	246 kWh	45%	
Ladezeit Insel Zwiesel - Bettmannsäge	4 min	1200 kW	71 kWh	317 kWh	58%	
Fahrstrecke Bettmansäge - Brücke Deggendorf	46.334 km	-2.89 kWh/km	-134 kWh	183 kWh	33%	
Fahrstrecke Brücke Deggendorf- Plattling	6 min	1200 kW	107 kWh	290 kWh	53%	
Standzeit in Plattling	11 min	1200 kW	196 kWh	487 kWh	88%	

Mit dem Ziel einen BEMU-Betrieb bis nach Klatovy ohne Brechung des Verkehrs in Bayerisch Eisenstein realisieren zu können, wurde in einem weiteren Schritt untersucht, ob ein zusätzlicher Oberleitungsabschnitt von ca. 7 km Länge zwischen Plattling und der Donaubrücke Deggendorf ausreicht, um den Energiebedarf der Fahrzeuge zwischen Plattling und Klatovy zu decken und zu tiefe Entladungen der Fahrzeugbatterie im weiteren Fahrtverlauf zu vermeiden. Optional wäre auch eine Verlängerung der Oberleitung bis Deggendorf Hbf möglich inklusive der Elektrifizierung der vier relevanten Bahnhofsgleise. Die Donaubrücke ist für die Installation der Oberleitung voraussichtlich geeignet. Der Vergleich der beiden Varianten im Bereich Deggendorf wird im Abschnitt 7.4 geführt. Beide Maßnahmen stellen sicher, dass eine vollständige Aufladung im elektrifizierten Abschnitt Deggendorf – Plattling – Deggendorf sicher umgesetzt





werden kann, sodass eine Rückfahrt in Richtung Klatovy mit vollständig geladenem Speicher ab Deggendorf möglich ist.

Tabelle 9 zeigt die Energiebedarfswerte und SOC-Bilanzen mit der dieser zusätzlichen Infrastrukturmaßnahme. Aufgrund des vergleichsweisen langen oberleitungsfreien Abschnittes mit hohem Energiebedarf zwischen Deggendorf und Bettmannsäge (ca. 46 km Länge, SOC in Bettmannsäge 41%) wird die Fahrzeugbatterie durch die Fahrt- und Standzeit im Bereich der OLIA Zwiesel nicht wieder vollständig geladen. Zu Beginn der 58 km langen oberleitungsfreien Fahrt im topografisch noch anspruchsvolleren Bereich zwischen Bayerisch Eisenstein und Zwiesel beträgt der SOC in Ludwigsthal somit nur 76% und sinkt bis zum Erreichen der Station Klatovy auf 21% ab. Ein Betrieb basierend ausschließlich auf Basis der Infrastrukturmaßnahmen OLIA Zwiesel und Oberleitungsverlängerung Plattling ist somit nicht zu empfehlen.

Für die Realisierung eines BEMU-Betriebes bis Klatovy bestehen nunmehr prinzipiell folgende Möglichkeiten:

- Brechung der Verkehre in Bayerisch Eisenstein entsprechend der Tabelle 7 (Weiterfahrt nach Klatovy mit anderen Fahrzeugen, ggf. Bestandsdieselfahrzeuge), wobei dies aus verkehrlichen Gründen nicht vorteilhaft ist,
- Nutzung einer Batterie mit höherem Energiegehalt auf dem BEMU (ca. 850 kWh anstatt ca. 550 kWh),
- zusätzlicher Oberleitungsabschnitt auf tschechischem Gebiet.

Eine zusätzliche Nachladung in Bayerisch Eisenstein zur Überbrückung der fehlenden Energiemenge in Fahrrichtung Klatovy würde zwangsläufig zu einer längeren Aufenthaltszeit in dieser Station führen, was für die Durchbindung bis Klatovy mit einer längeren Fahrzeit einhergehen würde. Für die Fahrt von Klatovy Richtung Plattling wird hierdurch jedoch keine Verbesserung erreicht, da dort der höchste Energiebedarf im Abschnitt Klatovy – Špičák liegt, der von der Nachlademöglichkeit in Bayerisch Eisenstein überhaupt nicht profitieren würde. Zudem ist aus technischer Sicht eine Nachlademöglichkeit in Bayerisch Eisenstein nur mit großen Infrastrukturaufwendungen im vorgelagerten Landesenergieversorgungsnetz umsetzbar, wie Abschnitt 7.9 zeigt. Deshalb wurde diese Option in der Untersuchung nicht weiter betrachtet.

Für das **Mitführen eines größeren Energiespeichers** ist ein größeres Fahrzeug (z.B. Dreiteiler Stadler FLIRT Akku) erforderlich, wodurch massebedingt gleichzeitig der Traktionsenergiebedarf steigt. Aufgrund des topografisch anspruchsvollen Streckenverlaufs wird in Tabelle 10 von einem um ca. 20 % erhöhten Energiebedarf bei einer Massenzunahme auf ca. 120 t ausgegangen.





Tabelle 10: Energiebedarf und SOC-Bilanz RB 35 bis Klatovy mit zusätzlichem Fahrleitungsabschnitt zwischen Plattling und Deggendorf sowie größerem Fahrzeugenergiespeicher

RB 35 bis Klatovy, Ladeinsel Zwiesel + OL-Verlängerung nach Deggendorf + größerer Fahrzeugenergiespeicher	Fahrtzeit/ Streckenlä nge	spez. Energiebedarf/ km Lade/Entlade- Leistung (Energiebedarf + 20 %)	Δ Energie im Speicher	Speicher- Energieinhalt 765 kWh	resultierender State-Of-Charge 90%	nominaler Speicher- energieinhalt 850 kWh
Fahrstrecke Brücke Deggendorf - Bettmannsäge	46.334 km	-7.032 kWh/km	-326 kWh	439 kWh	52%	entspricht
Ladezeit Insel Bettmannsäge - Zwiesel	4 min	1200 kW	71 kWh	511 kWh	60%	100 % SOC
Standzeit in Zwiesel	2 min	1200 kW	36 kWh	546 kWh	64%	
Ladezeit Insel Zwiesel - Ludwigsthal	5 min	1200 kW	89 kWh	636 kWh	75%	
Fahrstrecke Ludwigsthal - Bayerisch Eisenstein	8.709 km	-8.544 kWh/km	-74 kWh	561 kWh	66%	
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	2 min	-90 kW	-3 kWh	558 kWh	66%	
Fahrstrecke Bayerisch Eisenstein - Špičák	7.51 km	-18.70 kWh/km	-140 kWh	418 kWh	49%	
Fahrstrecke Špičák - Klatovy	41.62 km	-3.552 kWh/km	-148 kWh	270 kWh	32%	
Standzeit in Klatovy	24 min	1800 kW	643 kWh	765 kWh	90%	
Fahrstrecke Klatovy - Špičák	41.62 km	-9.816 kWh/km	-409 kWh	356 kWh	42%	
Fahrstrecke Špičák - Bayerisch Eisenstein	7.51	-3.61 kWh/km	-27 kWh	329 kWh	39%	
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	2 min	-90 kW	-3 kWh	326 kWh	38%	
Fahrstrecke Bayerisch Eisenstein - Ludwigsthal	8.709 km	-1.104 kWh/km	-10 kWh	317 kWh	37%	
Ladezeit Insel Ludwigsthal - Zwiesel	5 min	1200 kW	89 kWh	406 kWh	48%	
Standzeit in Zwiesel	2 min	1200 kW	36 kWh	442 kWh	52%	
Ladezeit Insel Zwiesel - Bettmannsäge	4 min	1200 kW	71 kWh	513 kWh	60%	
Fahrstrecke Bettmannsäge - Brücke Deggendorf	46.334 km	-3.468 kWh/km	-161 kWh	352 kWh	41%	
Fahrzeit Brücke Deggendorf - Plattling	6 min	1200 kW	107 kWh	459 kWh	54%	
Standzeit in Plattling	11 min	1200 kW	196 kWh	656 kWh	77%	
Fahrzeit Plattling - Brücke Deggendorf	6 min	1200 kW	107 kWh	763 kWh	90%	
Fahrstrecke Brücke Deggendorf - Bettmannsäge	46.334 km	-7.032 kWh/km	-326 kWh	437 kWh	51%	
Ladezeit Insel Bettmannsäge - Zwiesel	4 min	1200 kW	71 kWh	508 kWh	60%	
Standzeit in Zwiesel	2 min	1200 kW	36 kWh	544 kWh	64%	
Ladezeit Insel Zwiesel - Ludwigsthal	5 min	1200 kW	89 kWh	633 kWh	75%	
Fahrstrecke Ludwigsthal - Bayerisch Eisenstein	8.709 km	-8.544 kWh/km	-74 kWh	559 kWh	66%	
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	2 min	-90 kW	-3 kWh	556 kWh	65%	
Fahrstrecke Bayerisch Eisenstein - Klatovy	49.13 km	-5.868 kWh/km	-288 kWh	267 kWh	31%	
Standzeit in Klatovy	24 min	1800 kW	643 kWh	765 kWh	90%	
Fahrstrecke Klatovy - Bayerisch Eisenstein	49.13 km	-8.868 kWh/km	-436 kWh	329 kWh	39%	
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	2 min	-90 kW	-3 kWh	326 kWh	38%	
Fahrstrecke Bayerisch Eisenstein - Ludwigsthal	8.709 km	-1.104 kWh/km	-10 kWh	317 kWh	37%	
Ladezeit Insel Ludwigsthal - Zwiesel	5 min	1200 kW	89 kWh	406 kWh	48%	
Standzeit in Zwiesel	2 min	1200 kW	36 kWh	442 kWh	52%	
Ladezeit Insel Zwiesel - Bettmannsäge	4 min	1200 kW	71 kWh	513 kWh	60%	
Fahrstrecke Bettmansäge - Brücke Deggendorf	46.334 km	-3.468 kWh/km	-161 kWh	352 kWh	41%	
Fahrstrecke Brücke Deggendorf- Plattling	6 min	1200 kW	107 kWh	459 kWh	54%	
Standzeit in Plattling	11 min	1200 kW	196 kWh	656 kWh	77%	

Tabelle 10 zeigt, dass der Betrieb zwischen Plattling und Klatovy mit BEMU-Fahrzeugen unter Erfüllung der folgenden Randbedingungen realisierbar wäre:

- Lademöglichkeiten in Plattling und anschließend auf dem Streckenabschnitt mindestens bis zur Brücke in Deggendorf,
- Nutzung der OLIA Zwiesel zwischen Brettmannsäge und Ludwigsthal,
- Lademöglichkeit in Klatovy und
- Mitführen eines Energiespeichers mit einem Energieinhalt von mindestens 850 kWh an Bord des BEMU.

Eine Fahrzeugbatterie mit einem höheren Energiegehalt wäre nur für die durchgebundenen Fahrten der RB 35 nach Klatovy erforderlich. Alle anderen Linien im Bayerwaldnetz könnten mit einem nominellen Energiespeicherinhalt von 550 kWh bedient werden. Vor dem Hintergrund einer anzustrebenden möglichst einheitliche Fahrzeugflotte an Oberleitungs-/Batteriehybridfahrzeugen im Bayerwaldnetz, wird diese Variante beim Auftraggeber nicht favorisiert. Hintergrund ist, dass bei kleinen Teilmengen an Fahrzeugen der Anteil der Einmalkosten je Fahrzeug überproportional stark wirkt und zusätzlich außerdem





umfangreiche betriebliche Restriktionen entstehen. Daher wurde untersucht, ob anstelle eines größeren Energiespeichers für einzelne Fahrzeuge auch ein weiterer Oberleitungsabschnitt auf dem topografisch anspruchsvollen Streckenabschnitt zwischen Bayerisch Eisenstein und Klatovy zur Sicherung des Einsatzes von BEMU-Triebfahrzeugen beitragen kann.

Unter Berücksichtigung des Höhenverlaufes und umweltrechtlicher Belange wurde eine potenzielle OLIA im Bereich Nyrsko zwischen Dešenice und Petrovice identifiziert. Diese wäre ca. 7 km lang und befindet sich noch außerhalb der umweltrechtlichen EU-Schutzzone Natura 2000 (siehe hierzu Kapitel 7.6), jedoch bereits im stark ansteigenden Bereich der Rampe bis Špičák.

Tabelle 11: Energiebedarf und SOC-Bilanz RB 35 bis Klatovy mit OLIA Zwiesel, zusätzlichem Oberleitungs-Abschnitt Plattling – Deggendorf und der OLIA Nyrsko von Dešenice nach Petrovice

DD 25 his Klatson, I adained 7 viscal .		spez.				
RB 35 bis Klatovy, Ladeinsel Zwiesel +	Fahrtzeit/	Energiebedarf/			resultierender	nominaler
OL-Verlängerung nach	Streckenlä	km	Δ Energie	Speicher-	State-Of-Charge	Speicher-
Deggendorf + Ladeinsel Dešenice -	nge	Lade/Entlade-	im Speicher	Energieinhalt	J	energieinhalt
Petrovice	95	Leistung		495 kWh	90%	550 kWh
Fahrstrecke Brücke Deggendorf - Bettmannsäge	46.334 km	-5.86 kWh/km	-272 kWh	223 kWh	41%	entspricht
Ladezeit Insel Bettmannsäge - Zwiesel	4 min	1200 kW	71 kWh	295 kWh	54%	100 % SOC
Standzeit in Zwiesel	2 min	1200 kW	36 kWh	331 kWh	60%	
Ladezeit Insel Zwiesel - Ludwigsthal	5 min	1200 kW	89 kWh	420 kWh	76%	
Fahrstrecke Ludwigsthal - Bayerisch Eisenstein	8.709 km	-7.12 kWh/km		358 kWh	65%	
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	2 min	-90 kW	-3 kWh	355 kWh	64%	
Fahrstrecke Bayerisch Eisenstein - Desenice	30.08 km	-6.12 kWh/km	-184 kWh	171 kWh	31%	
Fahrzeit Desenice - Petrovice	7 min	1200 kW	125 kWh	296 kWh	54%	
Fahrstrecke Petrovice - Klatovy	11.82 km	-0.76 kWh/km	-9 kWh	287 kWh	52%	
Standzeit in Klatovy	24 min	1400 kW	500 kWh	495 kWh	90%	
Fahrstrecke Klatovy - Petrovice	11.82 km	-6.06 kWh/km	-72 kWh	423 kWh	77%	
Fahrzeit Petrovice - Desenice	9 min	1200 kW	161 kWh	495 kWh	90%	
Fahrstrecke Desenice - Bayerisch Eisenstein	30.08 km	-4.77 kWh/km	-143 kWh	352 kWh	64%	
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	2 min	-90 kW	-3 kWh	348 kWh	63%	
Fahrstrecke Bayerisch Eisenstein - Ludwigsthal	8.709 km	-0.92 kWh/km	-8 kWh	340 kWh	62%	
Ladezeit Insel Ludwigsthal - Zwiesel	5 min	1200 kW	89 kWh	430 kWh	78%	
Standzeit in Zwiesel	2 min	1200 kW	36 kWh	465 kWh	85%	
Ladezeit Insel Zwiesel - Bettmannsäge	4 min	1200 kW	71 kWh	495 kWh	90%	
Fahrstrecke Bettmannsäge - Brücke Deggendorf	46.334 km	-2.89 kWh/km	-134 kWh	361 kWh	66%	
Fahrzeit Brücke Deggendorf - Plattling	6 min	1200 kW	107 kWh	468 kWh	85%	
Standzeit in Plattling	11 min	1200 kW	196 kWh	495 kWh	90%	
Fahrzeit Plattling - Brücke Deggendorf	6 min	1200 kW	107 kWh	495 kWh	90%	
Fahrstrecke Brücke Deggendorf - Bettmannsäge	46.334 km	-5.86 kWh/km	-272 kWh	223 kWh	41%	
Ladezeit Insel Bettmannsäge - Zwiesel	4 min	1200 kW	71 kWh	295 kWh	54%	
Standzeit in Zwiesel	2 min	1200 kW	36 kWh	331 kWh	60%	
Ladezeit Insel Zwiesel - Ludwigsthal	5 min	1200 kW	89 kWh	420 kWh	76%	
Fahrstrecke Ludwigsthal - Bayerisch Eisenstein	8.709 km	-7.12 kWh/km	-62 kWh	358 kWh	65%	
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	2 min	-90 kW	-3 kWh	355 kWh	64%	
Fahrstrecke Bayerisch Eisenstein - Desenice	30.08 km	-6.12 kWh/km	-184 kWh	171 kWh	31%	
Fahrzeit Desenice - Petrovice	7 min	1200 kW	125 kWh	296 kWh	54%	
Fahrstrecke Petrovice - Klatovy	11.82 km	-0.76 kWh/km	-9 kWh	287 kWh	52%	
Standzeit in Klatovy	24 min	1400 kW	500 kWh	495 kWh	90%	
Fahrstrecke Klatovy - Petrovice	11.82 km	-6.06 kWh/km	-72 kWh	423 kWh	77%	
Fahrzeit Petrovice - Desenice	9 min	1200 kW	161 kWh	495 kWh	90%	
Fahrstrecke Desenice - Bayerisch Eisenstein	30.08 km	-4.77 kWh/km	-143 kWh	352 kWh	64%	
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	2 min	-90 kW	-3 kWh	348 kWh	63%	
Fahrstrecke Bayerisch Eisenstein - Ludwigsthal	8.709 km	-0.92 kWh/km	-8 kWh	340 kWh	62%	
Ladezeit Insel Ludwigsthal - Zwiesel	5 min	1200 kW	89 kWh	430 kWh	78%	
Standzeit in Zwiesel	2 min	1200 kW	36 kWh	465 kWh	85%	
Ladezeit Insel Zwiesel - Bettmannsäge	4 min	1200 kW	71 kWh	495 kWh	90%	
Fahrstrecke Bettmansäge - Brücke Deggendorf	46.334 km	-2.89 kWh/km	-134 kWh	361 kWh	66%	
Fahrstrecke Brücke Deggendorf- Plattling	6 min	1200 kW	107 kWh	468 kWh	85%	
Standzeit in Plattling	11 min	1200 kW	196 kWh	495 kWh	90%	

Tabelle 11 zeigt, dass mit einer zusätzlichen Oberleitungsinselanlage zwischen Dešenice und Petrovice nad Úhlavou ein Betrieb der RB 35 unter den gegeben Randbedingungen möglich wäre. Die tschechische Oberleitungsinselanlage wird zwar von Bayerisch Eisenstein kommend mit einem grenzwertigen SOC von 31%

BEMU Bayerwald Seite 61 von 181 Stand: 19.12.2022





erreicht. In den angesetzten Parametern und durchgeführten Simulationsrechnungen sind jedoch verschiedene worst-case Annahmen getroffen (Spitzfahrten, volle Hilfs- u. Komfortbetriebeleistung der Fahrzeuge, moderate Ladung während Fahrt unter Oberleitung, etc.), sodass ein Betrieb mit diesen Infrastrukturmaßnahmen stabil möglich ist.

Anzumerken bleibt, dass diese Infrastrukturmaßnahme auf tschechischer Seite eine zusätzliche grenzüberschreitende Planungsschnittstelle erfordert und zudem die Gesamtinvestitionen sowie die Betriebskosten (Instandhaltung) erhöht.

Eine detaillierte Beschreibung der Infrastrukturmaßnahme OLIA Nyrsko findet sich im Kapitel 7.6.

5.3.3 RB 36

Für den BEMU-Betrieb der Strecke Zwiesel – Grafenau (RB 36) wurden für die erforderliche Ladeinfrastruktur prinzipiell zwei Varianten identifiziert:

- Errichtung einer Nachladestation am Bahnhof Grafenau,
- Verlängerung der Oberleitungsinselanlage (ca. 3 km) vom Bahnhof Zwiesel zum Haltepunkt Lichtenthal.

Beide Varianten wurden betrieblich-technisch und wirtschaftlich untersucht. Die Ergebnisse in Tabelle 12 und Tabelle 13 zeigen, dass mit beiden Infrastrukturmaßnahmen die RB 36 mit BEMU-Fahrzeugen vom Typ Stadler FLIRT Akku betrieben werden kann. Bei beiden Varianten bewegt sich der Ladezustand der Fahrzeugbatterien mit ausreichen Puffer im vorgegebenen SOC-Bereich zwischen 90 % und 30 %

Eine detaillierte Beschreibung der Infrastrukturmaßnahmen der RB 36 und ein Vergleich findet sich im Kapitel 7.7 (bzw. zur OLIA Zwiesel im Kapitel 7.5).

Tabelle 12: Energiebedarf und SOC-Bilanz RB 36 mit OLIA Zwiesel (für RB 36 nur zur Standladung) und Ladestation in Grafenau

RB 36 Ladestation Grafenau	Fahrtzeit/ Streckenlä nge	spez. Energiebedarf/ km Lade/Entlade- Leistung	Δ Energie im Speicher	Speicher- Energieinhalt 495 kWh	resultierender State-Of-Charge 90%	nominaler Speicher- energieinhalt 550 kWh
Fahrstrecke Zwiesel - Grafenau	31.48 km	-5.22 kWh/km	-164 kWh	331 kWh	60%	entspricht
Standzeit in Grafenau	19 min	1200 kW	339 kWh	495 kWh	90%	100 % SOC
Fahrstrecke Grafenau - Zwiesel	31.48 km	-4.22 kWh/km	-133 kWh	362 kWh	66%	
Standzeit in Zwiesel	5 min	1200 kW	89 kWh	451 kWh	82%	
Fahrstrecke Zwiesel - Grafenau	31.48 km	-5.22 kWh/km	-164 kWh	287 kWh	52%	
Standzeit in Grafenau	19 min	1200 kW	339 kWh	495 kWh	90%	
Fahrstrecke Grafenau - Zwiesel	31.48 km	-4.22 kWh/km	-133 kWh	362 kWh	66%	
Standzeit in Zwiesel	5 min	1200 kW	89 kWh	451 kWh	82%	

Bei Variante 2 (Oberleitungsausbau bis zum Haltepunkt Lichtenthal) müssen ggf. betriebliche Anpassungen vorgenommen werden, da der Haltepunkt derzeit nur als Bedarfshalt genutzt wird.

BEMU Bayerwald Seite 62 von 181 Stand: 19.12.2022







Tabelle 13: Energiebedarf und SOC-Bilanz RB 36 mit einer OL-Verlängerung zwischen Bf. Zwiesel und Hp Lichtenthal

RB 36 Oberleitungsverlängerung Zwiesel - Lichtenthal	Fahrtzeit/ Streckenlä nge	spez. Energiebedarf/ km Lade/Entlade- Leistung	Δ Energie im Speicher	Speicher- Energieinhalt 495 kWh	resultierender State-Of-Charge 90%	nominaler Speicher- energieinhalt 550 kWh
Fahrstrecke Lichtenthal - Grafenau	27.97 km	-5.22 kWh/km	-146 kWh	349 kWh	63%	entspricht
Standzeit in Grafenau	19 min	-90 kW	-29 kWh	320 kWh	58%	100 % SOC
Fahrstrecke Grafenau - Lichtenthal	27.97 km	-4.22 kWh/km	-118 kWh	202 kWh	37%	
Ladezeit Lichtenthal - Zwiesel	6 min	1200 kW	107 kWh	309 kWh	56%	
Standzeit in Zwiesel	5 min	1200 kW	89 kWh	398 kWh	72%	
Ladezeit Zwiesel - Lichtenthal	6 min	1200 kW	107 kWh	495 kWh	90%	
Fahrstrecke Lichtenthal - Grafenau	27.97 km	-5.22 kWh/km	-146 kWh	349 kWh	63%	
Standzeit in Grafenau	19 min	-90 kW	-29 kWh	320 kWh	58%	
Fahrstrecke Grafenau - Lichtenthal	27.97 km	-4.22 kWh/km	-118 kWh	202 kWh	37%	
Ladezeit Lichtenthal - Zwiesel	6 min	1200 kW	107 kWh	309 kWh	56%	
Standzeit in Zwiesel	5 min	1200 kW	89 kWh	398 kWh	72%	
Ladezeit Zwiesel - Lichtenthal	6 min	1200 kW	107 kWh	495 kWh	90%	

Zwischenfazit ist, dass eine Errichtung einer Ladestation in Grafenau eine höhere Reserve für einen stabilen Betrieb (Entladung auf minimal 66 % SOC vs. Entladung auf minimal 37 % SOC) ermöglicht als die Elektrifizierung des Abschnittes Lichtenthal – Zwiesel. Insbesondere bei verspäteten Ankünften in Zwiesel aus Richtung Grafenau, bspw. aufgrund einer verspäteten Kreuzung in Spiegelau und anschließender fahrplanmäßiger Rückfahrt nach Grafenau, wird die Ladezeit im elektrifizierten Abschnitt zu knapp. Die längere Standzeit (und damit Ladezeit) in Grafenau bietet hingegen für verspätete Ankünfte aus Zwiesel ausreichend Ladezeitpuffer und könnte einen Ausfall der Wendezeit im Bahnhof Zwiesel auch dauerhaft ausgleichen.

5.3.4 RB 37

Für die Linie RB 37 wurde untersucht, ob die Nutzung der Oberleitungsinselanlage in Zwiesel, die für den BEMU-Betrieb auf der Linie RB 35 ohnehin erforderlich ist, ausreicht, um den geplanten Betrieb mit Akkuhybridfahrzeugen auch auf der Strecke Zwiesel – Bodenmais (RB 37) zu realisieren.

Die Ergebnisse in Tabelle 14 zeigen, dass mit dem zugrunde gelegten Betriebskonzept und der damit festgelegten Standzeit am Bahnhof Zwiesel die Fahrzeugbatterie jeweils vollständig aufgeladen (90 % SOC) werden kann. Mit dem geplanten nominalen Speicherinhalt der Fahrzeugbatterien von 550 kWh ergibt sich auf dieser Strecke zudem ein sehr großer Puffer im Batteriespeicher für eventuelle Betriebsverzögerungen oder längere Standzeiten in Bodenmais.

Für die Umstellung des Betriebes im Bayerwaldnetz auf Akkuhybridfahrzeuge ist für den Betrieb der RB 37 keine gesonderte Infrastrukturmaßnahme erforderlich. Die Leistungs- und Energiebedarfsbereitstellung für den Ladeprozess der Fahrzeuge der RB 37 in Zwiesel ist bei der elektrotechnischen Auslegung der OLIA in Zwiesel mit zu berücksichtigen. Eine detaillierte Betrachtung der Leistungslegung der OLIA Zwiesel findet sich im Kapitel 7.5.2 (bzw. zur OLIA Zwiesel allgemein im gesamten Kapitel 7.5).

BEMU Bayerwald Seite 63 von 181 Stand: 19.12.2022





Tabelle 14: Energiebedarf und SOC-Bilanz RB 37 mit Oberleitungsinselanlage Zwiesel

RB 37	Fahrtzeit/ Streckenlä nge	spez. Energiebedarf/ km Lade/Entlade- Leistung	Δ Energie im Speicher	Speicher- Energieinhalt 495 kWh	resultierender State-Of-Charge 90%	nominaler Speicher- energieinhalt 550 kWh
Fahrstrecke Zwiesel - Bodenmais	14.14 km	-7.12 kWh/km	-101 kWh	394 kWh	72%	entspricht
Standzeit in Bodenmais	6 min	-90 kW	-9 kWh	385 kWh	70%	100 % SOC
Fahrstrecke Bodenmais - Zwiesel	14.14 km	-2.81 kWh/km	-40 kWh	345 kWh	63%	
Standzeit in Zwiesel	12 min	1200 kW	214 kWh	495 kWh	90%	
Fahrstrecke Zwiesel - Bodenmais	14.14 km	-7.12 kWh/km	-101 kWh	394 kWh	72%	
Standzeit in Bodenmais	6 min	-90 kW	-9 kWh	385 kWh	70%	
Fahrstrecke Bodenmais - Zwiesel	14.14 km	-2.81 kWh/km	-40 kWh	345 kWh	63%	
Standzeit in Zwiesel	12 min	1200 kW	214 kWh	495 kWh	90%	

5.3.5 RB 38

Für den BEMU-Betrieb auf der Strecke Gotteszell – Viechtach ergeben sich prinzipiell zwei Varianten zur Ladung der Fahrzeugbatterien: Nachladung in Gotteszell oder in Viechtach.

Tabelle 15 und Tabelle 16 zeigen, dass es betrieblich-technisch unerheblich ist, an welchem der beiden Wendebahnhöfe, Gotteszell oder Viechtach, eine Ladestation installiert wird. Bei beiden Varianten sinkt der SOC während des Fahrzeugumlaufes nicht unter 40 %. Mit dem geplanten nominalen Speicherinhalt der Fahrzeugbatterien von 550 kWh ist für eventuelle Betriebsverzögerungen oder längere Standzeiten am nicht elektrifizierten Streckenende ausreichend Puffer im Batteriespeicher vorhanden.

Eine detaillierte Beschreibung der Infrastrukturmaßnahmen der RB 38 und ein Vergleich findet sich im Kapitel 7.8.

Tabelle 15: Energiebedarf und SOC-Bilanz RB 38 mit Ladestation am Bahnhof Gotteszell

RB 38 Ladestation Gotteszell	Fahrtzeit/ Streckenlä nge	spez. Energiebedarf/ km Lade/Entlade- Leistung	Δ Energie im Speicher	Speicher- Energieinhalt 495 kWh	resultierender State-Of-Charge 90%	nominaler Speicher- energieinhalt 550 kWh
Fahrstrecke Gotteszell - Viechtach	25.01 km	-0.74 kWh/km	-19 kWh	476 kWh	87%	entspricht
Standzeit in Viechtach	15 min	-90 kW	-23 kWh	453 kWh	82%	100 % SOC
Fahrstrecke Viechtach - Gotteszell	25.01 km	-8.88 kWh/km	-222 kWh	231 kWh	42%	
Standzeit in Gotteszell	21 min	1200 kW	375 kWh	495 kWh	90%	
Fahrstrecke Gotteszell - Viechtach	25.01 km	-0.74 kWh/km	-19 kWh	476 kWh	87%	
Standzeit in Viechtach	15 min	-90 kW	-23 kWh	453 kWh	82%	
Fahrstrecke Viechtach - Gotteszell	25.01 km	-8.88 kWh/km	-222 kWh	231 kWh	42%	
Standzeit in Gotteszell	21 min	1200 kW	375 kWh	495 kWh	90%	

Tabelle 16: Energiebedarf und SOC-Bilanz RB 38 mit Ladestation am Bahnhof Viechtach

RB 38 Ladestation Viechtach	Fahrtzeit/ Streckenlä nge	spez. Energiebedarf/ km Lade/Entlade- Leistung	Δ Energie im Speicher	Speicher- Energieinhalt 495 kWh	resultierender State-Of-Charge 90%	nominaler Speicher- energieinhalt 550 kWh
Fahrstrecke Gotteszell - Viechtach	25.01 km	-0.74 kWh/km	-19 kWh	476 kWh	87%	entspricht
Standzeit in Viechtach	15 min	1200 kW	268 kWh	495 kWh	90%	100 % SOC
Fahrstrecke Viechtach - Gotteszell	25.01 km	-8.88 kWh/km	-222 kWh	273 kWh	50%	
Standzeit in Gotteszell	21 min	-90 kW	-32 kWh	240 kWh	44%	
Fahrstrecke Gotteszell - Viechtach	25.01 km	-0.74 kWh/km	-19 kWh	222 kWh	40%	
Standzeit in Viechtach	15 min	1200 kW	268 kWh	490 kWh	89%	
Fahrstrecke Viechtach - Gotteszell	25.01 km	-8.88 kWh/km	-222 kWh	268 kWh	49%	
Standzeit in Gotteszell	21 min	-90 kW	-32 kWh	235 kWh	43%	

BEMU Bayerwald Seite 64 von 181 Stand: 19.12.2022





5.3.6 Bewertung betriebliche Stabilität

5.3.6.1 Ganztägiger, störungsfreier Fahrgastbetrieb

Der vorliegende Fahrplan mit den Referenzfahrzeiten (siehe Abbildung 14) kann mit dem eingesetzten batterieelektrischen Referenzfahrzeug umgesetzt werden (siehe 4.2). Alle Sollfahrzeiten können auf Basis der Simulationsergebnisse mit dem zugrunde gelegten Akkuhybridfahrzeig erreicht werden. In Abbildung 16 bis Abbildung 20 sind die zugehörigen Fahrprofile der untersuchten Linien dargestellt. Es kann festgestellt werden, dass bestehende oder geplante Fahrpläne und Umläufe im Bayerwaldnetz, die auf konventionellen (Diesel-) Fahrzeugen des Typs RS1 (und damit höhere Anforderungen stellen als jene des Typs Lint 41) basieren, grundsätzlich auch mit Akkuhybridfahrzeugen umgesetzt werden können.

Die Bildfahrpläne eines ganzen Betriebstages sind für alle untersuchten Linien des Bayerwaldnetzes in den Anlagen 1 bis 12 dargestellt.

Die betrieblich geplanten Standzeiten an den jeweiligen Zielbahnhöfen und die tatsächlich benötigten Ladezeiten ergeben die in Tabelle 17 zusammengestellten Zeitpuffer zum Abbau von Verspätungen, längeren Standzeiten o.ä. Zudem könnten im ungestörten, fahrplangetreuen Umlaufbetrieb die Nachladungen mit geringerer Leistung (und damit längeren Ladezeiten) zur Schonung des Fahrzeugspeichers und ggf. zur Verringerung von Ladeleistungsspitzen bei gleichzeitiger Nachladung mehrerer Fahrzeuge an einem Standort erfolgen.

Tabelle 17: Übersicht Ladezeiten und Zeitpuffer für Nachladungen bei Verspätungen o.ä.

Linie	Nachladung in	Mindestladezeit	Zeitpuffer
RB 35 bis Bayerisch Eisenstein	- Plattling - OLIA Zwiesel	Plattling 10 min OL-Abschnitt ≙ Fahrzeiten	Plattling 1 min
RB 35 bis Bayerisch Eisenstein	PlattlingPlattling -DeggendorfOLIA Zwiesel	Plattling 0 min OL-Abschnitte ≙ Fahrzeiten	Plattling 11 min
RB 35 bis Klatovy	Plattling -DeggendorfOLIA ZwieselOLIA Dešenice-PetroviceKlatovy	Plattling 0 min OL-Abschnitte ≙ Fahrzeiten Klatovy 7 min	Plattling 11 min Klatovy > 1h
RB 36	- Grafenau / Zwiesel	10 min / 0 min (wenn Ladeleistung Grafenau 1200 kW)	Grafenau 9 min / Zwiesel 5 min
RB 37	- Zwiesel	9 min	3 min





RB 38	- Gotteszell oder	15 min	Gotteszell 6 min
	Viechtach		Viechtach 0 min

5.3.6.2 Ganztägiger Fahrgastbetrieb mit Verspätungen

Vom Auftraggeber wurden Verspätungsdaten für den Zeitraum vom Januar 2018 – Oktober 2021 zur Verfügung gestellt. Darin sind für jeden Monat die aufgetretenen Verspätungsminuten sowie die Anzahl der Verspätungsfälle je Station zusammengestellt. In der vorliegenden Auswertung liegt ab der ersten Verspätungsminute ein Verspätungsfall liegt vor.

Die Auswertung der stations- und monatsbezogenen Verspätungsdaten ergibt die in Tabelle 18 dargestellten prozentualen Anteile verspäteter Fahrten an der Gesamtfahrtzahl sowie die jeweils entsprechende durchschnittliche Verspätungsdauer je Station. Die durchschnittliche Verspätungsdauer ist hier der Quotient aus der Gesamtverspätungsdauer im betrachteten Zeitraum (Jan. 2018 – Okt. 2021) und der Anzahl der Verspätungsfälle.

An der Station Deggendorf tritt mit ca. 11 % der größte prozentuale Anteil verspäteter Züge auf. Die durchschnittliche Verspätung beträgt hier etwa 4 min. An der Station Lichtenthal ist der prozentuale Anteil verspäteter Fahrten mit 0,002 % am geringsten, die (rechnerisch) durchschnittliche Verspätungsdauer mit ca. 2 h am höchsten. Verursacht durch singuläre, seltene Einzelereignisse, die während des Ereignisses eine große Auswirkung auf den Betrieb haben, aber für die Gesamtergebnisse der Verspätungsanalyse von geringer Bedeutung sind.

Tabelle 18: Verspätungsanalyse Zeitraum Januar 2018 – Oktober 2021

Anteil verspäteter Fahrten in %	Durchschnittliche Verspätung in Minuten
0,30	9,20
11,17	3,76
0,004	12,00
0,82	8,14
0,01	24,33
0,04	20,65
0,002	123,00
0,07	11,29
0,29	9,71
2,45	6,69
	9,30 11,17 0,004 0,82 0,01 0,04 0,002 0,07 0,29





Um den Einfluss der Verspätungen auf das Gesamtsystem zu untersuchen, wurden 200 Simulationsrechnungen mittels Monte-Carlo-Simulation durchgeführt. Das bedeutet, dass die zugrunde gelegten Störungen (Tabelle 18) bei jedem Simulationsdurchlauf zufällig verteilt werden. In den Störfallsimulationen wurden die Werte aus Tabelle 18 als Verspätungsparameter für jede Abfahrt an der entsprechenden Station hinterlegt.

In der Station Grafling ist im vorgegebenen Referenzfahrplan kein Verkehrshalt (nur Betriebshalt) vorgesehen. Daher wurden die entsprechenden Verspätungen nicht berücksichtigt. Aufgrund der geringen Anzahl verspäteter Fahrten von 0,04 % an dieser Station wird das Gesamtergebnis bzgl. Störungen hierdurch nur sehr geringfügig beeinflusst.

Umsteigebeziehungen wurden in der Störfallsimulation nicht berücksichtigt, da diese sich bereits in den übergebenen Rohdaten niederschlagen und sonst doppelt berücksichtigt würden.

Die Analyse der Störfallsimulationen ergibt, dass die Fahrplanstabilität unter den gegebenen Randbedingungen und Annahmen in jedem Falle gewährleistet ist. Auftretende Verspätungen können jeweils bereits innerhalb eines Umlaufes kompensiert werden.

Die Auswertung der Verspätungsdaten der Simulationsläufe ist in Tabelle 19 als zu erwartende Pünktlichkeitswerte für jede Station dargestellt. Die Pünktlichkeiten P2 gelten für Zugverspätungen ab 180 s, die Pünktlichkeiten P5 gelten für Zugverspätungen ab 360 s. An der Station Deggendorf ist die Pünktlichkeit P2 mit 88,02 % am geringsten. Ursache hierfür ist der an dieser Station gemäß Verspätungsstatistik höchste Anteil verspäteter Fahrten mit einer durchschnittlichen Verspätung pro Störung von 3,8 min (siehe Tabelle 18).

Tabelle 19: resultierende Pünktlichkeitswerte

Station	Pünktlichkeit P2	Pünktlichkeit P5
Bodenmais	99,66%	99,66%
Deggendorf Hbf.	88,02%	99,46%
Frauenau	98,64%	98,86%
Gotteszell	94,14%	98,82%
Grafenau	99,94%	99,94%
Lichtenthal	98,59%	98,87%
Spiegelau	98,70%	99,86%
Triefenried	97,41%	98,09%
Zwiesel	98,59%	98,87%

BEMU Bayerwald Seite 67 von 181 Stand: 19.12.2022





5.4 Gesamtübersicht des erforderlichen Infrastrukturbedarfs

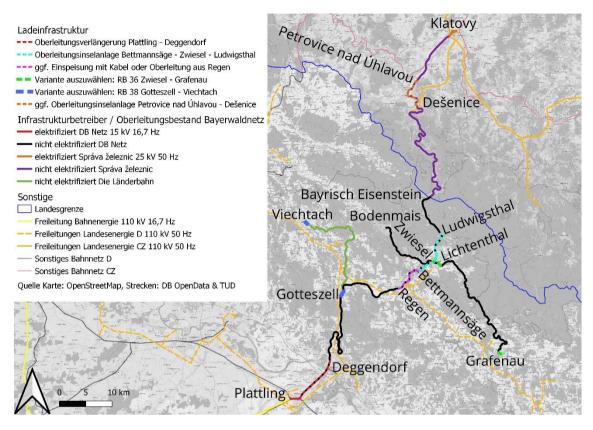


Abbildung 22: Übersicht des resultierenden Infrastrukturbedarf für das "Bayerwald" Netz

Für einen robusten, pünktlichen und störungsfreien Fahrgastbetrieb mit Oberleitungs-/Batteriehybrid-Fahrzeugen im Bayerwaldnetz sind im Ergebnis der betrieblich-technischen Untersuchungen folgende Infrastrukturmaßnahmen erforderlich, wie sie in Abbildung 22 dargestellt sind:

- Für Durchbindung nach Klatovy: Oberleitungsverlängerung Plattling Deggendorf (Brücke) bzw. ggf. bis Bf. Deggendorf inkl. vier Bahnhofsgleisen (je nach Ausbau ca. 7 bis 11 km Fahrleitungslänge)
- Oberleitungsinselanlage Zwiesel von Bettmannsäge über Zwiesel nach Ludwigsthal (ca. 10 km Länge)
- Für Durchbindung nach Klatovy: Oberleitungsinselanlage Nyrsko von Dešenice nach Petrovice nad Úhlavou (ca. 7,5 km Länge)
- Ladestation in Grafenau oder Verlängerung der Oberleitungsinselanlage von Bf Zwiesel nach Hp Lichtenthal (ca. 3 km Länge)
- Ladestation in Viechtach oder in Gotteszell
- sowie jeweils ggf. ergänzend die Anbindungen an das lokale Energieversorgungsnetz

Eine detaillierte Übersicht zu den einzelnen Infrastrukturmaßnahmen, der technischen Umsetzung und den ökologischen Rahmenbedingungen befindet sich im Kapitel 7.





6 Grundlagen Lade-/ Energieversorgungsinfrastruktur

6.1 Ladeinfrastruktur zum Einsatz von BEMU

Oberleitungs-/ Batterie-Hybridfahrzeuge benötigen zum Nachladen der Fahrzeugenergiespeicher Nachladeinfrastruktur. Die Energie kann hierbei über diverse Möglichkeiten dem Fahrzeug zugeführt werden. Diejenige Variante, die mit einem aktuell teilweise elektrifizierten Netz die größte Kompatibilität aufweist und bei einer Erweiterung desselben ebenfalls die größte Migrationsfähigkeit besitzt, ist die Ladung über einen Oberleitungs-Stromabnehmer-Kontakt mit 1 AC 15 kV 16,7 Hz, wie er bei klassischen Elektrofahrzeugen vorhanden ist. Diese kann in Form von Oberleitungsabschnitten für die Ladung in Fahrt oder Ladestationen für Standladung ausgeführt werden. Bereits vorhandene Oberleitungen werden hierzu zunächst ohne Ausbau als gegeben angenommen. Zur Standortbestimmung für Ladestationen sind folgende Rahmenbedingungen zu empfehlen:

- Die durchschnittlichen einzusetzenden Oberleitungs-/ Batterie-Hybridfahrzeuge haben je nach Speicherauslegung eine regelmäßige Reichweite im Batteriebetrieb von 50 bis 80 km (Herstellerkommunikation teilweise auch bis 100 km bei großen Speichern), die auch bei gealterten Batterien (entspricht ca. 80 % des Nennenergieinhalts) garantiert werden kann.
- Jede Linie im Netz soll mit dem gleichen Fahrzeugtyp und gleicher Speichergröße befahrbar sein, da nur eine einheitliche technische Ausführung die Wirtschaftlichkeit (Reduzierung Einmalkosten: Engineering, Erprobung, Zulassung, Personalschulung etc.) sichert. Ggf. kann es, wenn rein oberleitungsgebundene Linien im Netz vorhanden sind, sinnvoll sein, hiervon abzuweichen und für diese Linie(n) EMU statt BEMU (dann jedoch untereinander kuppelbar) zu beschaffen, sofern der Anteil an Fahrzeugen dieser Art im Netz signifikant ist im Verhältnis zur Gesamtflotte. So entfallen dann Anschaffungs- und Tauschkosten der Speicher. Die Reservefahrzeuge eines solchen Netzes sollten aus Flexibilitätsgründen trotzdem alle BEMU sein.
- Jede Linie soll mit Oberleitungs-/ Batterie-Hybridfahrzeugen befahren werden können. Dies impliziert, dass jede Linie mindestens über eine Lademöglichkeit verfügen muss und folglich eine solche erhalten müsste, wenn noch kein Linienabschnitt im elektrifizierten Netz liegt.
- Die Standorte werden so gewählt, dass sie keine zusätzlichen langen Aufenthaltszeiten an Zwischenstationen der Linien nötig machen und so planmäßige Haltezeiten nicht erheblich verlängert werden müssen.
- Die Eingriffe in Landschaft und Lebensräume sollen so gering wie möglich sein (Landschaftsschutz). Diese bedeutet auch, dass insgesamt an möglichst wenig einzelnen Orten Eingriffe notwendig werden sollten.

Soll im Stillstand geladen werden, muss beachtet werden, dass im Allgemeinen nur ein Strom von 80 A pro Stromabnehmer übertragen werden kann. Wird dieser überschritten, wird die Schnittstelle Stromabnehmer-Fahrleitung zu heiß. Daraus ergibt sich eine Ladeleistung von ca. 1 bis 1,2 MW. Aktuell laufen an der Professur für Elektrische Bahnen der TU Dresden Untersuchungen, wie dieser





Strom bei Stillstandsladung erhöht werden kann. Diese wurden bereits in der Zeitschrift Elektrische Bahnen 3/2021³⁷ veröffentlicht, weitere Detailuntersuchungen sind im Jahr 2022 erfolgt³⁸ und zeigen, dass durch die folgenden Maßnahmen eine Ladeleistungserhöhung möglich ist:

- Fahrzeug: Erhöhung der statischen Anpresskraft des Stromabnehmers im Stillstand

 Anforderung funktionaler Sicherheit im Fahrzeug, dass in Fahrt die Anpresskraft innerhalb normativer Grenzwerte liegt
- Fahrzeug: Verwendung von metallisierten Schleifleisten → Kupferimprägnierte Schleifleisten mit entsprechend Netzzugangsbedingungen höchstzulässiger Imprägnierung für Fahrzeuge (max. 35-Masse-%)
- Anlage: Erhöhung des Fahrdrahtquerschnitts (mind. 120 mm² zur besseren Entwärmung) → weitere Verbesserung durch Kühlkörper (z. B. Anklemmen von Aluprofilen an Fahrdraht / Stromschienen-OL) möglich
- Anlage: Verwendung von Doppelfahrdrähten → Erhöhung der Stillstandströme bei Mindestabstand >> 4 cm (→ thermische Entkopplung)
- Anlage: Verwendung von Oberleitungs-Stromschienen → höchste Kühlwirkung → höchste Stromtragfähigkeit → vor allem geeignet für stationäre Nachladeeinrichtungen mit kurzen Fahrleitungsabschnitten

Begrenzende Größe kann dann jedoch die Ladeleistung der Energiespeicher werden. Dies ist im Detail für jede Linie für deren Stillstandsladepunkte und jedes Fahrzeug zu prüfen.

6.2 Allgemeine Anforderungen für die Elektrifizierung

6.2.1 Grundsatz

Bei allen Elektrifizierungsvorhaben, unabhängig ob als Nachladestation oder als Vollelektrifizierung ausgeführt, sind zunächst maßgebliche technische Randbedingungen zu prüfen. Diese basieren auf normativen Anforderungen des elektrischen Bahnbetriebs sowie Randbedingungen der Leit- und Sicherungstechnik. Grundsätzlich gilt, dass bei jeder Elektrifizierung mit Wechselstrom die Gleisanlage kurzschlussfest zu erden ist, um das Auftreten von gefährlichen Berührspannungen zu verhindern.

6.2.2 Anforderungen der Sicherungstechnik

Vor Errichtung von Fahrleitungs- und Ladeinfrastruktur muss sichergestellt werden, dass eine Elektrifizierung und die daraus resultierenden Traktionsströme bzw. Rückströme keine Beeinflussung sicherungstechnischer Systeme

³⁷ Stephan, Günther, Wittemann: Fachartikel Erhöhung der Stromtragfähigkeit der Schnittstelle Stromabnehmer/Fahrdraht im Stillstand, Zeitschrift Elektrische Bahnen, 3/2021.

³⁸ Stephan, Wittemann: Vortrag Strombelastung des Kontakts Fahrdraht/Stromabnehmer bei Fahrzeugstillstand, Rail.S/VDE-Symposium Sicherheit & Zulassung elektrischer Bahnausrüstungen, Dresden, 13. Mai 2022.





bewirken. Grund dafür ist, dass auf nichtelektrifizierten Strecken Technik im Einsatz sein kann, die zwar der üblichen Leit- und Sicherungstechnik entspricht, nicht jedoch gegen Stör- und Fehlerströme im Gleis bzw. induktive und kapazitive Kopplungen in bestimmten Frequenzbereichen geschützt ist. Dies ist in im Rahmen der Planung detailliert zu prüfen.

Es sollte zudem insbesondere sichergestellt sein, dass keine 50-Hz-Gleisstromkreise zur Freimeldung von Streckenabschnitten installiert sind, die bei Elektrifizierung häufig umfangreiche Umrüstungen auf Gleisfreimeldung durch Achszähler erfordern. Strecken mit moderner oder modernisierter Signaltechnik sind häufig so ausgelegt, dass eine Umrüstung (wie z. B. Gleisstromkreise zur Gleisfreimeldung, Überspannungsschutz der sicherungstechnischen Komponenten, beeinflussungsfeste Kabel) einfach möglich ist oder solche Komponenten bereits verwendet werden. Bestands-Altanlagen mit mechanischen oder elektromechanischen Stellwerken sowie bestimmte Relais-Stellwerkstypen unterliegen aufgrund von Bestandsschutzregularien, nicht mehr verfügbaren Ersatzteilen oder einem Mangel an fachkundigem Personal einem Umrüstungsverbot durch den Netzbetreiber. Dies ist bei der Planung zu berücksichtigen.

Zu den Auswirkungen vorhandener bzw. zukünftiger Stellwerkstechnik (DSTW) in der "Zwieseler Spinne" erfolgen detailliertere Ausführungen in Kapitel 7.2.

6.2.3 Anforderungen des Personenschutzes

Der Betrieb einer Oberleitung mit hohen Spannungen hat im Kurzschlussfall (zum Beispiel bei Fahrzeugfehlern oder Fahrdrahtrissen) hohe Ströme in der Rückleitung (Schienen) zur Folge. Die Rückleitung muss diese mit geringer Impedanz (komplexer Widerstand) zum Unterwerk zurückführen. Die niedrige Impedanz ist notwendig, um den auftretenden Spannungsfall vom Eintrittsort des Stromes bis zum Unterwerk über den Schienen so gering wie möglich zu halten. Zudem ist zur Vermeidung unzulässig hoher Potentialdifferenzen zwischen Gleis und Erde eine dauerhafte, kurzschlussfeste Erdung (bei Wechselspannungsbahnen, im Bayerwald-Netz 15 kV 16,7 Hz und 25 kV 50 Hz) des Gleises (vorranging über Mastfundamente) erforderlich. Trotzdem treten beim Eintritt eines Kurzschlusses in der direkten Umgebung hohe Potentialdifferenzen in der Erde auf. Diese setzen sich in Form eines sogenannten Potentialtrichters (sehr steiles Absinken der Spannung mit größer werdendem Abstand kreisförmig zum Kurzschluss) fort. Dieser Potentialtrichter muss möglichst flach abfallen, sodass eine Person, die einen Schritt tätigt, keinen großen Potenzialdifferenzen (d. h. einer hohen Spannung -> sogenannte Schrittspannung) ausgesetzt ist. Dies ist normativ durch die Begrenzung der Berührungsspannungen³⁹ detailliert geregelt. Um den Potentialtrichter möglichst weit auszubreiten und so die Schrittspannungen klein zu halten, müssen alle metallischen Anlagen (Licht-, Signalund Fahrleistungs-Masten, Geländer und Zäune (dort auch parallel zum Gleis

³⁹ Kießling, Puschmann und Schmieder, Fahrleitungen elektrischer Bahnen, Siemens, 2014.





miteinander zu verbinden), Bänke, Bahnsteigmöblierung etc.) im Oberleitungsbereich kurzschlussfest mit der Rückleitung verbunden werden. Dies gilt auch für naheliegende Bauwerke wie Brücken (Stahlbewehrung) oder Tunnel. Die Maßnahmen dort sind im Einzelfall zu prüfen. Hierzu gehören außerdem beispielsweise Erdungsmaßnahmen im Bahnhofs- und Bahnsteigbereich oder die Überprüfung von entsprechenden Schutzabständen zwischen spannungsführenden Bauteilen und geerdeten Anlagen.



Abbildung 23: nicht mit der Rückleitung verbundener Beleuchtungsmast, Anschlüsse (Schraubverbindungen) zur Nachrüstung erkennbar⁴⁰

Die Verbindung der gesamten Bahnsteigmöblierung mit der Rückleitung stellt ein gängiges Verfahren bei Elektrifizierungen dar. Die Nachrüstung (vgl. Abbildung 23, Abbildung 24 und Abbildung 25) ist einfach möglich, jedoch im Rahmen einer Kostenschätzungen zu berücksichtigen.

Die leitfähige Verbindung mit der Rückleitung dient außerdem im Fall des Risses einer Oberleitung dazu, dass diese immer sicher auf einen metallischen Gegenstand fällt, der einen gut leitfähigen Kurzschluss bildet. Die gute Leitfähigkeit führt dazu, dass hohe Kurzschlussströme fließen, die man zuverlässig messen und anschließend in kürzester Zeit abschalten kann.

⁴⁰ Foto: Wittemann







Abbildung 24: Nicht mit der Rückleitung verbundene Bahnsteigmöblierung⁴⁰



Abbildung 25: Geländer ohne Längsverbindung, jedoch mit hierfür vorgesehenen Laschen⁴⁰

6.2.4 Anforderungen an Lichtraumprofil, Brücken und Streckenklasse

Zur Freihaltung des erforderlichen lichten Raumes des Stromabnehmers sowie Einhaltung entsprechender Schutzabstände sind bei jeder Strecke ggf. Anpassungen an den Bahnsteigdächern der mit Fahrleitung auszustattenden Bahnsteiggleise notwendig. Ein entsprechend anzupassendes Dach ist in Abbildung 26 dargestellt.

Entsprechende Prüfungen im Bayerwaldnetz sind für die Bahnhöfe Deggendorf und Zwiesel durchzuführen, wobei nur Zwiesel Anpassungen erwarten lässt.







Abbildung 26: Bahnsteigdach im Lichtraumprofil des Stromabnehmers⁴⁰



Abbildung 27: beispielhaftes Brückenbauwerk⁴¹

Bei anspruchsvollen Streckenverläufen in Bergtälern mit hohen Längsneigungen gestaltet sich eine Voll- oder Teilelektrifizierung zudem aufgrund geografischer Randbedingungen und Zwangspunkten (enge und viel Bögen, viele Einschnitte oder Tunnel) als herausfordernd. Für eine Elektrifizierung ist deshalb zu prüfen, ob **Straßen- und Wegeüberführungen** die Installation einer Oberleitungsanlage baulich zulassen bzw. ausreichend lichte Höhe besitzen. Dabei kann zunächst anhand von groben graphischen Auswertungen (siehe Abbildung 27, Bezugspunkt ist die festgelegte Spurweite von 1.435 mm) festgestellt werden, ob die Straßenüberführungen/ Brücken noch detaillierter zu prüfen sind oder ob

⁴¹ Foto & Grafik: Wittemann





diese ausreichend lichte Höhe bieten. In Abbildung 27 eingezeichnet ist die minimal zulässige Stromabnehmerdurchgangshöhe (oben) im Bezug zur Schienenoberkante (unten). Es ist zu erkennen, dass der notwendige Isolationsabstand zum Bauwerk vermutlich nicht eingehalten wird. Zudem wäre der Bauraum für die Fahrleitungsanlage einzuplanen, der hier nicht vorhanden ist.

Für eine nachträgliche Herstellung des Bauraums und des Isolationsabstands muss zudem beachtet werden, dass ein einfaches "tiefer Stopfen" des Gleisrostes aufgrund anderer baulicher Gegebenheiten nicht immer möglich ist. Hinzu kommt, dass das Bauwerk ggf. für eine Gewährung der Erdung anzupassen ist.

Detaillierte Auflistungen der zu prüfenden Bauwerke in den vorgeschlagenen Infrastrukturmaßnahmen im Netz Bayerwald finden sich im Kapitel 7.



Abbildung 28: Profilprüfung eines Tunnels mit Maßabschätzung zur Gleisverschiebung⁴¹

Die gleiche Prüfung ist für **Tunnel** entlang der Strecken durchzuführen. An diesen wären im Falle einer Elektrifizierung ebenso Umbaumaßnahmen erforderlich. Ein solches Beispiel ist in Abbildung 28 ersichtlich. Aus historischen Gründen ist in dem Tunnel das Gleis links der Tunnelachse verlegt. Hierdurch ergibt sich der Umstand, dass im Falle einer Elektrifizierung der Arbeitsbereich des Stromabnehmers nicht frei ist. In Abbildung 28 ist dies daran erkennbar, dass die grüne Linie (Ist-Zustand) die Tunnelwand schneidet. Die Richtlinie Ril 810.0242 der DB Netz AG sieht eine übliche Arbeitshöhe des Stromabnehmers von 5,50 m vor, bis zu 4,95 m über Schienenoberkante (SOK) sind jedoch technisch unter allen Bedingungen möglich. Erst nach einer Lage-Korrektur des Gleises (blaue Linie in Höhe von 5,00 m über SOK) ist der Arbeitsbereich für den Stromabnehmerdurchgang frei. Dort könnte nach dieser Abschätzung eine Deckenstromschiene die Installation einer Fahrleitungsanlage ermöglichen.





Entsprechende Tunnel finden sich im Netz Bayerwald mit dem Kühbergkehrtunnel und Hochbühltunnel auf der Strecke Plattling – Bayerisch Eisenstein sowie dem Böbracher Tunnel auf der Strecke Gotteszell -Viechtach nur außerhalb der in Kapitel 7 vorgeschlagenen Infrastrukturmaßnahmen, wobei dies in die Bewertung der Infrastrukturvorschläge eingeflossen ist. Für eine Vollelektrifizierung wären diese teilweise mit zweigleisigem (Kühberg, Hochbühl) Querschnitt ausgestatteten Tunnel jedoch detailliert zu prüfen.

Im Falle einer Elektrifizierung sind auch **Eisenbahnbrücken/-überführungen** mit Oberleitung auszustatten. Bei Brücken, deren Länge unterhalb einer typischen Feldlänge (im geraden Gleis ca. 55 m bis 65 m) eines Kettenwerks liegen, kann angenommen werden, dass diese ohne Sonderlösung elektrifizierbar sind. Für Brücken, die dieses Kriterium nicht erfüllen, ist eine Sonderlösung erforderlich.

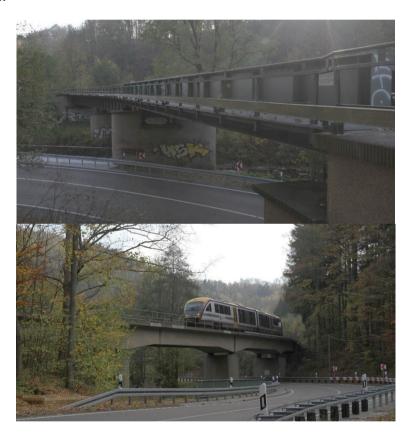


Abbildung 29: Beispiele zu prüfender Brücken: genietete Stahlträgerbrücke (oben) bzw. alte Betonbrücke aus den 1930er Jahren (unten)⁴²

Abbildung 29 zeigt beispielhaft zwei Brücken, bei denen eine solche Maßnahme erforderlich wäre. In der oberen Abbildung ist eine genietete Brücke dargestellt, die nach einer ersten Abschätzung nur nach einer komplexen Prüfung die Anbringung eines Mastes erlaubt, da für eine statische Bestimmung die alte Nietkonstruktion genau analysiert und im Statikmodell abgebildet werden

⁴² Fotos: Wittemann





müsste. Die in der unteren Abbildung gezeigte Betonbrücke lässt erwarten, dass diese zu schmal für die Anbringung eines Mastes auf der Brücke ist und nur eine Anbringung von außen am Brückenträger umsetzbar erscheinen lässt. In beiden Fällen wäre aufgrund der geringen Bauwerkshöhe der Brücken und dem baulichen Aufwand der Mastpositionierung auf dem Bauwerk eine Mastgründung im Erdboden neben dem Bauwerk realisierbar und voraussichtlich einfacher. Alternativ können Masten durch eine Verstärkung der Brückenkonstruktion von außen an die Brückenüberbauten angebracht werden. Dies führt jedoch dazu, dass ggf. ein Neubau wirtschaftlicher erscheint. Ist die Brücke bereits für einen zweigleisigen Ausbau vorbereitet (Pfeiler der Brücke für zwei Überbauten), so kann ggf. auf den nicht genutzten Pfeilerköpfen ein Maststandort angeordnet werden. Voraussetzung ist, dass dies nach einer statischen Prüfung machbar erscheint und die Pfeilerabstände nicht weiter als die maximale Feldlänge der gewählten Oberleitungsbauart sind. Die Prüfung der zu überspannenden Brücken im Verlauf der RB 35 ist in den Kapiteln 7.4 und 7.5.2 dargestellt.

Häufig liegt die bestimmende **Streckenklasse** auf Nebenbahnen, für alternative Antriebe besonders prädestiniert sind, nur bei B2 (zul. max. Radsatzlast 18,0 t) oder sogar, wie teilweise auf den Linien des Bayerwaldnetzes (**Details siehe Kapitel 4.3**), nur bei A (zul. max. Radsatzlast 16,0 t,). Für den Einsatz von Oberleitungs- oder Oberleitungs-/ Batterie-Hybridfahrzeugen ist diese dann jedoch fast immer auf die Streckenklasse C2 zu erhöhen. Ggf. kann durch die Ausführung als besonders leichtes EMU- oder BEMU-Fahrzeuge auch die Streckenklasse B2 eingehalten werden, dies führt jedoch bei BEMU-Fahrzeugen zu einer erheblichen Einschränkung der Reichweite bzw. der mitführbaren Energiemenge.

6.3 Speisung mit Bahnstrom aus zentralem Bahnstromnetz

Die deutsche zentrale Bahnstromversorgung (Übertragungsnetz mit 110 kV, 16,7 Hz; Fahrleitungsnetz mit 15 kV, 16,7 Hz) hat mit ca. 3.500 MW Erzeugerleistung ausreichend Leistungsreserve, um auch batterieelektrische Fahrzeuge im Stand und während der Fahrt unter Oberleitung aufladen zu können. Außerdem kann die Energie im Allgemeinen im gesamten Oberleitungsnetz erheblich günstiger bezogen werden als aus dem Landesnetz. Unter der Voraussetzung, dass aktuell über 90 % der Transportleistung im deutschen Eisenbahnnetz bereits elektrisch erbracht werden, geht es energetisch um weniger als 10 % der gesamten derzeitigen Netzleistung. Dies bedeutet, das Oberleitungs-/ Batterie-Hybridfahrzeuge ohne Einschränkung an allen Netzpunkten des vorhandenen Oberleitungsnetzes über ihren Stromabnehmer geladen werden können. Heute schon in der Spannungshaltung und damit auch in der verfügbaren Leistung schwache Netzaußenäste sollten hierfür gesondert analysiert werden. Die Ladeleistungen liegen jedoch meist unterhalb üblicher Traktionsleistungen und werden deshalb in den überwiegenden Fällen keine Verstärkungsmaßnahmen, beispielsweise durch Blindleistungskompensation, notwendig machen.

Eine Versorgung mit Bahnstrom aus dem zentralen 110-kV-Bahnübertragungsnetz (betrieben mit 16,7 Hz) für Ladestationen und Oberleitungsinseln ist





grundsätzlich denkbar, ist allerdings nur dann für einzelne Vorhaben wirtschaftlich darstellbar, wenn eine Versorgung ohne die Errichtung von zusätzlichen langen 110-kV-Übertragungsleitungen (Abbildung 30) möglich ist. Diese Leitungen führen üblicherweise nahe an bestehenden elektrifizierten Bahnstrecken entlang/ vorbei, sodass sich der Fall der Versorgung aus einer 110-kV-Bahnstromtrasse sehr selten ergeben wird.

Vorteil dieser Variante wäre, dass die Versorgung des Ladeabschnitts durch ein Bahn-Unterwerk 110 kV, 16,7 Hz auf 15 kV, 16,7 Hz mittels einfachem Transformator erfolgen kann. Hierzu ist der Bau eines kostengünstigen Bahn-Unterwerks, wie in Abbildung 31 dargestellt ausreichend.



Abbildung 30: Mast einer 110-kV-Bahnstromleitung⁴³



Abbildung 31: Beispielhafte Abbildung Bahn-Unterwerk der DB Energie⁴⁴

⁴³ Foto: Wittemann

⁴⁴ Foto: DB Netz





6.4 Speisung aus dem Landesnetz

6.4.1 Allgemeine Randbedingungen

Alternativ zur Speisung aus dem Bahnstromnetz können Umrichterwerke bzw. Umspannwerke gebaut werden, die Oberleitungsabschnitte oder Ladestationen mit Energie versorgen. Aktuelle Fachdiskussionen lassen erwarten, dass an diesen Oberleitungs(insel)abschnitten Energie ebenfalls zu Bahnstrompreisen bezogen werden kann. Für Ladestationen ausschließlich zur Ladung im Stand ist angesichts der dort umgesetzten verhältnismäßig geringen Energiemengen bei hohen Bezugsleistungen jedoch nach aktuellem Stand von anzusetzenden Energiepreisen des Landesnetzes auszugehen. Diese können nach Auskunft der Bundesnetzagentur als sogenannte Serviceeinrichtungen (vergleichbar zu Tankstellen oder Zugvorheizanlagen) betrieben werden.

Die Ladeabschnitte bzw. Ladestationen werden am öffentlichen 50-Hz-Mittelspannungsnetz angeschlossen. Sollte die Anschlussleistung der Mittelspannungsebene nicht ausreichend sein, so muss ab dem nächstgelegenen Übergabepunkt aus der 110-kV-50-Hz-Hochspannungsebene eine leistungsfähigere Energieversorgung aufgebaut werden. Diese kann beispielsweise durch eine Verstärkung der ortsüblichen Mittelspannungsebene umgesetzt werden oder alternativ durch eine Anordnung des Umrichters in unmittelbarer Nähe des Anschlusspunktes und anschließende Errichtung einer 15-kV-Bahnstrom-Leitung vom Umrichter zur Ladestation/ zum Ladeabschnitt. So ist auch eine direkte Anbindung des Umrichters mittels Trafo an die 110-kV-Spannungsebene möglich.

6.4.2 Vollumrichterlösung mit 16,7 Hz

Für Ladestationen mit Bahnstromfrequenz von 16,7 Hz sind Vollumrichter notwendig. Diese richten aus der anliegenden 50-Hz-Landesenergierversorgung den Strom in 16,7-Hz-Bahnstrom um. Sie sind kleiner skalierte Varianten vorhandener Bahnstromumrichter, die in den letzten Jahren in vielen Ausführungen ältere sogenannte Umformerwerke mit rotierenden Maschinen abgelöst haben, um sowohl das zentrale Bahnstromnetz als auch einzelne dezentral gespeiste Oberleitungsabschnitte mit Bahnstrom zu versorgen. Sie können als erprobte Technik betrachtet werden.





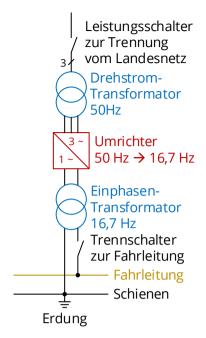


Abbildung 32: Aufbau einer Ladestation mit Vollumrichter zur Erzeugung von 15 kV 16,7 Hz⁴⁵

Ist eine Elektrifizierungsperspektive vorhanden, können diese dann im Falle einer anschließenden Elektrifizierung mit Verbindung zum schon elektrifizierten Netz als sogenannte dezentrale (ggf. frequenzelastische) Umrichter weiterverwendet werden (wenn von vorn herein so konzipiert). Dadurch ist die Verbindung des durch den Umrichter versorgten Inselnetzes mit weiteren, aus der zentralen oder dezentralen Bahnenergieversorgung gespeisten Oberleitungsanlagen, möglich.

Die Vollumrichteranlagen sind die kostenintensivste Variante zur Ladestationsausführung und können nach Daten der Professur für Elektrische Bahnen der TU Dresden bei 5 MW Leistung mit 4,5 bis 5,0 Mio. € angesetzt werden. Leistungen über 5 MW sind noch kostenintensiver. Vorteil dieser Anlagen ist jedoch, dass keine technische Ausstattung auf den Fahrzeugen verändert werden muss, da diese bereits als Fahrzeuge, die auch unter Oberleitung verkehren können, für eine Nachladung mit 15 kV, 16,7 Hz geeignet sind.

Wie in Abbildung 32 dargestellt, muss die gesamte Leistung, die dem Fahrzeug zugeführt wird, durch den Umrichter geführt werden. Daraus folgt, dass zwei Transformatoren (einer auf der 50 Hz-Seite, einer auf der 16,7-Hz-Seite) notwendig sind, da der Umrichter nicht mit den hohen Spannungen der Fahrleitung bzw. des Mittelspannungsnetzes umgehen kann. Zudem wird der Umrichter durch die hohe Leistungsdimensionierung sehr kostenintensiv.

⁴⁵ Grafik: Wittemann





6.4.3 Trafolösung mit 50 Hz

Die Frequenz von 50 Hz ist in der Normungswelt der Bahn nicht unbekannt. Viele umliegenden Länder (z.B. Frankreich, Dänemark, der Südwesten Tschechiens – auch Klatovy, der internationale Hochgeschwindigkeitsverkehr) nutzen das nach der EN 50163 genormte System mit einer Spannung von 25 kV und einer Frequenz von 50 Hz. Es liegt deshalb nahe, die ohnehin im Landesnetz vorhandene Frequenz von 50 Hz auch zum Laden der Fahrzeuge zu nutzen.

Am Fahrzeugtransformator, der mit der Frequenz 50 Hz ebenfalls umgehen können soll, muss nahezu nichts verändert werden, da 16,7-Hz-Transformatoren hier abwärtskompatibel sind. Allerdings muss das Fahrzeug softwareseitig für die entsprechenden Rahmenbedingungen gerüstet sein.

Anders gestaltet sich dies bei einer Nennspannung von 25 kV, hier muss die Fahrzeugisolierung auch für die höhere Spannung ausgelegt werden. Dies ist jedoch für nahezu alle am Markt verfügbaren BEMU-Fahrzeuge problemlos umsetzbar (bzw. teilweise ohnehin vorgesehen) und kann verhältnismäßig kostengünstig realisiert werden. Trotzdem kann es bei großen Fahrzeugflotten aus Kostengründen sinnvoll sein, auf die zusätzliche Ausstattung für 25 kV zu verzichten und nur mit 15 kV das Fahrzeug zu laden. Zur Zulassung dieses Spannungssystems für die Stillstandsladung läuft nach Informationen der Professur für Elektrische Bahnen der TU Dresden aktuell ein Normänderungsverfahren der Norm EN 50163 bzw. der sich darauf beziehenden TSI ENE. um die Kombination aus 15 kV und 50 Hz normativ für die Stillstandsladung zuzulassen.

Beiden Spannungsebenen ist bei 50 Hz gemein, dass diese über eine einfache Transformatorschaltung aus dem Mittelspannungsnetz entnommen werden können. Allerdings verfügt die Eisenbahn systembedingt nur über zwei Pole (Hinleitung über die Oberleitung, Rückleitung durch die Schiene), das Landesnetz ist jedoch als Drehstromsystem (3 Pole) ausgeführt. Wird eine zweipolige Last an ein 3-poliges Drehstromsystem angeschlossen, so entsteht dort eine unsymmetrische Belastung. Dies wird von den Netzbetreibern nur stark begrenzt toleriert. Es muss deshalb im Einzelfall geprüft werden, ob die zu erwartende sogenannte Netzunsymmetrie auf der Landesnetzseite innerhalb der zulässigen Grenzen liegt. Dies ist abhängig von der sogenannten Netzkurzschlussleistung, die am Anschlusspunkt verfügbar ist. Dieser Wert wird durch den Netzbetreiber des Landesnetzes bereitgestellt. Ein bestimmter Prozentsatz dieser Leistung ist normativ für unsymmetrische Lasten zugelassen.





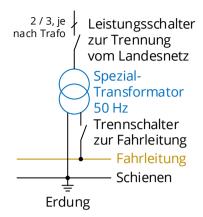


Abbildung 33: Aufbau einer 15-kV-50-Hz-Ladestation mit Trafolösung⁴⁵

Aufgebaut ist diese Lösung wie in Abbildung 33 dargestellt. Größter Vorteil ist, dass nur ein spezieller Transformator, jedoch keine Umrichtertechnik mit höherer Ausfallwahrscheinlichkeit und kürzen Lebensdauern sowie hohen Kosten notwendig ist. Dies führt zu günstigen Anschaffungs- und Instandhaltungskosten. Die Firma Furrer&Frey aus der Schweiz entwickelt aktuell eine solche Lösung und befindet sich in der Erprobungsphase mit einer realen Anlage. Diese wurde zur Erprobung in Ammerbuch-Pfäffingen, Baden-Württemberg, am Gleis errichtet und bereits mit dem Erprobungsträger des Stadler Flirt Akku im Realbetrieb getestet⁴⁶. Die zu erwartenden Kosten werden durch die Professur für Elektrische Bahnen der TU Dresden auf ca. 1,5 bis 2 Mio. Euro pro Anlage taxiert.

Ob die Anlage mit 15 oder 25 kV ausgeführt wird, spielt für die Ladestation kaum eine Rolle, jedoch müssen die Fahrzeuge die höhere Spannung beherrschen.

6.4.4 Symmetrierumrichterlösung mit 50 Hz

Reicht die am Netzanschlusspunkt vorhandene errechnete Netzkurzschlussleistung nicht aus, um die eingebrachte Unsymmetrie ins Landesnetz zu tolerieren, muss die Unsymmetrie ausgeglichen werden. Dies lässt sich durch einen sogenannten Symmetrierumrichter erreichen, der nur den unsymmetrischen Anteil der bezogenen Fahrzeugleistung auf alle drei Pole des Drehstromnetzes gleichmäßig verteilt. Dieser Umrichter kann erheblich leistungsschwächer sein als jener für die Lösung in Abschnitt 6.4.2. Dies führt zu reduzierten Kosten für diesen Teil der Anlage. Zudem wird zwar wieder ein spezieller Transformator benötigt, jedoch genügt ein Transformator, der mit einer zusätzlichen dritten Wicklung für den Symmetrierumrichter ausgestattet wird. Außerdem wird die Verfügbarkeit erhöht, da bei Ausfall des Umrichters dann

⁴⁶ Dschung, Schermaul: Zügig in Richtung Dekarbonisierung – Die Batteriezug-Schnellladestation VOLTAP als Teil neuer Bahninfrastrukturen, Eisenbahntechnische Rundschau 03/2022, verfügbar: https://www.furrerfrey.ch/dam/jcr:effa61d3-bcd7-4fc6-a647-9b6fb517dfa0/ETR_M%C 3%A4rz%202022_PR-Bericht_50_53_Dschung_Schermaul_Voltap_FA.pdf [Zugriff Mai 2022]





immer noch mit verminderter Leistung ausschließlich durch den Transformator geladen werden kann.

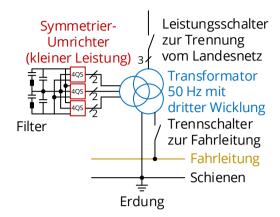


Abbildung 34: Aufbau einer 15-kV-50-Hz-Ladestation mit Symmetrierumrichterlösung⁴⁵

Der in Abbildung 34 dargestellte Aufbau führt durch die Einsparung des zweiten Transformators sowie den leistungsschwächeren Umrichter zu einer Kostensenkung im Vergleich zur Vollumrichterlösung, ist jedoch kostenintensiver als die reine Transformatorlösung. Die Kosten werden durch die Professur für Elektrische Bahnen der TU Dresden auf ca. 2,0 bis 2,5 Mio. Euro pro Anlage taxiert.

Ob die Anlage mit 15 oder 25 kV ausgeführt wird, spielt für die Ladestation kaum eine Rolle, jedoch müssen die Fahrzeuge die höhere Spannung beherrschen.

6.5 Teilelektrifizierung als Verlängerung oder Inseloberleitung

Neben den bisher vorgestellten Versorgungsoptionen maßgeblich für Ladestationen kann für den Betrieb von BEMU-Fahrzeugen auch eine Teilelektrifizierung sinnvoll sein. Insbesondere wenn mit begrenzten Verlängerungen bestehender Elektrifizierungen eine Befahrung mit BEMU-Fahrzeugen möglich wird, kann diese Lösung sehr wirtschaftlich sein. Hintergrund ist, dass die bestehende Energieversorgung im Allgemeinen dann auch zur Speisung der kurzen zusätzlichen Fahrleitungsanlagen genutzt werden kann. Dies senkt sowohl die Errichtungs- als auch insbesondere die Lebenszykluskosten der Anlage, da diese für die Energieversorgungsanlage dann nicht zusätzlich anfallen oder bei Anpassungen der Bestandsanlage trotzdem geringer bleiben. Diese Möglichkeit sollte bei Linien, die bereits elektrifizierte Abschnitte beinhalten, immer vorrangig geprüft werden.

Reicht eine einfache Verlängerung der Fahrleitung nicht aus oder ist diese nicht umsetzbar, so können auch Oberleitungsinselanlagen (OLIA) sinnvoll sein. Diese ermöglichen ein Laden während der Fahrt und verlängern so die Ladezeit. Insbesondere bei Zwischenladungen an Unterwegsstationen oder bei sehr kurzen Linienende-Wendezeiten kann sich diese Option anbieten. Es muss dann jedoch sichergestellt sein, dass die dafür notwendige Energieversorgungsinfrastruktur ausreichend Leistung für fahrende Fahrzeuge bereitstellen kann.





Diese wird üblicherweise wie die Ladestation, beschrieben im Abschnitt 6.4.2, ausgeführt, jedoch mit höherer Leistung.

Eine alternative zur Versorgung mit 15 kV 16,7 Hz entsprechend Abschnitt 6.4.2 die Versorgung von Oberleitungsinselanlagen über leistungsfähige Transformatoren direkt aus der 110-kV-Landesenergieversorgung mit einer Frequenz von 50 Hz, wie dies bei Bahnen mit 25 kV 50 Hz üblich ist. Die Wahl dieser Fahrleitungsspannung sollte im Bayerwaldnetz, in dem die Fahrzeuge für eine Durchbindung nach Klatovy ohnehin die Fähigkeit für 15 kV und 25 kV und die Nutzung beider Frequenzen (16,7 Hz & 50 Hz) aufweisen müssen, detailliert erwogen und geprüft werden. Auch dann ergibt sich die unsymmetrische Belastung für das vorgelagerte dreiphasige Landesnetz, wie dies in Abschnitt 6.4.3 beschrieben ist. Wie in Abschnitt 6.4.4 aufgezeigt, kann die unsymmetrische Belastung durch leistungselektronische Schaltungen kompensiert werden, wenn dies erforderlich ist. Sowohl die Zulassung der Unsymmetrie als auch die Korrektur derselben ist auch für die 110-kV-Ebene möglich und abhängig von der verfügbaren sogenannten Netzkurzschlussleistung Sk" am Anschlusspunkt, die vom Netzbetreiber errechnet wird und es ermöglicht, die maximal zulässige Unsymmetrie dort zu bestimmen. So kann in der Planungsphase entschieden werden, ob eine Symmetrierung mittels Umrichter (äquivalent zu Abschnitt 6.4.4) notwendig wird oder nicht.

BEMU Bayerwald Seite 84 von 181 Stand: 19.12.2022





7 Ladeinfrastruktur im Bayerwaldnetz

7.1 Untersuchte Infrastrukturvarianten

7.1.1 Ladestationen

Ladestationen ermöglichen das Laden von Fahrzeugen über einen klassischen Stromabnehmer (oder in Einzelfällen auch eine Steckerlösung) ausschließlich im Stand. Die bauliche Ausführung entspricht einer Standardoberleitung oder einer Stromschienenoberleitung (zur Erhöhung des übertragbaren Stroms) über einem oder mehreren Gleisen eines Bahnhofs ohne die anschließenden Bahnstrecken.

Entsprechende Anlagen sind im Bayerwaldnetz in Grafenau sowie in Gotteszell oder Viechtach geplant.

Die Energieversorgung erfolgt aus dem 10/20-kV-Mittelspannungsnetz mit einer Leistung von 1,2 bis 2,4/2,5 MW. Bei großen Ladestationen mit mehreren gleichzeitig im Bahnhof ladenden Linien und entsprechend vielen Fahrzeugen, im Bahnhof kreuzenden und gleichzeitig ladenden Zügen mit Mehrfachtraktionen oder großen angrenzenden Abstell- bzw. Werkstattkapazitäten sind auch bis zu 5 MW oder sogar 10 MW Leistung möglich.

Wenn von vorherein so geplant, kann die Oberleitung und ggf. tlw. auch die Energieversorgung bei einer späteren Vollelektrifizierung weiter genutzt werden. Die Optimierung der Anlage sollte bei ausschließlicher Stillstandsladung jedoch auf möglichst hohe übertragbare Ströme bei kleiner Belastung Kontaktpunktes Stromabnehmerschleifleiste – Fahrdraht erfolgen. Dabei ist die Verwendung einer Oberleitungsstromschiene besonders zu empfehlen. Eine Befahrbarkeit bzw. die Befahrgüte der Anlage für den Stromabnehmer sollten dann jedoch im Hintergrund stehen, da Oberleitungsstromschienen eine große Anzahl an Stützpunkten (alle 12 bis 25 m ein Mast) benötigen. Für eine Befahrbarkeit mit gehobenem Stromabnehmer ist jedoch eine größere Länge der Oberleitungsanlage erforderlich, die bei vielen Stützpunkten entsprechend kostenintensiv ist. Die DB-Richtlinie 997.0118 des Veröffentlichungsstandes vom 1. Februar 2022 sieht deshalb die Verwendung von Doppelfahrdrähten vor, die nach der Angabe der Richtlinie (Ril) eine Steigerung der Stromtragfähigkeit auf 100 A zulassen und auch größere räumliche Ausdehnungen besser ermöglichen. Die Verwendung von Oberleitungsstromschienen wird in der Richtlinie nicht berücksichtigt bzw. vorgeschlagen.

7.1.2 Zusatzelektrifizierung als Anschlusselektrifizierung

Ist im Netz bereits Oberleitung in den Randbereichen oder an einer der Zwischenstationen verfügbar, so kann es sinnvoll sein, die Oberleitung von dort aus über wenige Kilometer auf die nichtelektrifizierte Strecke zu verlängern. Errichtet werden diese Anschlusselektrifizierungen mit einer Standardoberleitung in Regelbauart (Re 100/ Re 200) sowohl auf freier Strecke als auch im Bahnhof zur Ladung in Fahrt und im Stillstand.





Eine entsprechende Anlage ist im Bayerwaldnetz von Plattling bis Deggendorf für eine Durchbindung der RB 35 bis Klatovy geplant.

Großer Vorteil dieser Variante ist, dass eine Speisung des zusätzlichen Oberleitungsabschnittes aus der Bestandsanlage meistens möglich ist. Dies führt im Allgemeinen zu einer hohen Wirtschaftlichkeit der Anlagen, da bei kurzen Oberleitungsabschnitten eine dezentrale Energieversorgungsanlage einen überproportional hohen Kosteneinfluss hat. Fällt diese durch eine mögliche Speisung aus der Bestandsanlage weg, sind lediglich kleinere Anpassungen an den Schaltanlagen des Abzweigbahnhofs vorzunehmen.

Ausgelegt wird die Länge des zusätzlich zu elektrifizierenden Abschnitts anhand des Zeitbedarfs, den die Fahrzeuge zur Aufladung mit gehobenem Stromabnehmer ladend unter der Oberleitungsanlage verbringen müssen. Diese Zeit wird maßgeblich durch die Fahrtgeschwindigkeit und Haltezeiten im Abschnitt bestimmt. Am Ende des zusätzlichen Oberleitungsabschnitts muss eine Reserve für den Traktionsartwechsel eingeplant werden, solange dieser nicht ohnehin beim Halt in einem Haltepunkt oder Bahnhof erfolgen soll.

Begrenzt wird die mögliche Länge der zusätzlichen Oberleitungsanlage durch die Distanz der Anlage zum nächsten Unterwerk, da hier maximale Speiselängen aus elektrotechnischen Gründen einzuhalten sind. Werden diese überschritten, kann die Spannung am Stromabnehmer zu weit absinken und eine Ladung so unmöglich machen. Eine Tauglichkeit der Bestandsanlage für die Speisung weiterer Oberleitungsabschnitte kann üblicherweise in den Randbereichen des Netzes nur simulativ bestimmt werden. Liegt ein Sonderfall wie in Plattling vor, bei dem das nächstgelegene Unterwerk direkt am Abzweigbahnhof steht, kann nahezu immer von einer Speisefähigkeit des zusätzlichen Oberleitungsabschnitts ausgegangen werden. Lediglich eine bereits vorliegende oder nahe Überlastung des Bestandsunterwerks kann hier weitere Maßnahmen erforderlich machen.

7.1.3 Zusatzelektrifizierung als Oberleitungsinselanlage (OLIA)

Wird im Netz eine längere Ladezeit benötigt, als einzelne Wende- bzw. Aufenthaltszeiten an mit Ladestationen auszurüstenden oder zu elektrifizierten Bahnhöfen vorhanden ist, so ist eine Oberleitungsinselanlage zu errichten. Der entsprechende Streckenabschnitt bzw. die Oberleitung werden dezentral und unabhängig vom restlichen elektrifizierten Bahnnetz aus dem Landesnetz gespeist. Errichtet werden Oberleitungsinselanlagen mit einer Standardoberleitung in Regelbauart (Re 100/ Re 200) sowohl auf freier Strecke als auch im Bahnhof zur Ladung in Fahrt und im Stillstand.

Entsprechende Anlagen sind im Bayerwaldnetz von Bettmannsäge bis Ludwigsthal (OLIA Zwiesel) bzw. von Petrovice nad Úhlavou bis Dešenice (OLIA Nyrsko) geplant.

Die Energieversorgung bei kleinen und leistungsschwachen Anlagen kann aus einer Ladestation erfolgen, die aus dem 10- bzw. 20-kV-Mittelspannungsnetz gespeist wird. Die Energieumwandlung erfolgt dort entsprechend der in Kapitel





6.4.2 bis 6.4.4 beschriebenen Anlagen. Ist die Mittelspannungsversorgung am Ort nicht leistungsfähig genug, dann kann entweder ein vollwertiges Umrichterwerk, gespeist aus 110-kV-50-Hz-Netz mit Umwandlung in 15 kV 16,7 Hz Bahnstrom notwendig werden oder entsprechend der Landesfrequenz-Bahnenergieversorgung eine Oberleitungsinselanlage des Systems mit 25 kV 50 Hz vorgesehen werden (äquivalent zum tschechischen Netz), ebenfalls gespeist aus dem 110 kV 50 Hz, jedoch ohne Umwandlung in eine Frequenz von 16,7 Hz.

Theoretisch wäre die Speisung einer OLIA auch aus einem separaten Unterwerk der Bahnstromenergieversorgung aus dem 110-kV-16,7-Hz-Bahnstromnetz (DB Energie) möglich, wenn eine Bahnstromleitung entsprechend an geeigneter Stelle die Bahnlinie kreuzt. Dies ist im Bayerwald-Netz nirgendwo der Fall und wird deshalb hier nicht weiter betrachtet.

Eine Nutzung der Oberleitung und je nach Systemwahl ggf. auch der Energieversorgung ist bei einer späteren Voll-Elektrifizierung möglich, sofern dies bei der Energieversorgungsanlage bereits von vorherein technisch mit vorgesehen ist.

7.1.4 Steckerladung

Neben der Schnittstelle Stromabnehmer – Fahrdraht ist auch die Ladung der Fahrzeuge über Stecker bzw. Elektranten möglich. Diese sind im Allgemeinen leistungsschwächer ausgelegt, erfordern jedoch grundsätzlich weniger baulichen Aufwand. Neben dem bekannten System der Zugvorheizanlagen gemäß UIC 550 bzw. 552, das eine Leistungsfähigkeit bis ca. 800 kVA ermöglicht, ist auch eine Umsetzung über CEE-Drehstromsteckverbindungen mit Leistungen im niedrigen dreistelligen kW-Bereich möglich.

Beiden Systemen ist gemein, dass Sie jeweils den Aufenthalt des Personals außerhalb des Fahrzeugs zur Herstellung- bzw. Trennung der Steckverbindung erfordern. Dies ist insbesondere bei den kurzen vorgesehenen Wendezeiten im Bayerwaldnetz nicht zielführend. Für eine Zwischenladung, bspw. auf der RB 35, wäre zwangsläufig aufgrund der Steckverbindung eine Stillstandsladung an mindestens einem der Unterwegsbahnhöfe erforderlich, die eine lange Aufenthaltszeit im mittleren zweistelligen Minutenbereich zur Ladung der Fahrzeugenergiespeicher notwendig machen würde. Am Bahnhof von Klatovy, dem einzigen Bahnhof mit ausreichender Aufenthaltszeit zum Laden mittels Steckerlösung, ist aber bereits eine leistungsfähige Nachladung über den Stromabnehmer möglich. Auch auf den anderen Linien sind nur kurze Wendezeiten verfügbar, da hier die Wendzeiten zur Reduzierung des Fahrzeugbedarfs optimiert werden müssen.

Aufgrund dessen wurde von einer weiteren Untersuchung der Ladung mittels Stecker abgesehen. Ggf. ist es sinnvoll, für die Nacht- und Wochenendabstellung von Fahrzeugen in Zwiesel sowie ggf. in Viechtach keine aufgerüstete Abstellung unter Fahrleitung vorzusehen, da dafür elektrifizierte Abstellgleise notwendig sind. Stattdessen könnte sich eine ggf. Vortemperierung des Fahrgastinnenraums und eine leistungsarme Ladung mittels kostengünstigerer Steckverbindung anbieten.





7.1.5 Betrieb und Überwachung der Ladeinfrastruktur

Zur Instandhaltung der Ladeinfrastruktur kann für die Außenanlagen das gleiche Equipment Verwendung finden wie bei klassischen Fahrleitungsanlagen, d. h. maßgeblich Oberleitungsrevisionstriebwagen mit qualifiziertem Personal. Diese Ausstattung ist in den DB-Netz-Instandhaltungsstandorten verfügbar, es muss jedoch geprüft werden, welche zusätzlichen Ressourcen aufgrund der Anlagenmehrung vorzusehen sind. Aufgrund der verhältnismäßig kleinen Ausdehnung der Anlagen ist voraussichtlich von ebenso geringen personellen Mehrleistungen auszugehen. Insgesamt sind Energieversorgungs- und Oberleitungsanlagen sehr instandhaltungsarm und erfordern vor allem Inspektionsleistungen.

Zur Überwachung der Anlagen sieht die DB Energie vor, die Schutz- und Regelungstechnik mit den regionale Zentralschaltstellen (ZES) zu verbinden und so eine Fernüberwachung und -schaltung zu ermöglichen. Die nächstgelegene zum Bayerwaldnetz ist die ZES München. Insbesondere Störungen können so schnell erkannt und Handlungen eingeleitet werden. Außerdem ist eine Ab- bzw. anschließende Wiederzuschaltung der Anlagen, bspw. beim Einsatz von Instandhaltungspersonal oder Einsatzkräften der Rettungsdienste, durch telefonischen Antrag eines Schaltantragsberechtigten problemlos möglich. Eine ähnliche Regelung ist auch für Anlagen im tschechischen Bahnnetz zu erwarten.

7.2 Auswirkungen des Umbaus auf DSTW in der Zwieseler Spinne

Die DB Netz, das Bundesministerium für Digitales und Verkehr BMDV sowie viele Industriepartner arbeiten zusammen im Projekt Digitale Schiene Deutschland mit dem Ziel, den Schienenverkehr vor allem durch das großflächige Ausrollen des europäischen Zugsicherungssystems European Train Control System (ETCS), den Bau von Digitalen Stellwerken (DSTW) sowie eines integrierten Leit- und Bediensystems (iLBS) zu modernisieren und leistungsfähiger zu machen. Teil dieses Projektes im Rahmen der sogenannten Schellläuferprojekte innerhalb der Digitalen Schiene Deutschland ist auch der Aufbau eines DSTW in der sogenannten Zwieseler Spinne auf den Strecken des Bayerwaldnetzes.

Nach Auskunft der Projektseite der DB Netz zum Projekt Digitale Schiene Deutschland gehört die Zwieseler Spinne zu den sogenannten "Cluster 2-Projekten", in denen digitale Stellwerke (DSTW) errichtet werden. Ausgeführt wird auf der Projektseite, dass "dazu [...] im ersten Schritt ab dem Jahr 2021 Entwicklungsleistungen [erfolgen], so dass ab dem Jahr 2022 die ersten Bauarbeiten folgen können. Die Inbetriebnahmen sind nach dem aktuellen Planungsstand in den Jahren 2023 und 2024 vorgesehen. Die Strecken der Zwieseler Spinne (Bahnstrecken rund um Zwiesel) werden mit moderner Signalund Stellwerkstechnik ausgestattet. Die Firma Pintsch GmbH ersetzt die sechs Stellwerke in Grafling, Gotteszell, Triefenried, Bayerisch Eisenstein und Zwiesel durch digitale Stellwerkstechnik des Typs PinMovio. Ab Ende 2023 erfolgt die Bedienung aus dem zentralen Digitalen Stellwerk in Zwiesel. Die fünf Technikmodule stehen in Zwiesel, Grafling, Gotteszell, Triefenried und Bayerisch Eisenstein." In diesem Zusammenhang werden neben den in Abbildung 35 ebenfalls gezeigten DSTW-Bauten folgende weitere Projektinhalte umgesetzt:





- Verlegung von rund 200 Kilometern Kabel
- Erneuerung von 124 Signalen und 23 Weichenantrieben
- Technische Aufrüstung bzw. vollständige Erneuerung von 17 Bahnübergängen

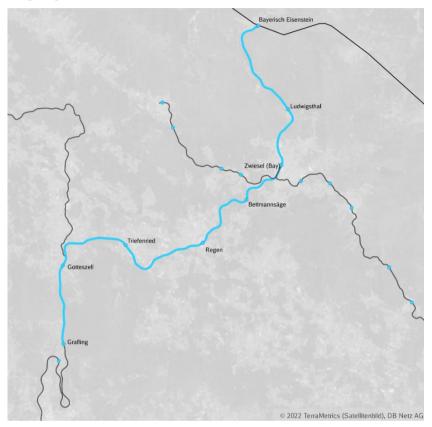


Abbildung 35: Maßnahmenübersicht Ausbau Zwiesel Spinne auf DSTW⁴⁷

In dieser Ausrüstung sind allerdings wahrscheinlich keine Elektrifizierungs- bzw. Ladeinfrastrukturmaßnahmen berücksichtigt und können nach Einschätzung der Gutachter aufgrund des bereits weit fortgeschrittenen Planungsstandes des Schnellläuferprogramms voraussichtlich nicht mehr direkt berücksichtigt werden. Dies würde bedeuten, dass bei Errichtung der Ladeinfrastruktur ggf. entsprechend der Ausführungen im Kapitel 6.2.2 technische Komponenten der Außenanlage des Stellwerks angepasst werden müssen.

Die DB Netz AG München schrieb am 11.08.2021 hierzu in einer E-Mail: "Inwieweit die Berücksichtigung einer möglichen (Teil-)Elektrifizierung beim laufenden Projekt ESTW Deggendorf zum gegenwärtigen Projektstand noch möglich ist (ggf. Einsatz anderer Kabel und weitere Maßnahmen), befindet sich aktuell noch in Klärung. Hilfreich wäre in diesem Zusammenhang eine zeitnahe Info des seitens der BEG beauftragten Büros inwieweit im Stellbereich des künftigen ESTW Deggendorf (Plattling – Deggendorf – Grafling) mit relevanten

_

⁴⁷ https://digitale-schiene-deutschland.de/de/projekte/Schnellläuferprogramm [Zugriff im Mai 2022]





Auswirkungen durch (Teil-) Elektrifizierungen bzw. durch den Betrieb von Akkuhybridfahrzeugen zu rechnen ist."

Großer Vorteil ist, dass die bisherige Gleisfreimeldetechnik in Zwiesel, die nach einer Liste der DB Netz von 2007⁴⁸ noch auf 50-Hz-Gleisstromkreisen basiert, mit der Errichtung des DSTW beseitigt wird, da hierfür Achszähler Standard sind. Sowohl die Bahnenergieversorgung mit 15 kV 16,7 Hz (hier die 3. Harmonische) als auch mit 25 kV 50 Hz beeinflussen diese Gleisfreimeldetechnik unzulässig und würden einen Austausch derselben erzwingen.

7.3 Schutzgebietsübersicht

Nahezu die gesamte Linienführung aller betrachteten Linien (bis auf die Linienenden der RB 35) liegen im großräumigen Schutzgebietsverbund Bayerischer Wald. Wesentliche Anteile befinden sich hierbei im Schutzstatus eines sogenannten Naturparks, der durch den Deutschen Alpenverein folgendermaßen beschrieben wird:



Abbildung 36: Schutzgebietsübersicht Bayerischer Wald bzw. Böhmerwald (Šumava)⁴⁹

"Naturparks [stellen] Landschaftsräume dar, die bewirtschaftet sind und durch menschliche Eingriffe geprägt wurden. Sie sollen einerseits in ihrer heutigen Form bewahrt und andererseits attraktiv für den Tourismus gemacht werden. Ihre große Arten- und Biotopenvielfalt und die durch vielfältige Nutzung geprägte Landschaft stehen daher unter Schutz. Dieser Schutz unterscheidet sich gegenüber Nationalparks vor allem darin, dass er durch Nutzung angestrebt wird

⁴⁸ https://fahrweg.dbnetze.com/resource/blob/1357538/8941fc287080653494fa3c6916c20878/merkblatt_zentrale_energieversorgung-data.pdf [Zugriff im Mai 2022, allerdings Stand 2007]

⁴⁹ https://www.naturpark-bayer-wald.de/schutzgebiete-uebersicht.html [Zugriff im Mai 2022]





und sich die Bevölkerung auch an diesem beteiligt. Wirtschaft, Erholung und Naturschutz schließen sich in diesen Gebieten somit nicht aus."50

Zusätzlich führt die Streckenführung der RB 35 auf deutscher Seite am Rande des Nationalparks Bayerischer Wald entlang und durchquert auf tschechischer Seite den Nationalpark Böhmerwald (Šumava). Nationalparks beschreibt der Deutsche Alpenverein folgendermaßen:

"Nationalparks haben eine zentrale Aufgabe: Der Natur ihren freien Lauf lassen. Gleichzeitig sollen sie vor Umwelteinflüssen und ungewollten menschlichen Eingriffen bewahrt und erhalten werden - und zwar auch für zukünftige Generationen. Dafür werden spezielle Maßnahmen getroffen, die an die jeweiligen Standorte angepasst sind. Im Nationalpark Bayerischer Wald werden zum Beispiel die Wege zeitweise gesperrt, um den bedrohten Wanderfalken beim Nisten zu schützen. Oftmals werden Nationalparks auch als Erholungsgebiete genutzt und gelten als Vorzeigeregionen für sanften Tourismus. Nationalparks tragen nicht zufällig das Wort Nation in sich – sie sollen als Symbol des nationalen Stolzes gelten und werden daher auch im Auftrag der Regierung verwaltet."⁵¹

Teile der Streckenführung befinden sich auf tschechischer Seite außerdem im Natura-2000-Schutzgebiet bzw. queren auf deutscher Seite in kurzen Abschnitten Fauna-Flora-Habitate (FFH-Gebiete). Das Bundesministerium für Umwelt (BMUV) beschreibt diese Gebiete wie folgt: "Natura 2000 ist ein EUweites Netz von Schutzgebieten zur Erhaltung gefährdeter oder typischer Lebensräume und Arten. Es setzt sich zusammen aus den Schutzgebieten der Vogelschutz-Richtlinie (Richtlinie 2009/147/EG) und den Schutzgebieten der Fauna-Flora-Habitat (FFH) Richtlinie (Richtlinie 92/43/EWG). Die Nutzung von Natura 2000-Gebieten für den Menschen ist kein Tabu. So sind viele traditionelle Kulturlandschaften in Europa erst durch die menschliche Bewirtschaftung so wertvoll geworden [...]. Eine Nutzung der Gebiete ist also weiterhin möglich und sogar erwünscht, wenn sie die betreffenden Arten und Lebensräume nicht beeinträchtigt beziehungsweise zu deren Erhalt beiträgt. Es geht darum, die Interessen des Naturschutzes mit wirtschaftlichen und sozialen Interessen in Einklang zu bringen."52

Um eine Nutzung dieser Gebiete zu ermöglichen, ist allerdings eine sogenannte FFH-Verträglichkeitsprüfung durchzuführen, die durch das BMUV folgendermaßen charakterisiert wird: "Für das gesamte **europäische Schutzgebietsnetz Natura 2000** gilt ein einheitliches Schutzregime. Neben den Regelungen für die notwendigen Erhaltungsmaßnahmen und das Verbot von Verschlechterungen

⁵⁰ https://www.alpenverein.de/natur-klima/nationalpark-naturpark-naturschutzgebiet-was-ist-was_aid_37478.html [Zugriff im Mai 2022]

⁵¹ siehe Fußnote 50

⁵² https://www.bmuv.de/themen/naturschutz-artenvielfalt/naturschutz-biologischevielfalt/gebietsschutz-und-vernetzung/natura-2000 [Zugriff im Mai 2022]





dieses wertvollen Naturerbes gehört dazu auch die sog. FFH-Verträglichkeitsprüfung. Dieses Instrument dient dazu, Natura 2000-Gebiete vor Plänen oder Projekten zu schützen, die ein Gebiet dieses Netzes erheblich beeinträchtigen könnten. So müssen beispielsweise bauliche Vorhaben oder auch bestimmte Bewirtschaftungsweisen in oder im Umfeld von Natura 2000 Gebieten einer solchen Prüfung unterzogen werden, sofern sie mit einer Intensivierung der Nutzung oder mit anderen negativen Auswirkungen auf das jeweilige Gebiet einhergehen könnten. Um einen Schaden von Natura 2000-Gebieten auszuschließen, sind erheblich beeinträchtigende Pläne und Projekte grundsätzlich unzulässig. Unter bestimmten Voraussetzungen und in Verbindung mit einem ausreichenden Ausgleich können derartige Pläne oder Projekte aber in einem Ausnahmeverfahren zugelassen werden."53

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass für alle Infrastrukturmaßnahmen im BEMU-Projektbereich im Bayerwald Umweltverträglichkeitsprüfungen unerlässlich sein werden, was eine Befreiung von der Planfeststellungspflicht verhindert. Hintergrund ist, dass eine Befreiung von der Planfeststellungspflicht nach dem Allgemeinen Eisenbahngesetz (AEG) nur unter folgenden Rahmenbedingungen möglich ist:

- § 18 Erfordernis der Planfeststellung und vorläufige Anordnung⁵⁴:
- (1a) Für folgende Einzelmaßnahmen, die den Bau oder die Änderung von Betriebsanlagen einer Eisenbahn vorsehen, bedarf es keiner vorherigen Planfeststellung oder Plangenehmigung, sofern keine Pflicht zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung besteht:
- 1. die Ausstattung einer bestehenden Bahnstrecke mit einer Oberleitung einschließlich dafür notwendiger räumlich begrenzter baulicher Anpassungen, insbesondere von Tunneln mit geringer Länge oder von Kreuzungsbauwerken

7.4 Infrastrukturmaßnahme RB 35 Oberleitungsverlängerung Plattling

7.4.1 Variante 1: Oberleitung bis vor die Donaubrücke Deggendorf

Die Variante 1 der Infrastrukturmaßnahme umfasst eine Verlängerung der Fahrleitungsanlage aus dem Kopf des elektrifizierten Bahnhofs Plattling hinaus bis zum südlichen Brückenkopf der Donaubrücke vor Deggendorf, die in der Variante 1 dieser Maßnahme nicht mitelektrifiziert wird. Zur Nutzung einer solchen Anlage muss es zulässig sein, dass die Traktionsart auf freier Strecke geändert wird. Dies ist mit dem aktuellen Regelwerk nicht möglich (siehe hierzu Kapitel 7.10). Im Bahnhofskopf Plattling selbst sind keine Anpassungen notwendig, allerdings muss am Ende der bestehenden Fahrleitung (ca. Strecken-

BEMU Bayerwald Seite 92 von 181 Stand: 19.12.2022

⁵³ siehe Fußnote 52

⁵⁴ https://www.gesetze-im-internet.de/aeg 1994/ 18.html [Zugriff im Mai 2022]





km 63,4) bis zur elektrischen Bahnhofsgrenze auf dem Streckengleis in Richtung Deggendorf ein Übergang zur neuen Fahrleitungsanlage geschaffen werden (Wechselfeld).

Die zu elektrifizierende Streckenlänge beträgt ca. 7,5 km und – da sonst keine Bahnhofsgleise/ sonstige Gleise zu überspannen sind – beträgt auch die notwendige Länge der Oberleitungsanlage ca. 7,5 km Länge. Die Anlage soll als Standard-Kettenwerks-Oberleitung vom Typ Re 200 ausgeführt werden, die aufgrund der gefahrenen Streckengeschwindigkeit ihrem Zweck vollständig gerecht wird.

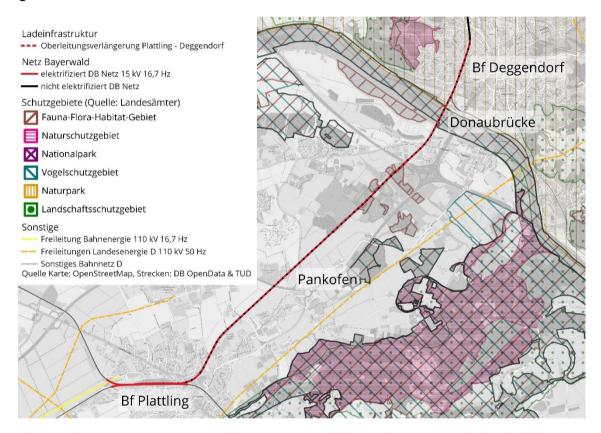


Abbildung 37: Kartendarstellung Oberleitung Plattling - Deggendorf

Wie Abbildung 37 zeigt, muss bis zum südwestlichen Brückenkopf auf einem kurzen Abschnitt zwischen dem Bett des "Nattenberger Mühlbachs" und der Kleingartenanlage "Rösselwiese" (in direkter Nähe zum Autobahnkreuz Deggendorf) ein FFH-Gebiet gequert werden. Dies schützt ein Waldgebiet, welches jedoch ohnehin durch die Bahnlinie unterbrochen wird. Eine Umweltverträglichkeitsprüfung zur Errichtung der Fahrleitungsanlage ist jedoch somit zwingend notwendig, ein Verzicht auf ein Planfeststellungsverfahren somit nicht möglich.

Grundsätzlich ist an folgenden Bauwerken (EÜ Eisenbahnüberführung, SÜ Straßenüberführung, BÜ Bahnübergang) von notwendigen Anpassungsarbeiten auszugehen:

• BÜ Scheiblerstraße Plattling

BEMU Bayerwald Seite 93 von 181 Stand: 19.12.2022





- SÜ BAB 92 (bestehend aus 2 Brücken, ggf. Gleisabsenkung notwendig, Nachrüstung Berührschutz & Erdung)
- 2 Fußgängerüberführungen am Hp Pankofen (ggf. höher setzen oder Neubau, Nachrüstung Erdung & Berührschutz)
- BÜ Hp Pankofen
- SÜ St 2124 (ggf. Gleisabsenkung, Nachrüstung Berührschutz & Erdung)
- EÜ BAB 3 (lange Brücke, Anpassung Erdung)
- EÜ Hauptstraße Fischerdorf/Deggendorf (lange EÜ, Anpassung Erdung)
- EÜ Neusiedler Straße Deggendorf (lange EÜ, Anpassung Erdung)
 → nur bei Umsetzung der Variante 2 der Oberleitungsverlängerung

Auf der Brücke zur Querung der Bundesautobahn 3 muss voraussichtlich zur Einhaltung der maximalen Feldlängen zwischen den Masten der Oberleitung ein Mast im Verlauf des Überbaus der Brücke gestellt werden. Ggf. kann dies bei entsprechender Planung durch die Anordnung von zwei Masten jeweils direkt am Brückenkopf umgangen werden.



Abbildung 38: niedriger Fußgängersteg im Bahnsteigbereich Pankofen⁵⁵

Zur Errichtung der Oberleitungsanlage müssen je zwei Straßen- & zwei Fußgängerüberführungen ertüchtiat werden. Jede Überführung mindestens mit einer entsprechenden Bauwerkserdung (zur Sicherstellung des Personenschutzes bzw. einer korrekten Schutzreaktion im Fehlerfall) sowie einem Berührschutz (zur Verhinderung der Berührung der Oberleitung durch Personen) hergerichtet werden. Mit hoher Wahrscheinlichkeit sind außerdem die Brückenüberbauten der Fußgängerbrücken anzuheben, die sich in der Nähe des Haltepunkts Pankofen als Verbindung des Firmengeländes der Kermi GmbH mit dem Mitarbeiterparkplatz befinden. Ggf. lässt sich die Herstellung der ausreichenden lichten Höhe für die Installation von Oberleitungen auch durch ein Absenken des Gleises erreichen, allerdings schränkt die Nähe zum Bahnsteig diese Möglichkeit deutlich ein.

_

⁵⁵ http://bahnrelikte.net/galerien/images/650_652_RBG_20141130_01.jpg [Zugriff am 2. März 2022]





Auf der Brücke zur Querung der Hauptstraße Fischerdorf sowie der Neusiedler Straße Deggendorf (→ nur bei Umsetzung der Variante 2 der Oberleitungsverlängerung) muss voraussichtlich zur Einhaltung der maximalen Feldlängen zwischen den Masten der Oberleitung ein Mast im Verlauf des Überbaus der Brücke gestellt werden. Ggf. kann dies bei entsprechender Planung durch die Anordnung von zwei Masten jeweils direkt am Brückenkopf umgangen werden.

7.4.2 Variante 2: Oberleitung bis Deggendorf Hbf

Die Variante 2 dieser Infrastrukturmaßnahme schließt alle Anteile der Variante 1 mit ein, ergänzt diese jedoch zusätzlich um die Elektrifizierung der Donaubrücke und des Hauptbahnhofs Deggendorf (wie in Abbildung 37 dargestellt). Neben dem Erfordernis der Ladezeit-Verlängerung für einen Betrieb mit kurzen BEMU bis nach Klatovy ist die vollständige Elektrifizierung zudem für eine umsteigefreie und wirtschaftliche Anbindung der Großen Kreisstadt Deggendorf mit ca. 34 Tsd. Einwohnern⁵⁶ an Regensburg, Landshut und vor allem München notwendig und sinnvoll. Zusätzlich könnte der Verstärkerverkehr zu einem Halbstundentakt von Plattling nach Deggendorf so vollständig mit elektrischen Triebwagen (EMU) abgewickelt werden, sofern dies im Netzzuschnitt wirtschaftlich sinnvoll erscheint.

Die zu elektrifizierende Streckenlänge verlängert sich im Vergleich zur Variante 1 um 2 km auf ca. 9,5 km, allerdings sind im Hauptbahnhof Deggendorf sinnvollerweise zusätzliche alle vier relevanten Bahnhofsgleise zu überspannen, die für den täglichen Betrieb und für die Nachtabstellung der Fahrzeuge der RB 35 genutzt werden. So beträgt die notwendige Länge der Oberleitungsanlage bzw. des Kettenwerks ca. 11,7 km. Die Anlage soll als Standard-Kettenwerks-Oberleitung vom Typ Re 200 ausgeführt werden, die aufgrund der gefahrenen Streckengeschwindigkeit ihrem Zweck vollständig gerecht wird.

Positiver Nebeneffekt ist, dass der Lokwechsel für Güterzüge nach Hengersberg mit dem Fahrtrichtungswechsel in Deggendorf zusammenfallen kann und somit das Umspannen in Plattling und anschließende Umfahren der Züge in Deggendorf in Deggendorf Hbf vereinigt werden könne.

Wie Abbildung 37 zeigt, muss neben dem unter Variante 1 beschriebenen Schutzgebiet an der Kleingartenanlage "Rösselwiese" zusätzlich das FFH-Gebiet im Zuge der Donauquerung beachtet werden. Dieses überlagert sich mit einem Vogelschutzgebiet. Zusätzlich liegt bereits der gesamte nordöstlich der Donau gelegene Streckenverlauf sowie der Hauptbahnhof Deggendorf im Gebiet des Naturparks Bayerischer Wald. Eine Umweltverträglichkeitsprüfung zur Errichtung der Fahrleitungsanlage ist jedoch somit zwingend notwendig, ein Verzicht auf ein Planfeststellungsverfahren somit nicht möglich.

https://www.landkreis-deggendorf.de/landkreis/zahlen-daten/einwohnerzahlen/ [Zugriff am 2. März 2022]







Abbildung 39: Donaubrücke Deggendorf mit Waldbahn-Fahrzeugen⁵⁷

Wie Abbildung 39 zeigt, ist die Brücke, deren Neubau 2010 abgeschlossen wurde, in Form und Höhe des Brückenkastens für eine nachträgliche Elektrifizierung wahrscheinlich geeignet. So sind die auf der Waldbahn verkehrenden RegioShuttle in der Fahrzeughöhe zwar niedriger (ca. 3,70 m Fahrzeughöhe) als das gemäß DB Netz Infrastrukturregister zulässige Lichtraumprofil im Netz Bayerwald (Fahrzeug-Profil G2 gemäß EBO max. Fahrzeug-Höhe 4,68 m), trotzdem ergibt sich in der Abschätzung eine deutliche Höhenreserve für die Errichtung einer Oberleitungsanlage im Brückenkasten. Für diese muss ein Bereich für den Stromabnehmerdurchgang im Regelfall bis zur Höhe von 5,20 m freigehalten werden, hinzu kommt die Systemhöhe der Fahrleitung. Die angegebene gesamte Fachwerkhöhe von 10,18 Metern⁵⁸ bestätigt die Einschätzung zusätzlich.

7.4.3 Anfrage DB Energie Leistungsreserve Bestands-Uw Plattling

Im Rahmen der regelmäßigen Projektbesprechungen wurde durch die DB Energie angeboten, eine überschlägige Prüfung des vorhandenen Bahnstrom-Unterwerks (Uw,) in Plattling vorzunehmen, ob eine ausreichende Leistungsreserve vorhanden ist und Akkufahrzeuge in Plattling geladen werden können. Das Unterwerk transformiert Bahnstrom von 110 kV 16,7 Hz aus dem DB Energie Übertragungsnetz auf 15 kV 16,7 Hz für die Einspeisung in die Fahrleitung um.

Die Antwort der DB Energie besagt zunächst grundsätzlich, dass das Uw 2023/24 erneuert und mit zwei 15-MVA-Trafos ausgestattet wird. Eine Ladeleistung von

⁵⁷ https://www.outdooractive.com/de/poi/bayerischer-wald/hauptbahnhof-deggendorf/45971376/#dmlb=1 [Zugriff am 2. März 2022]

⁵⁸ https://www.niederbayern-wiki.de/wiki/Neue_Eisenbahnbrücke_(Deggendorf) [Zugriff am 2. März 2022]





2,4 MVA (Doppeltraktion bei 80 A übertragbarem Strom) kann somit problemlos aus dem Unterwerk zur Verfügung gestellt werden.

Aus Sicht der Gutachter gilt gleiches auch für Speisung der Oberleitung von Plattling bis Deggendorf Hbf, sodass im Folgenden von einer ausreichenden Leistungsbereitstellung für den zusätzlichen Streckenabschnitt bis Deggendorf ausgegangen wird. Hintergrund der Annahme ist, dass in diesem Abschnitt von einer nur sehr geringen Verkehrsbelastung ausgegangen werden kann (Halbstundentakt mit max. einer gleichzeitig beschleunigenden Doppeltraktion aufgrund des eingleisigen Abschnitts zwischen Plattling und Deggendorf sowie üblicherweise max. einem zusätzlich planmäßig im Stillstand ladenden Fahrzeug in Deggendorf (Taktverstärker). Zudem handelt es sich um eine nur sehr kurze Speiselänge von ungefähr 10 km ab dem Unterwerk bis zum Bahnhof Deggendorf (geringer Spannungsfall zu erwarten).

DB Energie merkte zudem an, dass die thermische Auslastung der Oberleitung eine Herausforderung sein könnte. Die Einschätzung der Gutachter zum Ladevorgang weicht hiervon für den konkreten Einsatzfall ab, da die Oberleitung nur auf sehr kurzer Distanz belastet wird, weil die Energieversorgung direkt über die Bahnhofseinspeisung aus dem neben dem Bahnhof liegenden Uw erfolgt. Es sind also kaum thermische Vorbelastung der Oberleitungsanlage durch den Stromfluss für andere Züge durch die betreffende Oberleitung zu erwarten. Die Speisung der Anlagen außerhalb des Bahnhofs in Richtung Passau, Landshut und Regensburg erfolgen üblicherweise von eigenen Streckenabgängen aus dem Unterwerk und stellen somit keine Vorbelastung der Anlage im Bahnhof Plattling dar. Die Züge der RB 35 halten zudem nicht in durchgehenden Hauptgleisen, sodass eher keine signifikanten sonstigen Belastungen des Oberleitungskettenwerks im betroffenen Gleis vor, während oder nach einem Ladevorgang zu erwarten sind.

7.5 Infrastrukturmaßnahme RB 35/36/37 OLIA Zwiesel

7.5.1 Übersicht Infrastrukturmaßnahme

Um eine ausreichende Energiemenge zur Überwindung des Höhenunterschieds und der Traktionsaufgabe von Plattling bzw. Deggendorf bis Bayerisch Eisenstein bzw. Špičák den Fahrzeugen zuführen zu können, ohne einen längeren Aufenthalt an einer der Zwischenstationen vorsehen zu müssen, ist eine Oberleitungsinselanlage im Streckenverlauf notwendig.

Diese soll insbesondere folgenden Anforderungen erfüllen:

- Anordnung am Streckenband so gewählt, dass die Länge der Anlage insgesamt möglichst kurz ist,
- ein möglichst geringer Eingriff in die Bestandsinfrastruktur (insbesondere große Eisenbahnüberführungen und -brücken) sowie die umweltfachlich relevanten Bereiche entlang des Streckenbandes erfolgt,





- eine Anbindung möglichst vieler Linien im Netz möglich wird zur Reduzierung der notwendigen Netzanschlusspunkte und Anlagen im Netz bzw. effiziente Ausnutzung der kostenintensiven Einrichtungen,
- wenn möglich eine Abdeckung des maßgeblichen Standortes für Nachtabstellungen im Netz in Zwiesel erfolgt um aufgerüstetes Abstellen und das Vortemperieren der Fahrzeuge vor dem Betrieb zu ermöglichen (ermöglicht zudem auch Anbindung des Werkstattstandortes Zwiesel),
- die Anordnung am Streckenband so gewählt ist, dass eine Überwindung des zweiten steigungsreichen Abschnitts ab circa Linienkilometer 50 bei Regen bis circa Linienkilometer 80 bei Špičák problemlos möglich wird.

Ergebnis dieser Anforderungen und der notwendigen Ladezeiten ausreichenden Wiederaufladung der Fahrzeugenergiespeicher für die Fahrt bis zum Scheitelpunkt bei Špičák (keine vollständige Aufladung vorgesehen!) ist eine Oberleitungsinselanlage vor und hinter dem Bahnhof Zwiesel. Von Zwiesel aus sollen in beide Richtungen der Strecke Plattling – Bayerisch Eisenstein je fünf Kilometer Oberleitung errichtet werden. Dies ergibt eine Oberleitungsanlage vom Haltepunkt Bettmannsäge bis zum Haltepunkt Ludwigsthal. Bedingung für eine betriebliche Umsetzung wäre, dass die DB Netz AG eine abweichende Regelung zum aktuell (ab 11.12.2022) gültigen Regelwerk (Ril 408.0493/ 408.2493) zum Wechsel der Traktionsart schafft, da darin der Wechsel nur an Zugmeldestellen erlaubt wird. Die benannten Haltepunkte sind iedoch nach bahnbetrieblichem Regelwerk keine Zugmeldestellen (siehe hierzu auch Kapitel 7.10). Ggf. ist zusätzlich eine Ergänzung der Oberleitungsanlage in Richtung Grafenau (RB 36) bis Lichtenthal anstatt einer Ladestation in Grafenau sinnvoll, dies wird im Abschnitt 7.7 näher beleuchtet. Grund für die Verortung des Beginns bzw. des Endes der Oberleitungsinselanlage in den Haltepunkten ist ein dort möglicher erleichterter Betriebsmodus-Wechsel im Stillstand anstatt in Fahrt. Insbesondere die Anlagenlänge kann so verkürzt werden, da keine Fahrleitungsabschnitte zum Betriebsmoduswechsel extra vorgehalten werden müssten, die dann nicht zur Ladung genutzt werden. Voraussetzung hierfür ist die Zulassung des Traktionsartwechsels im Stillstand und nicht erst nach/vor einer Zugmeldestelle (siehe hierzu auch Kapitel 7.10).

Die vorgesehene zu elektrifizierende Streckenlänge beträgt ca. 9,6 km, jedoch ist die notwendige Oberleitungsanlage ca. 12,6 km lang, da diese zusätzliche alle relevanten Gleise des Bahnhofs Zwiesel umfasst. Die Elektrifizierung der Gleise ist notwendig, da in Zwiesel sowohl die Fahrzeuge der Linie RB 35 als auch jene der Linien RB 36 (nach Grafenau) und RB 37 (nach Bodenmais, diese Linie sogar ausschließlich in Zwiesel) im täglichen Betrieb laden. Zudem werden in Zwiesel nachts sieben bis acht Fahrzeuge abgestellt. Zur Vortemperierung der Fahrzeuge (sowohl Heizung als auch Klimatisierung) und für eine wintersichere, frostfreie Abstellung ist es sinnvoll die Fahrzeuge im Bahnhof aufgerüstet mit Stromabnehmer an der Oberleitung abzustellen. In Zwiesel ist zudem eine Werkstatt der Länderbahn angesiedelt, die ggf. auch weiterhin die Instandhaltung der Bayerwald-Fahrzeuge übernehmen wird. Für diese ist die mögliche Erprobung instandgesetzter Fahrzeuge auch unter Oberleitung ein positiver Standortfaktor. Die Fahrleitung soll als Standard-Kettenwerksoberleitung vom Typ Re 100 ausgeführt werden.





Wie Abbildung 40 zeigt, liegen entlang des Schwarzen Regen bzw. der Strecke mehrere FFH- und Landschaftsschutzgebiete. Die OLIA befindet sich zudem vollständig im Naturpark Bayerischer Wald. Die Querung der FFH-Gebiete erfolgt jeweils auf einer Brücke (in Abbildung 40 als rote Kreise kenntlich gemacht), sodass dies voraussichtlich umweltfachlich weniger herausfordernd ist als im geschützten Talgrund. Zur Erlangung des Baurechts sind jedoch eine Umweltverträglichkeitsprüfung als Vorbereitung auf das Planfeststellungsverfahren und ggf., je nach Ergebnis im Planungsverfahren, auch Ausgleichsmaßnahmen zur Kompensation für den Eingriff notwendig.

Grundsätzlich ist an folgenden Bauwerken (EÜ Eisenbahnüberführung, SÜ Straßenüberführung, BÜ Bahnübergang) von notwendigen Anpassungsarbeiten auszugehen:

- BÜ am Hp Bettmannsäge
- EÜ im Wald nahe Bettmannsäge
- EÜ Klärwerk Zwiesel
- EÜ Schwarzer Regen/Langdorfer Straße bei Bahn-km 119,2
- EÜ Zwiesel Rabensteiner Straße Zwiesel
- SÜ Auenweg Klautzenbach
- EÜ nördlich Klautzenbach
- EÜ Schwarzer Regen und Eisensteiner Straße bei Bahn km 123,2
- EÜ Ludwigsthal (nach Lindberg und Schleicherstraße)

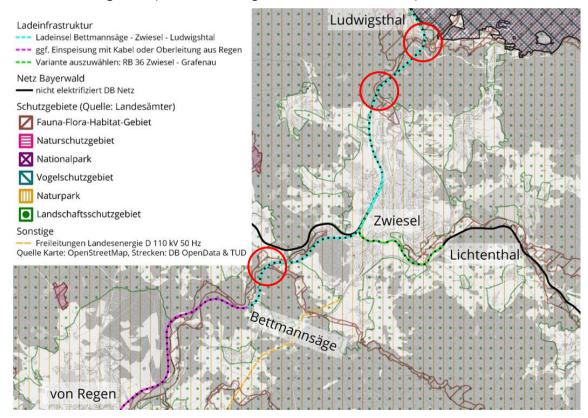


Abbildung 40: Kartendarstellung der Ladeinsel Zwiesel (rote Kreise = FFH-Gebietsquerung)

BEMU Bayerwald Seite 99 von 181 Stand: 19.12.2022





Ein früherer Beginn der OLIA bereits in Regen bzw. zwischen Regen und Bettmannsäge ist nicht sinnvoll, da knapp westlich von Bettmannsäge die Nagerlbrücke anschließt, deren Vorbereitung für eine mögliche Elektrifizierung nach Angaben der DB Netz zusätzlich circa einhunderttausend Euro Kosten verursachen würde, sofern bereits während der Erneuerung die Ertüchtigung für eine spätere Errichtung der Fahrleitungsanlage mit umgesetzt würde. Sie stammt aus dem Erbauungszeitraum der Strecke nach Bayerisch Eisenstein. Die Erneuerung ist für 2026⁵⁹ angesetzt. Die Schienenoberkante der Nagerlbrücke liegt nach Auskunft der DB Netz bis zu 18,0 m über Geländeoberkante, die Pfeiler stehen zudem im Überschwemmungsgebiet des Schwarzen Regen. Eine detaillierte Prüfung der Lösung zur Energieversorgung für die OLIA könnte jedoch ergeben, dass die Energieversorgung aus Regen mittels Oberleitung oder Kabelführung nach Bettmannsäge technisch sinnvoll ist. Dies würde eine Neubewertung der Situation erfordern.

Einer Weiterführung über Ludwigsthal hinaus bis Bayerisch Eisenstein steht ebenso ein Brückenbauwerk entgegen. Kurz hinter dem Haltepunkt liegt die Deffernikbrücke, deren Schienenoberkante nach Auskunft der DB Netz bis zu 27,0 m über Geländeoberkante liegt. Sie stammt aus dem Erbauungszeitraum der Strecke nach Bayerisch Eisenstein. Außerdem bildet die Bahnstrecke, wie Abbildung 40 zeigt, in etwa ab dem Haltepunkt die Grenze des Nationalparks Bayerischer Wald. Auch direkt angrenzende Flächen an ein streng naturschutzrechtlich geschütztes Gebiet müssen erhöhte Anforderungen zum Schutz des Gebietes erfüllen. Es wäre deshalb mit hohen Hürden zur Genehmigung der Fahrleitungsanlage zu rechnen, die ohnehin nicht zwingend für einen BEMU-Betrieb benötigt wird.

7.5.2 Bestimmung des Leistungsbedarfs der OLIA Zwiesel

Die Oberleitungsinselanlage Zwiesel ist die zentrale und größte notwendige Infrastrukturmaßnahme im Bayerwaldnetz mit einem Leistungsbedarf von ca. 10 MVA. Aufgrund des hohen Leistungsbedarfs wäre eine Anbindung an das zentrale Bahnstromnetz mit geringem Infrastrukturaufwand wünschenswert, da die Energie aus dem zentralen 110-kV-Bahnstromnetz kostengünstiger bezogen werden kann als aus dem Netz der Landesenergieversorgung. nächstgelegene Bahnstromleitung endet am Unterwerk Plattling. Je nach Ort der Anbindung müsste sie um 27 bis 35 km Luftlinie verlängert werden. Die Kosten für den Bau der Freileitung lägen somit im zweistelligen Millionenbereich, die grundsätzlich auch kostenintensive Alternativen attraktiv werden lassen. Der verhältnismäßig große Eingriff in die Umwelt bedürfte Planungszeiten von mindestens 15 Jahren, was den zeitlichen Horizont des Projekts sprengt. Hinzu käme die Lage der Bahnstromleitung nahezu auf ganzer Länge im Naturpark Bayerischer Wald, die die Rechtfertigung einer solchen Leitung bei vorhandenen (Leistungsbereitstellung Alternativen aus dem bereits leistungsfähig

⁵⁹ https://www.deutschebahn.com/pr-muenchen-de/aktuell/presseinformationen/Planungen-zur-Erneuerung-der-grossen-Bahnbruecken-an-der-Waldbahn-laufen--6210440 [Zugriff im Mai 2022]





vorhandenen Landesnetz) als nicht zielführend erscheinen lässt. Abschließend stellt sich zudem die Frage, ob eine Verlängerung der 110-kV-Leitung über Plattling hinaus aufgrund der technischen Randbedingungen der Bestandsleitung ohne größeren Umbau möglich wäre. Zusammenfassend wird deshalb der Anschluss an das zentrale 110-kV-Bahnstromnetz nicht empfohlen. Aufgrund des hohen Leistungsbedarfs ist bei einer dezentralen Lösung, also dem Anschluss an das Landesnetz durch ein mit der 110-kV-Landesnergieversorgung verbundenes Umspannwerk empfehlenswert, an dem ggf. ein separater Transformator installiert werden muss. Hier bietet sich ggf. eine Ausführung mit 50-Hz-Technik besonders an.

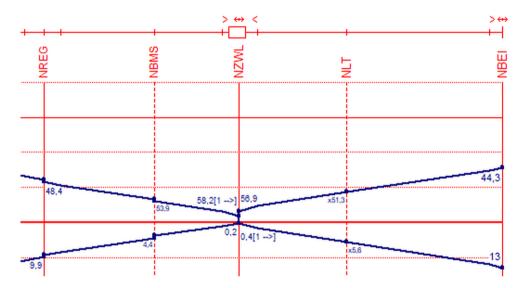


Abbildung 41: Bildfahrplan der Zugkreuzung der Linie RB 35 am Bahnhof Zwiesel mit Darstellung der anschließenden Fahrzeit innerhalb der Ladeinsel

Die notwendige Anschlussleistung wird durch die Gutachter auf ca. 10 MVA geschätzt. Der maximale Leistungsbedarf aus dem Landesnetz lässt sich aus dem Zeitpunkt der höchsten Belastung der OLIA Zwiesel ermitteln. Diese findet während des Takt-Nullknotens (-11/+3 min zum Stundenwechsel) statt. In dieser Zeit befinden sich folgende Fahrzeuge mit Leistungsbedarf in der OLIA:

- zwei mit maximaler Leistung ladende BEMU im Stand
 - → je nominal 1,2 MVA Leistungsbedarf
 - > RB 36 aus/nach Grafenau (an zur Minute 56, ab zur Minute 2)
 - RB 37 aus/nach Bodenmais (an zur Minute 49, ab zur Minute 2)
- zwei Doppeltraktionen mit jeweils maximaler Kurzzeit-Traktionsleistung (insgesamt vier Fahrzeuge) im Oberleitungsbetrieb fahrend mit der Leistung vergleichbarer EMU-Flirt-Fahrzeuge
 - jeweils RB 35 Richtung Bayerisch Eisenstein/Klatovy und Plattling
 - → je nominal 1,4 MVA Leistungsbedarf
 - → Die Ladeleistung im Bahnhof in Zwiesel mit je 1,2 MVA pro Fahrzeug im Stillstand ist mit dieser Leistungsannahme somit bereits abgedeckt.
 - → Die Züge der Linie RB 35 verlassen Zwiesel in beide Richtungen zur Minute 0, sodass durch beide Züge der RB 35 bereits Traktionsleistung bezogen wird, während die Fahrzeuge der Linien RB 36 und RB 37 noch laden (siehe hierzu Bildfahrplan der RB 35 in Abbildung 41).





- zwei im Bahnhof Zwiesel aufgerüstet abgestellte und schon vollgeladene (somit nicht ladende) BEMU
 - → je nominal 0,1 MVA Hilfsbetriebeleistung
- + zudem 20 % Reserve notwendig zur sicheren Kurzschlusserkennung im Fehlerfall
 - → ermöglicht sichere Unterscheidung zwischen maximal auftretenden Betriebsströmen und maximalen Kurzschlussströmen, sodass nicht schon bei hohen Betriebsströmen der Schutz gegen Kurzschlüsse ausgelöst wird

Die ermittelte max. Betriebs-Belastung im Knoten Zwiesel liegt somit circa bei 8,2 MVA bezogener Leistung plus einer notwendigen Reserve von circa 1,65 MVA. Hieraus ergibt sich eine nominal notwendige Leistung zur Versorgung der OLIA Zwiesel von circa 10 MVA. Die Abschätzung diente lediglich zur kostenseitigen Dimensionierung der OLIA Zwiesel und sollte durch eine simulative Analyse der realen Belastung, insbesondere durch die fahrenden Fahrzeuge der Linie RB 35 detaillierter untersucht werden. Ggf. können so insbesondere bei den speisenden Transformatoren thermische Reserven aufgrund der nur kurzzeitigen Spitzenbelastung zum Nullkoten genutzt werden bzw. weitere Optimierungspotenziale erkannt werden.

7.5.3 Variante 1: Elektrische Anbindung über Umspannwerk Regen

Bei der Errichtung der OLIA Zwiesel sind zwei leistungsfähige Anbindungsmöglichkeiten denkbar. Variante 1 enthält einen Netzanschluss nahe des Bahnhofs Regen, da ein leistungsfähiges Umspannwerk der Landesenergieversorgung von 110 kV Hochspannung auf Mittelspannung nur ca. einen Kilometer vom Bahnhof Regen entfernt liegt.

Da davon auszugehen ist, dass auf der Mittelspannungsebene des Umspannwerks keine ausreichenden Leistungsreserven zur Speisung der OLIA Zwiesel (ca. 10 MVA) ohne Ausbaumaßnahmen verfügbar sind, kann entweder bei ausreichend vorhandener Netzkurzschlussleistung am Umspannwerk ein einphasiger Trafo für die einphasige Speisung (unsymmetrisch!) einer Oberleitung mit 15 kV 50 Hz oder 25 kV 50 Hz (äguivalent zum tschechischen Netz) eingesetzt werden. Reicht die Auslegungsgröße der Netzkurzschlussleistung im 110-kV-Netz am Umspannwerk Regen nicht aus, könnte mit einem speziellen Transformator und einem ergänzenden Symmetrie-Umrichter die eingebrachte Unsymmetrie ausgeglichen werden, sodass eine Oberleitungsspeisung mit 15 kV 50 Hz oder 25 kV 50 Hz ohne Einbringung der Unsymmetrie ins vorgelagerte Landesnetz möglich wäre. Alternativ wäre zunächst ein zusätzlicher dreiphasiger 110 kV-Mittelspannungs-Transformator zur Schaffung einer Leistungssteigerung auf der Mittelspannungs-50-Hz-Seite zu installieren. dem dann ein Umrichter zur Bildung von den in Deutschland üblichen 15 kV 16,7 Hz nachgeschaltet werden würde. Zu den technischen Details siehe auch Kapitel 6.4.

Die Anbindung der OLIA Zwiesel selbst würde dann wie folgt stattfinden (siehe hierzu Abbildung 42):





- Erzeugung der für die Bahn notwendigen Spannung und Frequenz in direkter Nähe zum Landesenergieversorgungs-Umspannwerk (Flächen in der Umgebung grundsätzlich unbebaut verfügbar, allerdings bisher keine Prüfung der Eigentumsverhältnisse)
- Errichtung einer Speiseleitung vom Umspannwerk Regen zur Bahnstrecke an der Regenbrücke in Regen (ca. 850 m Länge)
 - da Straße teilweise im Ort, Ausführung als Kabel empfohlen
- Weiterführung entlang der Bahn in einem Kabelkanal bis Bettmannsäge (ca. 5 km Länge)
- in Bettmannsäge Einspeisung in OLIA Zwiesel

Einschränkend ist, dass die streckenmäßig kürzeste Verbindung zur Bahnstrecke bei der Querung des Schwarzen Regen das FFH-Gebiet entlang des Regens kreuzen würde, was planungs- und umweltrechtlich hohe Hürden aufbaut. Ziel sollte deshalb sein, die Energieversorgung entlang der Zwieseler Straße an den Bahnhof Regen heranzuführen. Dies würde ggf. dann auch die Errichtung des Umrichters bzw. der bahnbezogenen Technik zur Speisung der OLIA am Bahnhof auf bahneigenem Grund ermöglichen.

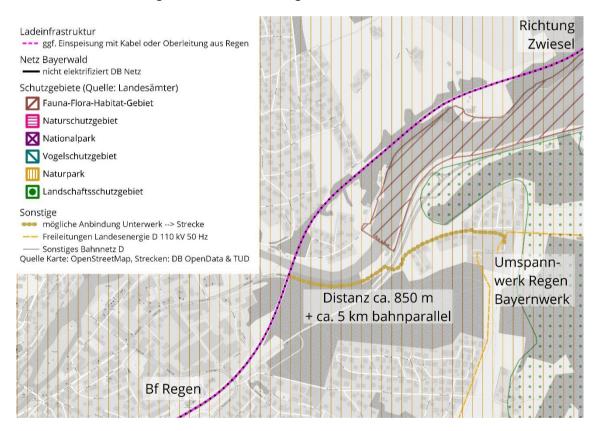


Abbildung 42: Variante 1 Energieversorgung Ladeinsel Zwiesel in Regen

Neben der Energieversorgungsanordnung in Regen selbst bildet auch die Führung der Speiseleitung entlang der Bahntrasse bis zum Beginn der OLIA Zwiesel in Bettmannsäge große Herausforderungen hinsichtlich einiger elektrischer Parameter (kapazitives Verhalten etc.). Außerdem erhöht diese den Aufwand bei Instandhaltungsmaßnahmen entlang der Bahntrasse, weil ein im Kabelkanal oder in der Erde verlegtes Kabel immer größere Risiken der Beschädigung (des

BEMU Bayerwald Seite 103 von 181 Stand: 19.12.2022





Kabels) und des direkten oder indirekten Berührens durch Personen bietet als eine Oberleitungsanlage. Zudem müsste auch die Rückleitungsführung voraussichtlich in einem Kabel außerhalb der Schienen angeordnet werden. Eine Umsetzung einer solchen Anlage ist den Gutachtern im Vollbahnbereich bisher nicht bekannt. Abschließend befindet sich außerdem die Nagerlbrücke im Bereich der Trasse, auf der die Ausführung einer entsprechenden Kabelführung in den Leistungsphasen 1 bzw. 2 eine Planung detailliert zu prüfen bzw. entwerfen wäre.

Neben dem leistungsabhängigen Baukostenzuschuss addieren sich somit auch die Kosten des zusätzlichen Transformators sowie der Verlegung der 5 km langen Kabeltrasse entlang der Bahnstrecke zu den Gesamtkosten der OLIA.

7.5.4 Variante 2: Anbindung über Umspannwerk Zwiesel

Variante 2 sieht einen Netzanschluss westlich des Bahnhofs Zwiesel vor, da ein leistungsfähiges Umspannwerk der Landesenergieversorgung von 110 kV Hochspannung auf Mittelspannung nur ca. 1,4 km Luftlinie von der Bahntrasse entfernt liegt. Kabeltrassen werden üblicherweise nicht entlang der Luftlinie querfeldein, sondern entlang bestehender Verkehrswege errichtet. Entsprechend der Darstellung in Abbildung 43 beträgt die kürzeste Distanz für eine entsprechende Kabeltrasse, die ungefähr auf Höhe des Klärwerks Zwiesel auf die Bahnlinie trifft und entlang der Straße Zwieselberg verläuft, ca. 2000 m Länge. Die Distanz vom Umspannwerk zum Bahnhof Zwiesel beträgt hingegen bereits ca. 2,6 km Luftlinie und die Mittelspannungstrasse quert vom Umspannwerk südlich von Zwiesel zum Bahnhof nahezu das gesamte Stadtgebiet entlang von Wohnstraßen, sodass mit höheren Baukosten und größerem Aufwand bei der Planung zu kalkulieren ist als bei einer Führung entlang der auf den meisten Abschnitten unbebauten Straße Zwieselberg.

Für die Anbindungs- und Speisemöglichkeiten (Spannung, Frequenz, Speisung mit/ohne Umrichter) gelten die gleichen Rahmenbedingungen wie bei Variante 1.

Die Anbindung der OLIA Zwiesel selbst würde folgendermaßen ausgeführt werden (siehe hierzu Abbildung 43), wobei sich für die Anbindung grundsätzlich drei Möglichkeiten ergeben:

- Direkte Einspeisung in die Oberleitung am Klärwerk Zwiesel:
 - → Errichtung eines Umrichterwerks (16,7 Hz) oder bahneigenen Unterwerks (50 Hz) in direkter Nähe zum Umspannwerk Zwiesel und Anbindung der Oberleitung über eine Mittelspannungsverkabelung/freileitung mit einer für die Bahn geeigneten Spannung und Frequenz (15 kV 16,7 Hz oder 25 kV 50 Hz)
 - → Distanz zur Bahnstrecke (siehe Abbildung 43) ca. 2000 m, jedoch kann die Leitung der Straße zum Klärwerk (Zwieslsberg) folgen
- oder Weiterführung einer Speiseleitung auf den Fahrleitungsmasten entlang der Bahntrasse und Einspeisung im Bahnhofsbereich (Einspeisung entsprechend der üblichen Vorgaben der DB-Richtlinien im Bahnhofsbereich):





- → die Leitung sollte bei Instandhaltungsarbeiten an der Oberleitung unabhängig betrieben werden können, sodass der Bahnhof Zwiesel getrennt von den Streckengleisen gespeist werden kann (z. B. für die dort über Nacht abgestellten Fahrzeuge) → Steigerung der Resilienz
- → Speisleitung auf den Fahrleitungsmasten mit ca. 2,7 km Länge
- oder Weiterführung einer 50-Hz-Mittelspannungsleitung (wahrscheinlich als Freileitung auf den Fahrleitungsmasten) entlang der Bahntrasse bis zum Bahnhof Zwiesel
 - → Errichtung eines Umrichterwerks (16,7 Hz) oder bahneigenen Unterwerks (50 Hz) am Bahnhof Zwiesel auf bahneigenem Gelände
 - → Speisleitung auf den Fahrleitungsmasten mit ca. 2,7 km Länge
- <u>Alternativ</u> ist auch ein Ausbau der 50-Hz-Mittelspannungsinfrastruktur im Stadtgebiet Zwiesel vom Umspannwerk zum Bahnhof Zwiesel denkbar,
 - → Errichtung eines Umrichterwerks (16,7 Hz) oder bahneigenen Unterwerks (50 Hz) am Bahnhof Zwiesel auf bahneigenem Gelände
 - → Luftlinie ca. 2,5 km bis zum Bahnhofs-/Werkstattgelände Zwiesel

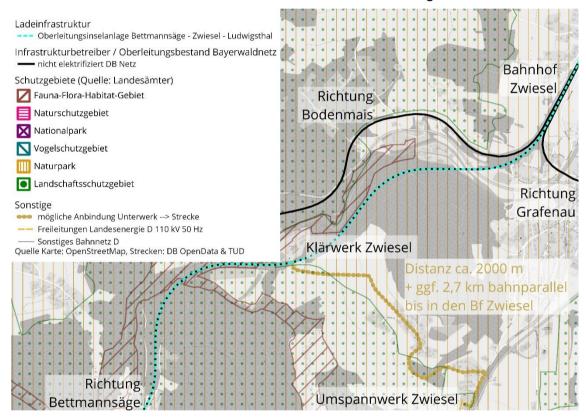


Abbildung 43: Variante 2 Energieversorgung Ladeinsel Zwiesel in Zwiesel

Eine genaue Prüfung und vergleichende Bewertung der Anbindungsmöglichkeiten des OLIA Zwiesel entweder über das Umspannwerk Regen oder das Umspannwerk Zwiesel ist im Rahmen der Leistungsphasen 1 bis 2 (nach HOAI) der Planungsleistungen für die OLIA Zwiesel durchzuführen.

Nach Ansicht der Gutachter ist eine Anbindung über das Umspannwerk Zwiesel mit Speisung direkt am Klärwerk (oder als Mitführung auf den Fahrleitungsmasten bis zum Bahnhof) voraussichtlich planungs- und umweltrechtlich einfacher sowie günstiger zu realisieren als eine Anbindung über das Unterwerk

BEMU Bayerwald Seite 105 von 181 Stand: 19.12.2022





Regen. Eine detaillierte Abfrage zur notwendigen Leistungsfähigkeit der vorhandenen 110-kV-Anlagen beim Bayernwerk ergab, dass diese voraussichtlich die benötigte Leistung bereitstellen können, jedoch auch hierzu eine entsprechende Tiefenprüfung im Rahmen der Planungsleistungen durchzuführen wäre.

7.5.5 Brücken westlich Zwiesel und südlich Ludwigsthal

Im zu elektrifizierenden Streckenabschnitt sind zwei relevante größere Brücken zu elektrifizieren. Hierbei handelt es sich zum einen um eine talguerende Brücke über den Regen und die Langendorfer Straße am Bahn-km 119,2 westlich von Zwiesel (siehe Abbildung 44) sowie um eine weitere Regen-Querung am Bahnkm 123,2 südlich von Ludwigsthal (siehe Abbildung 45), an der zudem die Eisensteiner Straße geguert wird. Die Anfrage zum Zustand der Brücken bei der DB Netz AG im Rahmen der Abstimmungstermine mit der BEG, der DB Netze, dem StMB sowie der DLB ergab folgende Antwort (vom 11.02.2022): "Die Eisenbahnüberführungen in km 119.208 und km 123.200 sind in einem guten Zustand und die Restnutzungsdauer reicht über das Jahr in 2030 hinaus. Wir möchten Sie aber darauf hinweisen, dass die B[r]ücken in die Streckenklassifizierung A eingestuft sind. Bei einer Erhöhung der Streckenklasse werden hier aber auch für alle anderen KIB-Bauwerke [Anmerkung Gutachter: KIB = Konstruktive Ingenieurbauwerke] der Strecke Nachrechnungen vonnöten." Insbesondere der letzte Hinweis gilt, wie im Abschnitt 4.3 beschrieben, für die gesamte Strecke der Linien RB 36 sowie RB 35 östlich von Gotteszell. Die Ausbaumaßnahmen hierfür wurden in der Studie nicht beleuchtet.

Wie die meisten Brücken im Verlauf der Strecke bis Bayerisch Eisenstein sind auch diese beiden Brücken bereits beim Bau durch verbreiterte Pfeiler für den Brückenüberbau eines zweiten Gleises vorbereitet worden (siehe Pfeiler auf Abbildung 46 bzw. rote Kreise in Abbildung 44 und Abbildung 45). Diese verbreiterten Brückenpfeiler sind aus Sicht der Gutachter als Maststandorte gut geeignet, da sie statisch für deutlich höhere Lasten ausgelegt wurden als für Maste notwendig ist und am Brückenkörper selbst so keine Masten angebracht bzw. angeklammert werden müssen. Das Anbringen am Brückenkörper wäre bei den Stahlüberbauten der betrachteten Brücken eine besondere Herausforderung aufgrund der Bautechnologien (genietet) aus der Errichtungszeit der Bahnlinie (Aktivierung der Brücken laut Brückenkarte der DB Netz bereits 1877). Zudem käme es durch die Maststandorte auf dem Pfeilerkopf auf den Brücken zu keiner Einschränkung der Randwege. Herausforderung hierbei ist jedoch ggf. eine Betrachtung aus der Projektierung zur Sanierung der Ohetalbrücke, die für diese Lösung folgende Einwände äußert (laut Angabe in der E-Mail⁶⁰ teilweise ein Auszug aus dem Erläuterungsbericht zu den Brückenmaßnahmen, Kapitel 4.3): "Bei der Ohetalbrücke [...] gibt es aber noch ein weiteres KO-Kriterium gegen eine spätere Mastanordnung "außen". [...]: Nur mit der Anordnung von OL-Masten in einer Mastgasse auf dem Brückendeck unmittelbar neben dem Licht-

⁶⁰ E-Mail DB Netz Regensburg





raumprofil des Zuges ist das vom Regelwerk vorgeschriebene Inspektionskonzept mit standardisiertem Brückenbesichtigungsfahrzeug auch nach einer Elektrifizierung der Strecke möglich. Dafür muss beim Neubau der Brücke ein 47,5 [c]m breiterer Überbau vorgesehen werden. Eine spätere Überbauverbreiterung des semi-integralen Spannbetontragwerks scheidet aus bzw. ist ohne lange Totalsperrung überhaupt nicht machbar." Diese Rahmenbedingung gilt ggf. auch für die Anordnung der Maste auf den Pfeilerköpfen und müsste im Rahmen einer brückenplanerischen Bewertung genauer beleuchtet werden.



Abbildung 44: Regen-Brücke ca. bei Bahn-km 119,2 westlich Zwiesel. Länge 131 m⁶¹

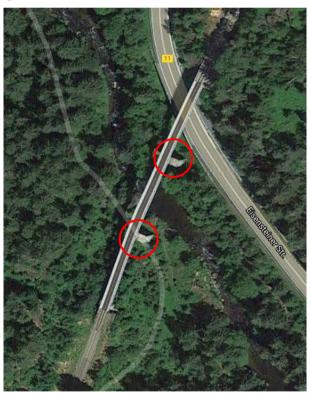


Abbildung 45: Regen-Brücke ca. bei Bahn-km 123,2 südlich Ludwigsthal, Länge 126 m⁶¹

BEMU Bayerwald Seite 107 von 181 Stand: 19.12.2022

⁶¹ Quelle Aufnahme: maps.google.com





Für die vorgeschlagene Variante des StMB der Anordnung der Fahrleitungsmasten neben den Brücken auf Geländeniveau werden ebenso technische Bedenken anhand der Beispiele Nagerlbrücke, Deffernikbrücke sowie Ohetalbrücke geäußert. So ergibt die Rückmeldung⁶² vom Planungsbüro bzw. der DB Netz: "Die Schienenoberkante der Nagerlbrücke liegt bis zu 18,0 m über Geländeoberkante, die Pfeiler stehen im Überschwemmungsgebiet des Schwarzen Regens. Die Schienenoberkante der Deffernikbrücke liegt bis zu 27,0 m über Geländeoberkante. Die Schienenoberkante de[r] Ohetalbrücke liegt bis zu 48,5 m über Geländeoberkante. Bei einer Gründung der OL-Maste auf GOK [Anmerkung Gutachter: Geländeoberkante] hätte dies zur Folge, dass Oberleitungsmaste mit 28 m (Nagerlbrücke), 37 m (Deffernikbrücke) und 58 m (Ohetalbrücke) eingebaut werden müssten. OL-Maste dieser Länge gibt es nicht. Sonderausführungen von Masten dieser Länge würden vsl. die zulässigen Verformungen infolge Wind[es] etc. nicht einhalten können."



Abbildung 46: Stahlüberbau Regen-Brücke ca. bei Bahn-km 123,2 südlich Ludwigsthal⁶³ Für die technische Umsetzung der Fahrleitungs-Mastanordnung auf den Brücken in der OLIA Zwiesel ergibt sich also demzufolge ein detaillierter Prüfungsbedarf.

7.6 Infrastrukturmaßnahme RB 35 Oberleitungsinselanlage Nyrsko

7.6.1 Verlängerung der Oberleitung ab Klatovy als Alternative?

Um eine Ladeinfrastruktur auf dem tschechischen Abschnitt Klatovy – Železná Ruda-Alžbětín (Bayerisch Eisenstein) der RB 35 wirksam anordnen zu können, ist es vor allem relevant, dass auf geringer Distanz möglichst viele Höhenmeter überbrückt werden, da die Zuführung von potentieller Energie (sog. Lageenergie) zum Fahrzeug einen erheblichen Anteil des Energiebedarfs bei der Bergfahrt bis zum Brechpunkt der Strecke bei Špičák ausmacht. Dies spricht für eine

BEMU Bayerwald Seite 108 von 181 Stand: 19.12.2022

⁶² E-Mail DB Netz Regensburg

⁶³ Quelle Aufnahme: https://bruecken.deutschebahn.com/sites/default/files/styles/medium/public/bruecken/16019370_0.jpg?itok=dw396Cu8 [Zugriff im Mai 2022]







Oberleitungsinselanlage im besonders steilen Abschnitt, der circa zehn bis zwölf Kilometer hinter Klatovy beginnt, wie Abbildung 47 zeigt.

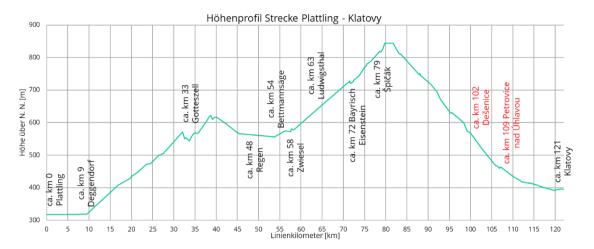


Abbildung 47: Höhenprofil Gesamtstrecke RB 35



Abbildung 48: Klatovy in Randlage im mit 25 kV 50 Hz elektrifizierten tschechischen Netz (rot)⁶⁴

Dies führt grundsätzlich dazu, dass eine einfachere Oberleitungsverlängerung über Klatovy hinaus, insbesondere bis Petrovice nad Úhlavou, kaum energetische Vorteile bringt, da hier maßgeblich nur der Traktions- und Hilfsbetriebe-

⁶⁴ https://provoz.spravazeleznic.cz/PORTAL/Show.aspx?path=/Data/Mapy/kol.pdf [Zugriff Januar 2022]





Energiebedarf gedeckt, dem Fahrzeug jedoch kaum Lageenergie zugeführt würde.

Außerdem liegt Klatovy bereits jetzt in Randlage im mit 25 kV 50 Hz elektrifizierten tschechischen Netz, wie Abbildung 48 zeigt. Weite Verlängerungsmöglichkeiten sind technisch bedingt deshalb nicht zu erwarten, da die sogenannte Speiselänge eines Unterwerks begrenzt ist.

Auch am anderen Ende des steigungsreichen tschechischen Abschnitts in Bayerisch Eisenstein bzw. am Brechpunkt Špičák ist die Installation einer Oberleitungsinselanlage nur mit hohen Hürden möglich. Grund dafür ist, dass beide Orte in extremer elektrischer Netzrandlage des jeweiligen Landesenergieversorgungsnetzes (50 Hz) liegen. Dort ist eine zu geringe Leistung im Landesnetz verfügbar, um eine Oberleitungsinselanlage mit der erforderlichen Leistung zu versorgen. Hintergrund ist, dass das nächste Umspannwerk der Landesenergieversorgung von 110 kV auf Mittelspannung in Zwiesel bzw. noch weiter entfernt ist.

Naheliegend ist also eine Oberleitungsinselanlage auszuführen, die bereits im stark steigenden Abschnitt liegt, verhältnismäßig einfach aus einer Hochspannungsanbindung mit 110 kV gespeist werden kann und zudem noch nicht im Einflussbereich des EU-Natura-2000-Schutzgebietes bzw. des Biosphärenreservates im tschechischen Teil des Böhmerwalds liegt.

7.6.2 Oberleitungsinselanlage Nyrsko

Wie Abbildung 49 zeigt, beginnt der geschützte Abschnitt hinter dem Haltepunkt Dešenice, sodass die Oberleitungsinselanlage bis dorthin geführt werden kann. Positiver Nebeneffekt ist hierbei, dass der letzte Ausläufer des tschechischen 110-kV-Landesnetzes in dieser Region bis Dešenice reicht und knapp südlich des Haltepunkts als Freileitung die Bahnstrecke kreuzt (siehe ebenso Abbildung 49). Ausgehend von der in Kapitel 5.3.2 dargestellten notwendigen Länge der Oberleitungsinselanlage zur Versorgung der Fahrzeuge ergibt sich so die Oberleitungsinselanlage von Petrovice nad Úhlavou bis Dešenice. Diese umfasst ca. 7,6 km Länge, wobei ein Höhenunterschied von 85 m überwunden wird. Ca. in der Mitte liegt der Kreuzungsbahnhof Nyrsko, zu dem einzelne Verstärker- und Abstellverkehre aus Klatovy angeboten werden.

Vorgeschlagen wird eine Elektrifizierung mit dem im südlichen Tschechien verwendeten Oberleitungssystem mit 25 kV 50 Hz (äquivalent zu Klatovy). Der gesamte Ladeabschnitt befindet sich so noch außerhalb der umweltrechtlichen EU-Schutzzone Natura 2000. Die Energieversorgung kann über die 110-kV-50-Hz-Freileitung bei Dešenice über ein Bahn-Unterwerk gewährleistet werden. Eine Abfrage beim tschechischen Netzbetreiber ČEZ zur Verfügbarkeit der Leistungsreserven bzw. den notwendigen Ausbaukosten wurde seitens der Gutachter nicht durchgeführt, da hierzu kein Mandat des tschechischen Infrastrukturbetreibers Správa železnic vorlag bzw. angefragt wurde.

BEMU Bayerwald Seite 110 von 181 Stand: 19.12.2022





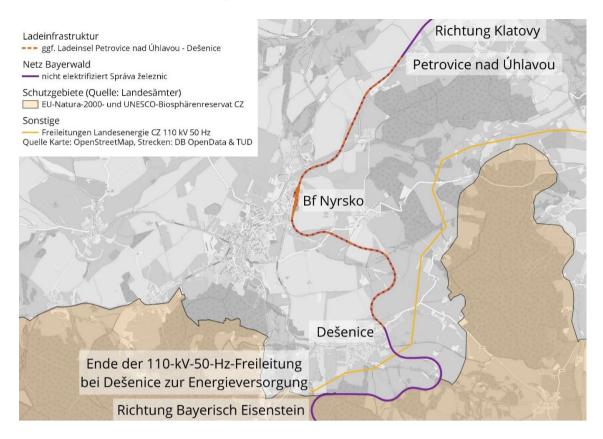


Abbildung 49: Kartendarstellung der Oberleitungsinselanlage Nyrsko

Für die Auslegung wurde außerdem angenommen, dass der Systemwechsel zwischen oberleitungsfreiem Betrieb und Oberleitungsbetrieb in den Haltepunkten stattfindet, da den Gutachtern keine Erkenntnisse über die angedachten betrieblichen Regelungen des tschechischen Netzbetreibers zum Traktionsartwechsel vorliegen.

7.7 Infrastrukturmaßnahme RB 36

7.7.1 Option 1: Ladestation Grafenau

Die Linie RB 36 muss an einem ihrer Endpunkte mit einer Ladestation oder einem Ladeabschnitt ausgerüstet werden. Als Option 1 bietet sich hierzu der Endbahnhof Grafenau an. Dort steht ausreichend Ladezeit zur Verfügung, sodass über eine ausschließliche Ladung im Fahrzeugstillstand die Fahrzeugenergiespeicher vollständig geladen werden können. Dabei wäre hier eine Ladeleistung ausreichend, die aufgrund der verfügbaren Standzeit niedriger sein könnte als die technisch mögliche Ladeleistung von ca. 1,2 MW. Alternativ wäre auch ein Betrieb ohne Nachlademöglichkeit in Zwiesel technisch möglich. Zur Sicherstellung von Verspätungsreserven, wurde jedoch die volle Anschlussleistung für das Laden eines BEMU beim Bayernwerk angefragt. Sowohl ein Leistungsbedarf von 1,2 MW als auch von 2,4 MW können ohne Verstärkungsmaßnahmen bereitgestellt werden. Hierbei wurde jeweils ein n-1-sicherer Anschluss unterstellt und durch das Bayernwerk als technisch machbar bestätigt, der auch beim Ausfall/bei der Abschaltung einer Energieversorgungsleitung aus dem Mittelspannungsnetz weiterbetrieben werden kann.





Wie Abbildung 50 zeigt, ist Grafenau Teil des Naturparks Bayerischer Wald. Die Errichtung der Ladestation am Bahnhof ist aus ökologischer Sicht trotzdem möglich, da Naturparks per Definition unter anderem auch attraktiv für den Tourismus gestaltet werden sollen. Dies ist unter anderem durch eine Stärkung des Schienenverkehrs möglich. Der Schutzstatus des Naturparks ist somit verhältnismäßig "niedrig". Zudem liegt der Bahnhof Grafenau bereits vollständig im Siedlungsgebiet von Grafenau, sodass die Lage im Naturpark einer Errichtung der Ladestation aus ökologischer Sicht nicht entgegenstehen dürfte. Ein Verzicht auf ein Planfeststellungsverfahren ist deshalb allerdings voraussichtlich nicht möglich, zudem ist hierbei eine Bewertung der Auswirkungen auf die Anwohner sicher notwendig.

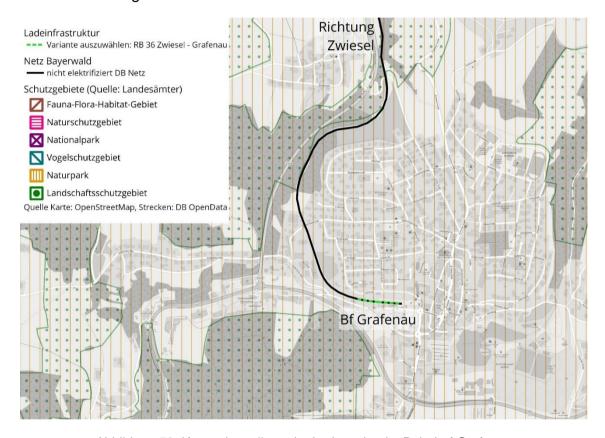


Abbildung 50: Kartendarstellung der Ladestation im Bahnhof Grafenau

Der Bahnhof Grafenau verfügt nur über ein stumpf endendes Bahnsteiggleis, sodass sich die notwendige Oberleitung auf ca. 75 m Länge beschränkt. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Ladeleistung lässt sich die Ladestation mit einer Standard-Kettenwerks-Oberleitung ausführen. Möglich wäre jedoch auch eine Stromschienen-Oberleitung, die aus Gründen der höheren Stromtragfähigkeit nach Erkenntnissen der Gutachter sinnvoll erscheint. Vorteil ist hierbei die schonendere Erwärmungssituation für die Stromabnehmerschleifleiste, da durch den großen Aluminiumkörper einer Oberleitungsstromschiene eine hohe Kühlwirkung erzielt wird, die zu geringerem Wärmeeintrag in die Schleifleiste führt. Dies kann deren Standzeit im Alltagsbetrieb verbessern.

Kostenseitig wurde die Speisung mit einem Standard-Umrichter der DB Energie für Ladestationen mit einer Leistung von 2,5 MW (elektronisch zu begrenzen auf

BEMU Bayerwald Seite 112 von 181 Stand: 19.12.2022





die ausgelegte Anschlussleistung) unterstellt. Aufgrund der voraussichtlich gegebenen Fähigkeit der Fahrzeuge, für den Betrieb in Tschechien auch mit 25 kV 50 Hz umgehen zu können, bieten sich hier ggf. die in 6.4 dargestellten kostengünstigeren Lösungen zur Versorgung unter Nutzung von 50-Hz-Technik mit 25 kV oder 15 kV Spannung an der Ladestation an. Eine detaillierte Prüfung der Machbarkeit, insbesondere hinsichtlich ggf. auftretender Unsymmetrie, müsste in den frühen Planungsphasen bis Leistungsphase 4 nach HOAI von der DB Energie bzw. dem Bayernwerk durchgeführt und dabei eine Technologieentscheidung getroffen werden.

7.7.2 Option 2: Ausbau Oberleitungsinselanlage Zwiesel – Lichtenthal

Die Oberleitungsinselanlage in Zwiesel wird für die RB 36 als zweite Lademöglichkeit zur Standladung ebenfalls genutzt. Aufgrund der gegebenen Kreuzungssituation auf der Linie Zwiesel – Grafenau mit planmäßig möglichen Zugkreuzungen ausschließlich in Spiegelau ist eine Verlegung der deutlich längeren Wendezeit von Grafenau nach Zwiesel zur Gewährleistung einer ausreichenden Ladezeit (ggf. unter Inkaufnahme von leicht verlängerten Aufenthaltszeiten der Fahrgäste beim Umstieg auf die RB 35 bzw. RB 37) nicht gegeben.

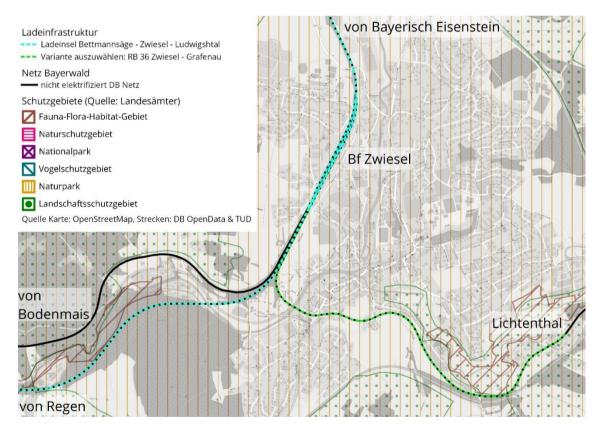


Abbildung 51: Kartendarstellung der Oberleitungsverlängerung der OLIA Zwiesel bis Lichtenthal

Um trotzdem auf eine zusätzliche Ladestation in Grafenau verzichten zu können, ergibt sich als Option 2 für die RB 36 ein Ausbau einer Oberleitungsinselanlage

BEMU Bayerwald Seite 113 von 181 Stand: 19.12.2022





aus dem Bahnhof Zwiesel heraus bis zum Haltepunkt Lichtenthal. Gespeist würde diese aus der Oberleitungsinselanlage in Zwiesel, sodass lediglich die Errichtung der Oberleitungsanlage im benannten Abschnitt notwendig wäre. Die Fahrzeit in diesem Abschnitt beträgt circa sechs Minuten je Richtung. Benötigt werden zusätzlich zur Wendezeit in Zwiesel in Summe circa acht Minuten Ladezeit, sodass die Oberleitungserrichtung zwischen Zwiesel und Lichtenthal ausreichend wäre.

Die Oberleitungslänge betrüge circa drei Kilometer, würde jedoch wie Abbildung 51 zeigt, auf langen Abschnitten durch Siedlungs-Gebiet der Stadt Zwiesel führen. Zudem ist bei der Ortsdurchfahrt Zwiesel ein Viadukt über den Regen sowie ein Viadukt über die Regener Straße mit Oberleitung auszurüsten, für die jeweils eine aufwändigere Masterrichtung durch Anklammern am Brückenkörper oder Aufstellung neben der Brücke auf öffentlichem Grund angenommen werden muss. Außerdem entsteht ggf. betrieblicher Änderungsbedarf, da der Haltepunkt Lichtenthal heute als Bedarfshalt betrieben wird.

Wie Abbildung 51 zeigt, ist die Strecke Teil des Naturparks Bayerischer Wald und streift als Grenze des Schutzgebietes zudem ein FFH-Gebiet. Sie führt außerdem durch ein Landschaftsschutzgebiet östlich von Zwiesel. Eine Errichtung der Fahrleitungsanlage ist aus ökologischer Sicht zwar trotzdem möglich, stößt jedoch aufgrund der vorhandenen Schutzgebiete und der hohen Schutzgüter bei der Durchquerung des Ortsgebietes von Zwiesel auf hohe Raumwiederstände.

Die Herausforderungen bzgl. der Regen- & Stadtbrücke in Zwiesel mit ggf. neben den Brücken zu errichtenden Masten sowie die grundsätzlich sehr hohen Raumwiderstände führen zur Empfehlung der Gutachter, die Option 1 (Ladestation in Grafenau) weiterzuverfolgen und die Option 2 (Ausbau Oberleitungsinselanlage Zwiesel – Lichtenthal) zu verwerfen.

7.8 Infrastrukturmaßnahme RB 38

7.8.1 Option 1: Ladestation Gotteszell

Für die Linie RB 38 steht an beiden Linienendpunkten ausreichend Ladezeit zur Verfügung. Es ist deshalb an beiden Orten möglich, die Ladeinfrastruktur anzuordnen. Option 1 ist die Errichtung der Infrastruktur am Bahnhof Gotteszell. Die RB 38 erreicht den Bahnhof auf Gleis 1 am Mittelbahnsteig. Die Strecke der RB 35 verkehrt direkt gegenüber am Mittelbahnsteig am Gleis 2.

Um auch in besonderen Betriebsfällen (kurzfristige Sperrungen, ggf. Bauzustände) für die RB 35 einen Nutzen aus der Ladestation generieren zu können, ist es sinnvoll, beide Bahnsteiggleise mit Oberleitung auszustatten. Das Bahnsteiggleis 1 der RB 38 ist zwar in beiden Richtungen an die Strecke Plattling – Bayerisch Eisenstein über zwei Weichen nördlich und südlich angebunden, eine wechselseitige Nutzung des Gleises 1 für einen ggf. ohnehin komplexeren Bau- oder Störungsfahrplan zur Nachladung der Fahrzeuge ist jedoch betrieblich nicht verlässlich umsetzbar. Ob die beidseitige Befahrung des Gleises 1 durch die RB 35 in der Sicherungstechnik abgebildet ist, konnte zudem nicht geprüft





werden. Die zu errichtende Oberleitungsanlage wäre somit zweimal ca. 150 – 200 m lang, da die Ril 997.0118 der DB einen Aufenthalt des gesamten Zugverbandes unter der Oberleitung für die Nachladung fordert. Auf der Linie RB 35 sind auch mit einem BEMU-Einsatz weiterhin voraussichtlich Doppeltraktionen im Einsatz, sodass es sinnvoll ist, die gesamte Bahnsteiglänge mit Oberleitung zu überspannen. Ausgeführt wird die Fahrleitungsanlage aufgrund der Länge dann praktischerweise als Kettenwerks-OL mit Doppelfahrdrähten (ertüchtigte Oberleitung gemäß Ril 997.0118), grundsätzlich ist es jedoch auch möglich, eine Stromschienenoberleitung zu verwenden. Würde auf die Doppelnutzbarkeit (RB 35 und RB 38) verzichtet, sollte äquivalent zur Ladestation Grafenau nur das Gleis 1 mit ca. 75 m Fahrleitungslänge überspannt werden. Die Unterlassung der Elektrifizierung des Gleises 2 könnte zu Kosteneinsparungen je nach dann realisierter Ausführung von 100 bis 150 Tsd. Euro. führen. Kostenseitig wurde in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung die Elektrifizierung des Gleises jedoch mit angenommen.

Für die Ladung eines einzelnen BEMU der Linie RB 38 reicht eine Ladeleistung von ca. 1,2 MW aus. Ausreichend wäre sogar eine Ladeleistung, die aufgrund der verhältnismäßig langen Standzeit in Gotteszell niedriger sein könnte als die technisch mögliche Leistung von ca. 1,2 MW. Zur Sicherstellung von Verspätungsreserven, wurde jedoch die volle Anschlussleistung für das Laden eines BEMU beim Bayernwerk angefragt. Ein Leistungsbedarf von 1,2 MW kann ohne Verstärkungsmaßnahmen bereitgestellt werden. Hierbei wurde ein n-1sicherer Anschluss unterstellt und durch das Bayernwerk als technisch machbar bestätigt, der auch beim Ausfall/bei der Abschaltung einer Energieversorgungsleitung aus dem Mittelspannungsnetz weiterbetrieben werden kann. Für einen n-1-sichereren Anschluss mit einer Leistung von ca. 2,4 MW wären nach Auskunft des Bayernwerks Verstärkungsmaßnahmen mit Kosten von 160 Tsd. Euro notwendig. Hinzu kämen für eine verfügbare Leistung von 2,4 MW in Gotteszell neben den ca. 160 Tsd. Euro für die Ertüchtigung des Netzes weitere 150 Tsd. Euro sogenannter Baukostenzuschuss Aufgrund der höheren Investitionskosten wird keine parallele Nutzung zur Zwischenladung der RB 35 vorgesehen, während ein Fahrzeug der RB 38 lädt. Betrieblich wäre dies jedoch als Rückfallebene ggf. sinnvoll.

Kostenseitig wurde die Speisung mit einem Standard-Umrichter der DB Energie für Ladestationen mit einer nominellen Leistung von 2,5 MW (elektronisch zu begrenzen auf die max. zulässige Anschlussleistung) unterstellt. Aufgrund der voraussichtlich gegebenen Fähigkeit der Fahrzeuge für den Betrieb in Tschechien, auch mit 25 kV 50 Hz umgehen zu können, bieten sich hier ggf. die in 6.4 dargestellten kostengünstigeren Lösungen zur Versorgung unter Nutzung der 50-Hz-Technik mit 25 kV oder 15 kV Spannung an der Ladestation an. Eine detaillierte Prüfung der Machbarkeit, insbesondere hinsichtlich ggf. auftretender Unsymmetrie, müsste in den frühen Planungsphasen bis Leistungsphase 4 nach HOAI von der DB Energie bzw. vom Bayernwerk durchgeführt und dabei eine Technologieentscheidung getroffen werden.

Wie Abbildung 52 zeigt, ist auch der Bahnhof Gotteszell Teil des Naturparks Bayerischer Wald. Die Errichtung der Ladestation am Bahnhof ist aus ökologischer





Sicht trotzdem möglich, da Naturparks per Definition unter anderem auch eine Attraktivierung für den Tourismus erfahren sollen. Dies ist unter anderem durch eine Stärkung des Schienenverkehrs möglich sowie durch die Vermeidung von lokalen Abgasemissionen und Lärm. Der Schutzstatus des Naturparks ist somit verhältnismäßig "niedrig". Der Bahnhof selbst liegt zudem schon überwiegend außerhalb des Siedlungsgebietes Köckersried, sodass größere Einschränkungen aus Sicht des Anwohnerschutzes nicht zu erwarten sind.

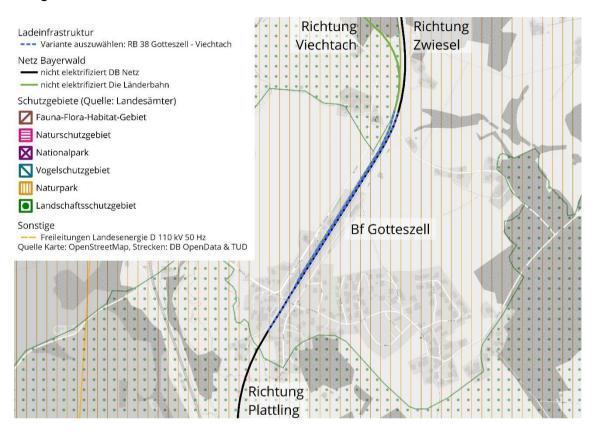


Abbildung 52: Kartendarstellung Ladestation im Bahnhof Gotteszell

Ergänzt werden müssten die Infrastrukturmaßnahmen der RB 38 neben der Ladestation in Gotteszell um eine leistungsfähige Elektrantenversorgung in Viechtach (üblicherweise 1x / 2x 400 V 64 A (entspricht je ca. 43 kW) gemäß CEE pro Fahrzeug, je nach Leistungsbedarf des BEMU) zur Frostfreihaltung und Vortemperierung. Die aktuell vorhandenen Anlagen für Dieseltriebwagen sind meist leistungsschwächer, eine Installation der Elektranten ist jedoch mit standardisierten Komponenten im industriellen Einsatz kostgünstig umsetzbar.

7.8.2 Option 2: Ladestation Viechtach

Neben Gotteszell würde auch Viechtach eine ausreichende Ladung bzw. Ladezeit für BEMU zum Verkehr auf der RB 38 ermöglichen. Viechtach stellt zurzeit außerdem neben Zwiesel den zweiten Instandhaltungsstandort im Waldbahn-Netz dar, der ggf. auch perspektivisch für die Instandhaltung der Bayerwald-Fahrzeuge mit zuständig sein könnte, betrieben durch die Länderbahn. Für diesen Standort ist die mögliche Erprobung instandgesetzter

BEMU Bayerwald Seite 116 von 181 Stand: 19.12.2022





Fahrzeuge auch unter Oberleitung ein positiver Standortfaktor. Der Linienendpunkt verfügt über ein Bahnsteiggleis sowie diverse Werkstatt- und Abstellgleise, wobei sich die notwendige Oberleitung am Bahnsteig 1 inkl. eines Abstellgleises zur Nachtabstellung bzw. Vortemperierung von Fahrzeugen über ca. 200 bis 300 m Länge erstreckt. Nach Aussage der Länderbahn wäre auch eine Anlage mit 160 m Länge ggf. ausreichend. Eine detaillierte Ausarbeitung der zu überspannenden Gleise kann erst im Rahmen einer Analyse des Betriebskonzepts der Werkstatt und der Bahnhofsgleise in einer späteren Planungsstufe erfolgen. Vorgesehen ist die Ausführung der Oberleitung als Typ Re100.

Auch für den Bahnhof Viechtach gilt, dass dieser Teil des Naturparks Bayerischer Wald ist, wie Abbildung 53 zeigt. Eine Errichtung der Ladestation am Bahnhof ist aus ökologischer Sicht äquivalent zu Gotteszell trotzdem möglich.

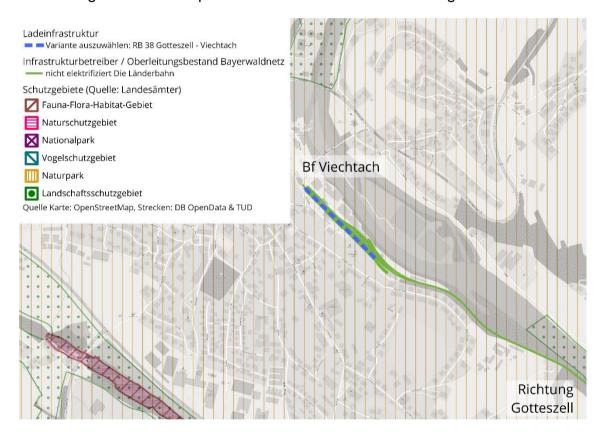


Abbildung 53: Kartendarstellung Ladestation im Bahnhof Viechtach

Als Anschlussleistung sind zur Versorgung eines ladenden Fahrzeugs und 1 – 2 Fahrzeugen aufgerüstet abgestellt im Werkstatt- bzw. Abstellbereich des Bahnhofs 1,4 MVA Anschlussleistung ausreichend. 1,2 MVA sind für eine Nachladung der Fahrzeuge in Viechtach zwingend erforderlich, da dort die Aufenthaltszeit kürzer als in Gotteszell ist und kaum Puffer lässt. Die Ausrüstung einer Ladestation mit 1,4 MVA deckt in jedem Fall auch eine aufgerüstete Abstellung mehrerer Fahrzeuge im Tages- und Nachtbetrieb im Bahnhof Viechtach ab, sodass für den Betrieb der RB 38 in Viechtach im Gegensatz zum Fall der Ladestationserrichtung in Gotteszell keine Elektrantenerrichtung notwendig wird.

BEMU Bayerwald Seite 117 von 181 Stand: 19.12.2022





Auf Anfrage der Länderbahn selbst teilte das Bayernwerk mit, dass bis zu 2,4 MVA ohne Verstärkungsmaßnahmen verfügbar sind. Ob dies auch für einen n-1-sicheren Anschluss gilt konnte nicht mehr vor Abschluss der Studie geklärt werden. Die Länderbahn GmbH teilte den Gutachtern hierzu folgendes mit⁶⁵:

"Die vorhandene 20-kV-Trafostation, von der abgezweigt werden könnte und welche laut Bayernwerk 2,4 MW für zwei Triebwagen (z. B. ein BEMU in Abstellung, 1 BEMU am Bahnsteig) mit einer Ladeleistung von je 1,2 MW "problemlos" bereitstellen könnte, ist etwa 160 m von Gleis 1 entfernt. Es müsste lediglich eine Gleisquerung von ca. 30 m, sowie eine Speiseleitung bis zur Einspeisestelle errichtet werden. [... D]ie Trafostation für die Oberleitungsanlage [kann] unmittelbar neben der vorhandenen 20-kV-Trafostation errichtet werden. [... E]twaige Speiseleitungen [wären] durch die Länderbahn zu erstellen." Weiter führt die Länderbahn GmbH aus: "Sämtliche notwendige Infrastruktur würde ausschließlich auf dem Betriebsgelände der Länderbahn errichtet, dadurch sind keine Probleme mit anderen Grundstückseigentümern zu erwarten. Die Länderbahn als EIU würde die Errichtung einer solchen Anlage unterstützen."

Diese Einschätzung teilen die Gutachter und stimmen dieser zu, wenn auch ein Planungsverfahren für bauliche Anlagen unter Beteiligung anliegender Betroffener trotzdem notwendig wird.

Kostenseitig wurde die Speisung mit einem Standard-Umrichter der DB Energie für Ladestationen mit einer nominellen Leistung von 2,5 MW (elektronisch zu begrenzen auf die max. zulässige Anschlussleistung) unterstellt. Aufgrund der voraussichtlich gegebenen Fähigkeit der Fahrzeuge für den Betrieb in Tschechien auch mit 25 kV 50 Hz umgehen zu können, bieten sich hier ggf. ebenfalls die in 6.4 dargestellten kostengünstigeren Lösungen zur Versorgung unter Nutzung der 50-Hz-Technik mit 25 kV oder 15 kV Spannung an der Ladestation an. Eine detaillierte Prüfung der Machbarkeit, insbesondere hinsichtlich ggf. auftretender Unsymmetrie, müsste in den frühen Planungsphasen bis Leistungsphase 4 nach HOAI vom Bayernwerk durchgeführt und dabei eine Technologieentscheidung getroffen werden. Die DLB stellte den Gutachtern hierzu folgende Einschätzung zur Verfügung⁶⁵:

"Da wir keine Eisenbahn des Bundes sind und dadurch in der Ausführung nicht vollumfänglich, sondern nur angelehnt den Regeln der DB Netz AG unterliegen, sind wir in Planung, Genehmigung, Herstellung und Instandhaltung flexibler (Einzelfalllösung) und haben auch die Möglichkeit, mit bewährten, standardisierten Industrieanlagen zu arbeiten und uns dazu einen Partner aus der Industrie oder dem hiesigen Gewerbe zu suchen. Eine ähnliche Anlage unter diesen Bedingungen betreiben wir bereits in unserem Betriebswerk Schwandorf als Prüfstand mit geringer Leistung. Dadurch ist für uns der Beschaffungsmarkt größer und wir können ggf. eine preisgünstigere Lösung realisieren."

E-Mail durch Abteilung Infrastruktur/Betrieb von der Länderbahn GmbH an die Gutachter,
 April 2022





Diese Einschätzung teilen die Gutachter grundsätzlich. Herausforderung hierbei sind die entsprechenden Abrechnungsmodalitäten, da der Betrieb der Ladestation dann voraussichtlich jenem als Serviceeinrichtung entsprechen würde. Eine entsprechende Abrechnungsmodalität abhängig von Leistungs- und Arbeitspreis sowie den Betriebskosten der Anlage, bspw. über die TEMA-Box des Fahrzeugs, ist bisher nicht umgesetzt und steht noch zur Entwicklung aus. Dies wird jedoch als umsetzbar eingeschätzt, erfordert jedoch zeitlichen Vorlauf und Abstimmungen zur technischen und zur rechtlichen Umsetzung, unter anderem mit der Bundesnetzagentur.

7.8.3 Stellungnahme der Länderbahn zum Ort der Ladestation der RB 38

Die Abteilung Infrastruktur/Betrieb der Länderbahn GmbH teilte den Gutachtern zur Ausführung der Ladestation in Gotteszell als Rückfallebene folgendes mit, wobei er die Ausführung der Ladestation in Viechtach bevorzugt. Folgende Gründe führt er aus Sicht der Länderbahn hierfür an⁶⁶:

"Die Lösung mit Ladeinfrastruktur für Gotteszell für mögliche Ersatzkonzepte (Baustellen) lässt aus unserer Sicht [Anmerkung Gutachter: Länderbahn GmbH] mindestens in bahnbetrieblicher Hinsicht Fragen offen. Es gibt drei mögliche Hauptsperrszenarien (überschlägige Rechnungen auf Basis der Verbrauchswerte aus den Folien [der Gutachter]):

- a) Sperrung Gotteszell Zwiesel (Historisch die häufigste Sperrvariante)
- Die Triebwagen könnten weiterhin zwischen Plattling und Gotteszell pendeln, dies entspräche einer Strecke von insgesamt 66 km. (Hin- und Rück)
- Für die Strecke Plattling Bettmannsäge (46 km) werden 326 kWh bzw. 38% des Akkus verbraucht. Somit würden für eine Hin- und Rückleistung maximal 60 % des Akkus verbraucht. Wir gehen davon aus, dass im Baustellenfall mind. ein Fahrzeug frei wird und wir dieses im Abschnitt Plattling Gotteszell belassen um auch bei Fahrzeugstörungen noch eine Rückfallebene zu haben. Mit diesem Fahrzeug kann in Plattling im Baustellenfall eine überschlagene Wende geplant werden, so dass die Ladezeit während der Wende bei etwa einer Stunde liegen kann.
- Eine Ladeinsel in Gotteszell für Züge auf der Strecke Deggendorf Zwiesel stellt aus unserer Sicht für diesen Baustellenfall keinen Mehrwert dar. Erleichternd kommt hinzu, dass die Bahn Richtung Plattling fast ausschließlich im Gefälle liegt und bereits ab der Donaubrücke voraussichtlich wieder Ladeinfrastruktur vorhanden ist, somit sind die 60% Restkapazität eher ein Maximalwert.
- b) Sperrung Gotteszell Plattling
- Die Triebwagen k\u00f6nnten weiterhin zwischen Zwiesel und Gotteszell pendeln (ca. 50 km), wobei die Ladeinfrastruktur bereits in Bettmanns\u00e4ge beginnt.

 ⁶⁶ E-Mail durch Abteilung Infrastruktur/Betrieb von der Länderbahn GmbH an die Gutachter,
 5. April 2022





Somit müsste der Triebwagen aus Richtung Bay. Eisenstein nur 40 km mit Akku überbrücken. Das wären nach der Verbrauchsrechnung oben ca. 253 kWh, wobei hier der Bergab-Anteil größer ist. Der Triebwagen verlässt die Ladeinsel in Bettmannsäge etwa mit 441 kWh oder 57%. Ein Verbrauch von 253 kWh (Annahme Bergauf) bis er wieder in der Ladeinsel ankommt, würde eine Restkapazität von 188 kWh oder ca. 25% bedeuten, bis er wieder laden kann. In Anbetracht der Seltenheit dieser Variante, und der nicht geprüften betrieblichen Möglichkeiten im Baustellenfall wie z.B. das Bereitstellen eines vollgeladenen Triebwagens in Zwiesel während der Baustelle, wäre der realistische Mehrwert einer Lösung in Gotteszell, die für Züge der Relation Deggendorf - Zwiesel im Regelfall keine Vorteile bietet, zu prüfen.

- Da durch einen notwendigen SEV zwischen Plattling und Gotteszell auch die Fahrzeiten der Züge zwischen Gotteszell und Bayerisch Eisenstein anzupassen sind, um die Reisekette aufrecht zu halten, haben wir hier noch weitere Möglichkeiten, um die Ladekapazität durch z.B. längere Aufenthalte in Zwiesel zu erhöhen, um somit die Triebwagen nicht auf eine Restkapazität von 25% fahren zu müssen. Die Variante einen vollgeladenen Triebwagen in Zwiesel bereit zu stellen, könnte auch im Falle einer Streckensperrung Plattling – Deggendorf aufgegriffen werden, um den Verkehr Zwiesel – Deggendorf und zurück zu realisieren.
- Eine Ladeinsel in Gotteszell wäre auch bei einer verbleibenden Schienenverbindung Deggendorf Zwiesel eine fragliche Verbesserung. Neben der durchgängigen umsteigefreien Reiseverbindung, spielt auch die Reisezeit z.B. um Anschlüsse zu erreichen, eine maßgebliche Rolle. Wenn wir nun im Baustellenfall einen Ladehalt in Gotteszell von mehreren Minuten einplanen würden, wäre das im Sinne des Zeitaufwandes für den Reisenden keine Verbesserung und eine durchgehende schnellere Busverbindung vielleicht die bessere Wahl. Dies bedeutet, dass auch in diesem Fall die Variante "mit vollgeladenen Triebwagen in Zwiesel zu starten" die zu bevorzugende Wahl sein sollte.
- c) Sperrung Gotteszell Ruhmannsfelden/Teisnach (RB38)
- Sollten wir im Abschnitt Gotteszell Ruhmannsfelden/Teisnach Bauarbeiten durchführen oder DB Netz im Bereich der Anschlussweiche in Gotteszell und die Ladeinsel in Gotteszell errichtet worden sein, wäre ein SEV von Viechtach bis Gotteszell unvermeidlich, da die Triebwagen die Ladeinsel nicht mehr erreichen würden.
- Alternativ wäre eine Sperrung Teisnach Viechtach ggf. mit einer Durchbindung aus Plattling lösbar. Da wir nach a) maximal 60% der Akkukapazität in diesem Abschnitt verbrauchen würden, wäre eine Weiterführung von Plattling über Gotteszell bis Teisnach aus unserer Sicht noch im Rahmen der Leistungsfähigkeit der Fahrzeuge.
- Generell sollte auch noch erwähnt werden, dass Bauarbeiten in der Regel in den Sommermonaten von März bis Oktober geplant werden. Dies trifft insbesondere auf das Waldbahn-Netz zu, welches regelmäßig mit nicht unerheblichen Schneemengen zu rechnen hat, so dass Bauarbeiten im Winter faktisch ausgeschlossen werden können. Dadurch können grundsätzlich höhere Akku-Kapazitäten in den Sommermonaten und ein geringerer





Verbrauch für die Heizung angenommen werden, so dass die Sicherheitspuffer bei den Akku-Reserven im Baustellenfall eher an sommerliche Temperaturen und nicht auf starke Minusgrade ausgelegt werden müssen."

Die Gutachter bewerten die Hinweise der Länderbahn GmbH als nachvollziehbar und zutreffend und sehen deshalb ebenso eine Tendenz für die Errichtung der Ladestation für die RB 38 in Viechtach. Eine abschließende Bewertung hierzu kann jedoch nur durch den Aufgabenträger BEG erfolgen. Dementsprechend wird die Wahl über den Standort der Ladestation für die RB 38 durch die BEG zusammen mit dem Bayerischen Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr (StMB) im Rahmen der Diskussionen um die Weiterverfolgung des Projekts und im Zusammenhang mit einer endgültigen Reaktivierung der Strecke behandelt.

7.9 Infrastrukturoption: Dezentrale Ladestation Bayerisch Eisenstein

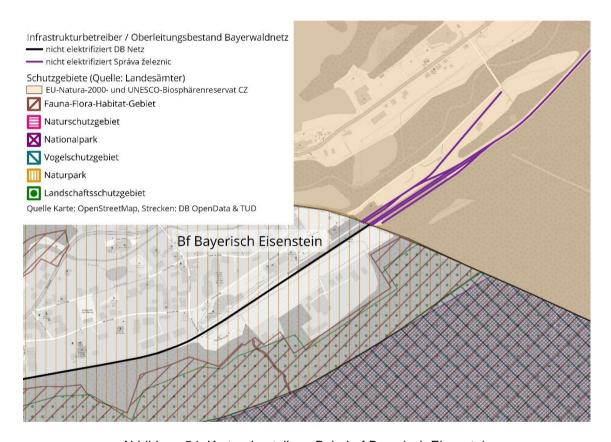


Abbildung 54: Kartendarstellung Bahnhof Bayerisch Eisenstein

Im Rahmen der Untersuchungen der verschiedenen Infrastrukturvarianten, vorgegeben durch den Auftraggeber, war auch die Untersuchung einer Ladestation im Bahnhofsbereich Bayerisch Eisenstein vorzunehmen. Aufgrund verhältnismäßig kurzer Haltezeiten auf der Fahrt nach Klatovy wurde dort ein Leistungsbedarf von 1,2 MVA (entspricht 80 A bei 15 kV) unterstellt. Bayerisch Eisenstein ist aufgrund seiner Lage im höchsten Punkt des deutschen Streckenabschnitts für eine Ladestation grundsätzlich verhältnismäßig ungünstig, da ab dort kaum Energie bis zur Rückkehr an die Ladestation/OLIA in Zwiesel

BEMU Bayerwald Seite 121 von 181 Stand: 19.12.2022





notwendig ist. Als Wendebahnhof bei Zügen, die nicht nach Klatovy durchgebunden sind, steht dort allerdings gleichzeitig verhältnismäßig viel Zeit zur Verfügung. Ohne einen elektrifizierten Abschnitt zwischen Plattling und Bayerisch Eisenstein ist das Erreichen des Bahnhofs Bayerisch Eisenstein jedoch nicht möglich. Für eine Durchbindung nach Klatovy steht fahrplanmäßig zu wenig Aufenthaltszeit in Bayerisch Eisenstein zur Verfügung, um dort ausreichend Energie für die Überquerung des Brechpunktes in Špičák nachzuladen. Hinzu kommt, dass die angeforderte Ladeleistung im vorgelagerten Landesnetz Verstärkungsmaßnahmen in der Verkabelung nach Schätzung des Bayernwerks von 700.000 Euro erfordert, auch wenn aufgrund der geringen Leistung kein zusätzlicher direkter Anschluss an den nächst gelegenen Mittelspannungsknoten notwendig wird. Eine Umsetzung der Ladestation in Bayerisch Eisenstein wurde deshalb während der Untersuchung verworfen.

BEMU Bayerwald Seite 122 von 181 Stand: 19.12.2022





7.10 Fahrende Transition oberleitungsgebundener/-loser Betrieb

7.10.1 Einschätzung der Gutachter

Zur weitestmöglichen Nutzung von bestehenden Oberleitungsanlagen oder Ladeinseln mit nur teuer zu elektrifizierenden Bauwerken (Tunnel, Brücken) bzw. einem Oberleitungsende auf der freien Strecke ist es notwendig, dass ein Wechsel zwischen oberleitungsgebundenem und -losem Betrieb auch außerhalb von Halten in Fahrt erfolgen kann. Die Freigabe bzw. Versagung eines solchen Wechsels ist Teil der Regularien des Netzbetreibers DB Netz im Bereich der Ril 408 Fahrdienstvorschrift. Aktuell ist dieser Wechsel durch eine Ausnahmegenehmigung zur Ril 408 – Ifd. Nr. 238 – aus dem Jahr 2020 teilweise untersagt. Aufgrund dessen, dass für die Betriebsaufnahmen in Schleswig-Holstein (2023) und im Pfalznetz (2024) ein fahrender Wechsel zwingend notwendig wird, gehen die Gutachter bis zu den Betriebsaufnahmen im Bayerwaldnetz sicher von einer Anpassung der Regelung aus. Zudem gibt es bereits anwendbare Signalisierungen und Regelungen in den Regelwerken. Darüber hinaus gibt es bereits ein Schreiben der DB Netz an die NAH.SH (Aufgabenträger Schleswig-Holstein), das die Nutzung der vorhandenen Regelungen der Ril 408 bereits in Aussicht stellt.

7.10.2 Anpassung DB-Regelwerk zum 11.12.2022 – Stand Ende 11/2022

Die im Folgenden benannte **Richtlinie 408.0493** (für Fahrdienstleiter) ist unter folgendem Link ab pdf-Seite 37 verfügbar: https://fahrweg.dbnetze.com/resource/blob/9362776/1d1ec08b0e6123fefe5b8945d41bc845/Ausnahme-239-Ril-408-data.pdf, sie ist seit 22.11.2022 veröffentlicht und ab 11.12.2022 gültig. Die Erläuterungen zur Umsetzung der Richtlinie sind ab pdf-Seite 2 enthalten. Die zudem im Folgenden benannte **Richtlinie 408.2493** (für Triebfahrzeugführer) ist unter gleichem Link ab pdf-Seite 81 verfügbar. Die Erläuterungen dazu pdf-Seite 6.

Die DB Netz AG sieht in ihrer zum 11.12.2022 neu gültigen Richtlinie 408.0493 (für Fahrdienstleiter) bzw. 408.2493 (für Triebfahrzeugführer) vor, dass der Traktionsartwechsel nur nach der Ausfahrt aus Zugmeldestellen (also Bahnhöfen, Abzweig- und Überleitstellen etc.) bzw. vor der Einfahrt in Zugmeldestellen, nicht jedoch in Zugmeldestellen (und somit auch nicht in Haltepunkten) durchgeführt werden darf. Dazu muss in der Fahrplananordnung (Fplo) an der jeweiligen Zugmeldestelle "Traktionsartwechsel Mehrkraft-Tfz" eingetragen sein. Hieraus ergeben sich Herausforderungen für den Traktionsartwechsel auf der freien Strecke bzw. an Haltepunkten, da diese normalerweise keine Zugmeldestellen darstellen.

Zugmeldestellen sind folgendermaßen gemäß Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) definiert: "Die Folge der Züge wird durch Zugfolgestellen, die Reihenfolge durch Zugmeldestellen, die stets auch Zugfolgestellen sind, geregelt. Bahnhöfe, Abzweigstellen und Überleitstellen sind stets Zugmeldestellen." Haltepunkte sind hierbei zunächst nicht benannt. Ein Haltepunkt kann zugleich jedoch als Blockstelle eingerichtet sein und somit Zugfolgestelle werden.





Gemäß EBO sind Haltepunkte "Bahnanlagen ohne Weichen, wo Züge planmäßig halten, beginnen oder enden dürfen." Insbesondere an Orten, an denen Züge beginnen oder enden dürfen, erfüllen diese damit auch die Funktion einer Zugmeldestelle. Beispiel hierfür im Bayerwaldnetz sind die Halte-/Endpunkte Grafenau und Bodenmais. Jedoch besteht die Herausforderung, dass weder Bettmannsäge noch Ludwigsthal aktuell eine Zugmeldestelle darstellen. Die oben benannte Regelung in den Ril erfordert jedoch für den Traktionsartwechsel eindeutig Zugmeldestellen. Bettmannsäge und Ludwigsthal müssten für den Betrieb mit BEMU an der OLIA Zwiesel demzufolge mindestens als Zugmeldestellen eingestuft werden, da ansonsten die OLIA Zwiesel für die RB 35 ihren Zweck verfehlen würde.

Soll ab einem Bahnhof zudem mit gehobenem Stromabnehmer weitergefahren werden, darf gemäß benannter Ril das Heben des Stromabnehmers erst nach der Ausfahrt und dem passieren des gesamten Weichenbereichs auf der freien Strecke (nach dem Ende der Zugmeldestelle) stattfinden. Es muss in der Fplo dazu "Traktionsartwechsel Mehrkraft-Tfz" eingetragen sein. Wenn man in einem Bahnhof von oberleitungsgebundenem Betrieb auf Batteriebetrieb umstellen will muss dem entsprechend vor dem Bahnhof bereits der Stromabnehmer gesenkt werden. Soll in einem Bahnhof geladen werden, so muss in der Fplo "Akku eingetragen sein. Dazu darf aber erst nach Stillstand Stromabnehmer gehoben werden, der dann auch vor der Abfahrt wieder gesenkt werden muss. Das Problem hieran ist, dass eine Kombination aus beiden Regelungen ("Traktionsartwechsel Mehrkraft-Tfz" und "Akku laden") sich somit ausschließt. Am Beispiel eines voll elektrifizieren Bahnhofs Deggendorf Hbf ergäbe sich somit die Situation, dass im Bahnhof die Standzeit nicht zur Ladung genutzt werden kann und erst nach Ausfahrt aus dem Bahnhof Deggendorf der Stromabnehmer gehoben werden dürfte, sofern es sich um eine BEMU-Fahrt Richtung Plattling handelt. Wäre der Bahnhof gar nicht elektrifiziert, wenn die Fahrleitung vor der Donaubrücke aus Plattling kommend enden würde, wäre ein Nutzung der Fahrleitung auf dem elektrifizierten Abschnitt Plattling Donaubrücke Deggendorf somit gar nicht möglich. Es entsteht durch die Regelung somit ein technisch und betrieblich nicht sinnvoller und nicht akzeptabler bzw. vermittelbarer Zustand.

Es ergibt sich somit aus Sicht der Gutachter die Anforderung an die DB Netz AG, dass:

- → Eine angepasste Regelung zu den zulässigen Orten des Traktionsartwechsels für Regel- und Takttrassen des SPNV gefunden wird, sodass auch außerhalb von Zugmeldestellen an definierten Punkten eines SPNV-Netzes ein Traktionsartwechsel im Stillstand und/oder in Fahrt durchgeführt werden darf. Dies schließt den Traktionsartwechsel auch innerhalb von Zugmeldestellen ein, sodass auch bei Einfahrt/Stillstand in einer Zugmeldestelle die Ladezeit bereits genutzt werden kann.
- → Im Rahmen dieser Anpassung wäre die Kommunikationsverpflichtung außerdem so zu verändern, dass nur bei Besonderheiten, die zu Abweichungen vom Regelfahrplan führen (Gleis- bzw. Bahnsteig-





abgeschaltete Abschnitte der Oberleitungsanlagen. wechsel. Bauzuständen etc.) eine Kommunikation Triebfahrzeugführer – Fahrdienstleiter bzw. umgekehrt erforderlich wird. Ansonsten muss davon ausgegangen werden können, dass der Traktionsartwechsel an den vorgesehenen Punkten eines SPNV-Netzes gemäß eines vorab zwischen Aufgabenträger. Betreiber und Infrastrukturunternehmen abgestimmten fahrplanmäßigen Nachladekonzeptes werden kann. Hierzu kann auch vorgegeben sein, dass Triebfahrzeugführer entsprechender Fahrten immer über eine entsprechende Streckenkenntnis verfügen müssen.

- → Sollte eine Abweichung von der aktuellen Ril-Forderung zur Zulassung des Traktionsartwechsels nur in räumlicher Nähe zu Zugmeldestellen (davor Stromabnehmer senken, danach erst heben) bei der DB Netz AG nicht durchsetzungsfähig sein, so muss mindestens die Definition der heutigen Haltepunkte Bettmannsäge und Ludwigsthal als Zugmeldestelle umgesetzt werden, da ansonsten aufgrund der Regelungen in den benannten Ril, das entworfene und technisch gut umsetzbare Infrastrukturkonzept für die Linie RB 35 nicht mehr funktioniert, da dann weder Bettmannsäge noch Ludwigsthal als Zugmeldestelle einen Traktionsartwechsel zulassen würden.
- → Geprüft werden muss in diesem Zusammenhang des Weiteren, ob die durch die so verkürzte Nutzung der OLIA Zwiesel (wenn erst nach dem Verlassen/ schon vor dem Erreichen der Haltepunkte der Traktionsartwechsel durchgeführt werden dürfte) ggf. die notwendigen Ladezeiten im Bayerwaldnetz für die RB 35 unterschritten würden.
- → Des Weiteren würde dann zwingend die vollständige Elektrifizierung des Bahnhofs Deggendorf für eine Durchbindung nach Klatovy notwendig, da die freie Strecke vor/nach der Donaubrücke in Deggendorf sicher nicht als Zugmeldestelle definiert werden kann.
- → Hoffnung für eine technisch und betrieblich umsetzbare Einigung macht, dass die aktuell getroffene Regelung der DB Netz dazu führen würden, dass weder der Betrieb im Pfalznetz (Nutzung einer auf freier Strecke endenden/beginnenden Oberleitungsinselanlage vor dem Fehrbacher Tunnel zwischen Pirmasens Nord und Pirmasens Hbf) noch geplante Betriebsszenarien in Schleswig-Holstein (Nutzung von Beschleunigungsabschnitten) zulässig wären und umsetzbar wären.
- → In den Richtlinien wird zudem noch benannt, dass die Regelung aktuell so getroffen wurde (Kommunikation der Traktionsartwechsel und Akkuladung über die Fahrplananordnung Fplo) "weil eine Aktualisierung der IT-Systeme der Fahrplanerstellung erst zu einem späteren Zeitpunkt abgeschlossen werden kann", sodass ggf. eine erneute und angepasste Änderung der Regelungen zu erwarten ist.





8 Kostenermittlung und -vergleich

8.1 Methodik

8.1.1 Zielsetzung der LCC-Analyse

Die Investitionsrechnung dient generell der Vorbereitung von Investitionsentscheidungen. Die nachstehende Untersuchung hat das Ziel der Feststellung einer relativen Vorteilhaftigkeit sich ausschließender Investitionsvorhaben (hier: DMU vs. BEMU oder BEMU Variante 1 vs. BEMU Variante 2) unter bestimmten Voraussetzungen. Voraussetzung der relativen ist die absolute Vorteilhaftigkeit.⁶⁷ Die absolute Vorteilhaftigkeit im Sinne dieser Studie bedeutet, dass jede Entscheidungsvariante für alternative Antriebssysteme durch die politische Entscheidung hin zu emissionsarmen Antrieben grundsätzlich vorteilhaft ist.

Zur Bewertung der Vorteilhaftigkeit kommt das Modell der dynamischen Investitionsrechnung zum Einsatz. Aufgrund der Berücksichtigung des Zinseszinses und der Teuerungsrate bei zeitlich unterschiedlichem Anfall von Ein- bzw. Auszahlungen in einer langen Betrachtungsdauer können aussagekräftige Ergebnisse zur Wirtschaftlichkeit einer Investition vorgenommen werden. Die Kapitalwertmethode stellt entsprechend empirischer Studien ein hierbei häufig verwendetes Berechnungsverfahren innerhalb der Investitionsrechnung dar. ^{67 68}

Die sich ausschließenden Investitionsvorhaben im Sinne dieser Untersuchung bestehen aus den verschiedenen Technologie- oder Infrastrukturoptionen, beschrieben im Marktüberblick. Für diese wird eine relative Vorteilhaftigkeit ermittelt, indem für jede Technologie ein Kapitalwert für den gesamten Lebenszyklus bestimmt wird. Dieser umfasst alle Kosten, die im Lebenszyklus anfallen, sodass der geringste Kapitalwert in dieser Untersuchung der relativ vorteilhafteste ist.

Das auch **Kapitalwertmethode** genannte Verfahren wird als Grundprinzip für alle Methoden der Investitionsbeurteilung vorgestellt und besitzt gemäß ^{67 68 69} u. a. folgende Charakteristika:

- Bezug der Zahlungen auf den Beginn (Jahr 0) des Betrachtungszeitraumes (sogenannter Barwert bzw. Gegenwartswert)
 - durch Abzinsung (Diskontierung), wenn die Zahlung zeitlich nach dem Beginn des Betrachtungszeitraumes erfolgt,

⁶⁷ Blohm, H., Lüder, K., Schaefer, C.: Investition. Schwachstellenanalyse des Investitionsbereichs und Investitionsrechnung, Verlag Franz Vahlen, München 2012.

⁶⁸ Grae, J., Däumler, K.-D.: Grundlagen der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung, Neue Wirtschafts-Briefe GmbH&Co.KG, Ettenheim 2007.

⁶⁹ Götze, U.: Investitionsrechnung. Modell und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben, Springer Verlag, Berlin 2008.





- durch Aufzinsung (Askontierung), wenn die Zahlung zeitlich vor dem Beginn des Betrachtungszeitraumes erfolgt.
- Anfall der laufenden Ein- und Auszahlungen zum Ende der jeweiligen Periode (z. B. eines Jahres)
- wahlweise: Anfall der Anschaffungsauszahlung zeitlich vor dem Beginn des Betrachtungszeitraumes ODER Anfall der Anschaffungsauszahlung zu Beginn der ersten Periode (Jahr 0)
- Einheitlicher Kalkulationszins i
- Existenz des sogenannten vollkommenen Kapitalmarktes
- "die für Investitionszwecke zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel sind nicht beschränkt – zum (einheitlichen und vom einzelnen Investor nicht beeinflussbaren) Kapitalmarktzinssatz können jederzeit Mittel aufgenommen werden, und – es können unbeschränkt Finanzinvestitionen zum […] Kapitalmarktzinssatz getätigt werden." 70
- Berücksichtigung der Differenzinvestition, wenn verschiedene sich ausschließende Investitionsalternativen unterschiedliche Anschaffungsausgaben sowie Lebensdauern aufweisen
 - o Kriterium eines relativen wirtschaftlichen Vorteils,
 - Voraussetzung ist, dass die unterschiedlichen Investitionsalternativen einen absoluten wirtschaftlichen Vorteil nach Ende der Lebenszyklusdauer aufweisen, d. h. es wird angesetzt, dass es bei jeder untersuchten Technologie per se (ggf. volkswirtschaftlich) Sinn ergibt, die Investition zu tätigen,
 - o Einheitlicher Betrachtungszeitraum,
 - Berücksichtigung von Nachfolgeinvestitionen bei unterschiedlicher Lebensdauer,
 - Berücksichtigung von Liquidationserlösen (Restwert) der noch funktionsfähigen Anlagen.

8.1.2 Lebenszyklusphasen und Berechnungsmethode

Grundsätzlich setzt sich der Lebenszyklus eines Produkts aus sechs Hauptphasen zusammen⁷¹:

- a) Konzept und Definition
- b) Entwurf und Entwicklung
- c) Herstellung
- d) Einbau
- e) Betrieb und Instandhaltung
- f) Entsorgung.

In Bezug auf die schwierig zu ermittelten Teilkosten der Hauptphasen a) bis d) werden diese zu **Anschaffungskosten** und die Hauptphase e) zu **Besitzkosten**

BEMU Bayerwald Seite 127 von 181 Stand: 19.12.2022

⁷⁰ Blohm, H., Lüder, K., Schaefer, C.: Investition. Schwachstellenanalyse des Investitionsbereichs und Investitionsrechnung, Verlag Franz Vahlen, München 2012.

⁷¹ DIN EN 60300-3-3: Zuverlässigkeitsmanagement-Teil 3-3: Anwendungsleitfaden-Lebenszykluskosten, 2014.





zusammengefasst. Da es nicht möglich ist, plausible Vorhersagen zu treffen, welche Kosten oder Gewinne bei neuartigen (bisher teils nur als Konzept existierenden) Antriebskonzepten für die Entsorgung bzw. Verwertung/Weiternutzung anfallen würden, werden diese Kostenteile in der vorliegenden Untersuchung nicht betrachtet.

Übergeordnet entfallen alle Zahlungen und Faktoren, die für jede Investitionsalternative gleich oder nahezu gleich sind bzw. "keine einfach anwendbaren Prüfkriterien zur eindeutigen Feststellung der Notwendigkeit [...] zur Verfügung stehen".⁷² Somit entfallen unter anderem Betrachtungen von:

- Versicherungszahlungen,
- Umsatzsteuerzahlungen,
- Einnahmen durch den Betrieb.
- Trassenkosten,
- Zugpersonalkosten (außer für Tankfahrten),
- Abstellkosten.
- Reinigungskosten.

Zusammenfassend betrachtet die Untersuchung den zeitlichen Verlauf der anfallenden Beschaffungs- und Besitzkosten unterteilt in Fahrzeug- und Infrastrukturkosten unter Berücksichtigung der Restwerte.

8.1.3 Kapitalwertmethode

Wie in Abschnitt 8.1.1 erwähnt bildet die Kapitalwertmethode den Kern der hier gewählten LCC-Analyse. Der Kapitalwert ist der Geldvermögenszuwachs "den das Investitionsobjekt zu Beginn des Planungszeitraumes unter Berücksichtigung von Zinsen erbringt".⁷³

Die Berechnung erfolgt über die Aufsummierung der Anschaffungszahlungen, dem Barwert der Rückflüsse und dem Barwert des Restwertes (vgl. Gl. (8-1) und Gl. (8-2)).

⁷² Blohm, H., Lüder, K., Schaefer, C.: Investition. Schwachstellenanalyse des Investitionsbereichs und Investitionsrechnung, Verlag Franz Vahlen, München 2012.

⁷³ DIN EN 60300-3-3: Zuverlässigkeitsmanagement-Teil 3-3: Anwendungsleitfaden-Lebenszykluskosten, 2014.





$$KW = -AZ_0 + BW_{RF} + BW_{RW}$$
 Gl. (8-1)

$$KW = -AZ_0 + \sum_{t=1}^{LD} \left(\frac{EZ_t - AZ_t}{(1 + i/100)^t} \right) + \frac{RW_{LD}}{(1 + i/100)^{LD}}$$
 Gl. (8-2)

$$i = \frac{100 \cdot (i_n - r)}{r + 100}$$
 Gl. (8-3)

Tabelle 20: Parameter für die Kapitalwertberechnung

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit
KW	Kapitalwert	€
AZ_0	Anschaffungsauszahlung zum Zeitpunkt $t=0Jahre$	€
EZ_t	Einzahlung zum Zeitpunkt t	€
AZ_t	Auszahlung/Kosten zum Zeitpunkt t	€
i	Kalkulationszinssatz	%
i_n	Nominalzins	%
t	Zeitpunkt	а
RW_{LD}	Restwert am Betrachtungsdauerende	€
r	Preissteigerungsrate	%
LD	Betrachtungsdauerende	а
BW_{RF}	Barwert der Rückflüsse	€
BW_{RW}	Barwert des Restwertes	€

Die Anschaffungszahlung ist eine zum Bezugszeitpunkt fällige Einmalzahlung und ist als Kostenposition positiv zu betrachten. Der Barwert des Restwertes berechnet sich zum Betrachtungsdauerende. Die Barwerte der Rückflüsse errechnen sich aus der Differenz von Ein- (Erlöse) und Auszahlungen (Kosten). Aufgrund der ausschließlichen Betrachtungen der Auszahlungen bildet der Barwert der Rückflüsse lediglich die abgezinsten Kosten ab. Hinsichtlich dieser Methode und aus Darstellungsgründen werden die Anschaffungs- und Auszahlungen positiv abgetragen. Darüber hinaus wird der Kapitalwert zum Betrachtungszeitraumende um den Barwert des Restwertes vermindert. Die Abbildung 55 zeigt schematisch die Berechnungsmethode des Kapitalwertes.

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit wird das Vorteilhaftigkeitskriterium der LCC-Analyse nach der Kapitalwertmethode herangezogen, welches lautet:

BEMU Bayerwald Seite 129 von 181 Stand: 19.12.2022





Stand: 19.12.2022

Im Falle einer Differenzinvestition ist diejenige Investitionsalternative mit dem höheren Kapitalwert vorteilhafter gegenüber der anderen Investitionsalternative (relative Vorteilhaftigkeit). Aufgrund der hier positiv gewählten Darstellung der eigentlich negativen Auszahlungen ist in der in Abbildung 55 dargestellten Betrachtung das System mit dem niedrigeren Kapitalwert das relativ Vorteilhaftere.

Demnach setzt sich der Kapitalwert hauptsächlich aus den Auszahlungen über die Lebenszyklusdauer zusammen. Infolge der Differenzinvestitionsrechnung kann ausschließlich die relative Vorteilshaftigkeit eines Produktes gegenüber dem zu vergleichenden Produkt ermittelt werden (vgl. ⁷⁴).

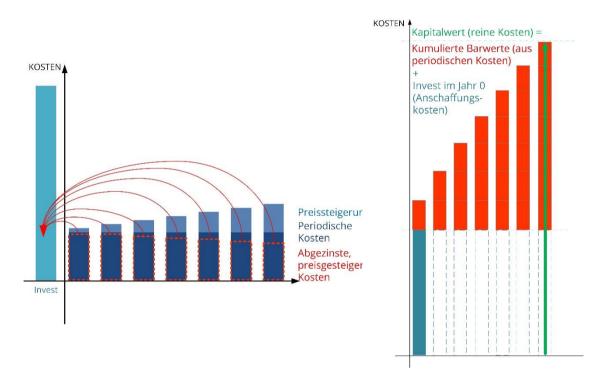


Abbildung 55: Schematische Darstellung der Kapitalwertberechnung in zwei Schritten⁷⁵

8.1.4 Restwert eines Investitionsgutes

Aufgrund einer möglichen Benachteiligung investitionsintensiver Antriebssysteme bei kurzen Betrachtungszeiträumen oder verschiedener Lebensdauern ist es wichtig, den Restwert einer Investition dem Berechnungssystem zuzuordnen. Der Restwert setzt sich zum Betrachtungszeitende ausfolgenden Kostenpositionen zusammen:

Fahrzeugrestwert,

BEMU Bayerwald Seite 130 von 181

⁷⁴ Blohm, H., Lüder, K., Schaefer, C.: Investition. Schwachstellenanalyse des Investitionsbereichs und Investitionsrechnung, Verlag Franz Vahlen, München 2012.

⁷⁵ Grafik: Eigene Darstellung TU Dresden





- Infrastrukturrestwerte (Tankstellen, Oberleitung, Ladestationen),
- ggf. Restwerte von Investitionen in Fahrzeuge (Redesign, Hauptuntersuchung, Invest in Hochtechnologiekomponenten Brennstoffzelle, Batterie, PowerPack).

Der Restwert bildet den betriebswirtschaftlichen und nicht den erzielbaren Wert des Investitionsgutes ab. Davon ausgehend ist er abhängig vom Abschreibungszeitraum der jeweiligen Kostenposition. Der betriebswirtschaftliche Wertverfall wird als eine linear fallende Gerade angenommen, beginnend beim Investitionszeitpunkte in Höhe des Investitionsvolumens und endend beim Erreichen der Abschreibungsdauer. Dem entgegen steht die reale Lebensdauer einer Investition, beispielsweise die Schienenfahrzeuglebensdauer von bis zu 35/40 Jahren. Zwischen der Reinvestition der jeweiligen Kostenposition (erst nach Erreichen der Lebensdauer) und dem Erreichen des Abschreibungszeitraumes beträgt der Restwert der Investition buchhalterisch null.

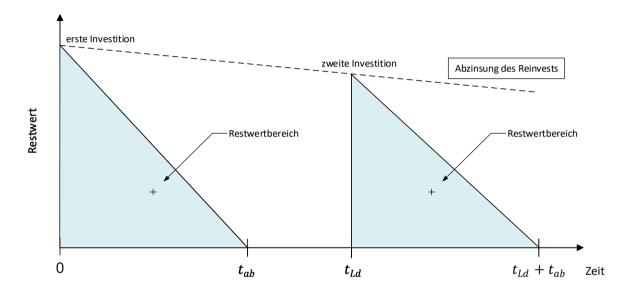


Abbildung 56: schematische Betrachtung des Restwertverlaufes⁷⁶

Abbildung 56 zeigt den beschriebenen Verlauf der Restwerte für aufeinanderfolgende Investitionen, Tabelle 21 die entsprechend variablen Parameter. Die farbig gekennzeichneten Flächen markieren den Bereich noch vorhandener Restwerte. Die Reinvestition unterliegt der Abzinsung gemäß der Gl. (8-2).

Tabelle 21: Parameter der Restwertbetrachtung

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit
t_{ab}	Abschreibungszeitraum	а
t_{Ld}	Lebensdauer	a

⁷⁶ Grafik: Eigene Darstellung Franz Meinelt, TU Dresden

BEMU Bayerwald Seite 131 von 181 Stand: 19.12.2022





Die Abschreibungszeiträume für Infrastrukturmaßnahmen werden aufgrund der Vergleichbarkeit mit 20 Jahren angenommen, sodass diese zum Ende des Betrachtungszeitraums von 30 Jahren keine Restwerte mehr aufweisen. Für die eigentlichen Fahrleitungsanlagen wären darüber hinaus Abschreibungsdauern von bis zu 50 Jahren denkbar, da diese häufig 70 Jahre und länger in Betrieb sind. Die Betrachtung von Restwerten wurde in der vorliegenden Untersuchung zwar durchgeführt, in den Gesamtergebnisangaben jedoch nicht berücksichtigt, da bereits ohne Restwertbetrachtung ausreichend klare Aussagen zur wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit einzelner Technologien abgeleitet werden konnten. Die Fahrzeuge aller Technologien werden auf 20 Jahre abgeschrieben.

8.2 Fahrzeugbezogene Kosten

Für den Wirtschaftlichkeitsvergleich werden jeweils annähernd gleich lange DMU und BEMU gegenübergestellt. Aufgrund dessen, dass eine Passage der gesamten Linie RB 35 mit den Speichern auf "kurzen" BEMU nicht möglich ist, ohne auf tschechischer Seite die OLIA Nyrsko zu errichten, da deren Energieinhalt zur Fahrt bis Špičák nicht ausreicht, werden auch längere Fahrzeuge für das Gesamtnetz betrachtet, als eigentlich benötigt werden. Diese werden für das gesamte Bayerwaldnetz in einheitlicher Länge angenommen.

Dieseltriebzug (DMU) Oberleitungs-/Batterie-Hybrid (BEMU) Stadler Flirt Stadler Flirt Alstom Alstom Referenzfahrzeug Lint 41 Lint 54 Akku 2-Teiler Akku 3-Teiler Länge Fahrzeug [m] 42.17 54,27 46,56 58.6 Sitzplätze 125 150 120 154 - 172 Fahrzeugmasse leer [t] 78 100 90 116 850 Speichergröße [kWh] 550 Anzahl PowerPacks pro Fahrzeug (je 390 kW) 2 3 *Fahrzeugbeschaffung [Mio. €] 4,43 5.09 5.58 6,16 *Tausch der Batterie [Tsd. €] (1.200 €/kWh LTO) 660 (LTO) 1.020 (LTO) 164,8 247,2 *Revision der Power-Packs/ BSZ (82,4/PP) [Tsd. €] 287 *regelmäßige HU (nach 8 Jahren) [Tsd. €] 256 307 255 *Betriebsnahe Instandhaltung je Fahrzeug [€/km] 0,669 0,803 0,520 0,587 35 / 20 35 / 20 Lebensdauer [a] / Abschreibung [a] 30 / 20 30 / 20 Lebensdauer Energiespeicher (je nach Linie) [a] 12 - 1612 - 16Lebensdauer PowerPack [Fahrzeug-km] 480.000 480.000

Tabelle 22: angesetzte Kostenkennwerte Fahrzeuge

Tabelle 22 führt die Beschaffungs- und Instandhaltungskosten auf. Preisbasis ist das Jahr 2022. Die angegebenen Werte entstammen der Datenbasis der Professur für Elektrische Bahnen, die u. a. durch Auswertungen von Fahrzeugbeschaffungen der vergangenen Jahre im gesamten Bundesgebiet und Kontakte zu Herstellern gewonnen wurden. Potentielle Förderungen einzelner Fahrzeuge wurden nicht berücksichtigt.

Die Höhe der Beschaffungskosten sowie Anteile der Kosten für die Instandhaltung richten sich maßgeblich nach der Anzahl der zu beschaffenden Fahrzeuge,





da hier Skaleneffekte erzielt werden. Als Basis der Untersuchung wurde deshalb für das Netz jeweils eine einheitliche Fahrzeuggröße angesetzt, auch aufgrund von Rücksprachen mit dem Auftraggeber zu dieser Annahme. Eine einheitliche Fahrzeugflotte sichert eine erhöhte Wirtschaftlichkeit und die Flexibilität des Betriebs unabhängig von der Linie. Die oben angegebenen Kosten referenzieren deshalb auf das Gesamtvolumen der im Netz benötigten Fahrzeuge.

Laufende Instandhaltungskosten

Die laufenden Instandhaltungskosten bilden die betriebsnahe Instandhaltung (Inspektion, Wartung, planmäßige und außerplanmäßige Instandsetzung, ggf. kleinere Verbesserungen außerhalb von Redesign-Programmen) ab. Die angegebenen Werte wurden u. a. durch Auswertungen von Instandhaltungsaufwendungen von Betreibern gewonnen. Für die neue Hybridtechnologie Oberleitungs-/Batterie-Hybridfahrzeuge (BEMU) wurden Prognosen auf Basis bestehender Fahrzeugkonzepte, erweitert um die zusätzlichen Komponenten, erstellt.

Revisionskosten für Hauptuntersuchung (HU)

Für die Revisionskosten, die alle acht Jahre im Zuge der Hauptuntersuchung anfallen, liegen Kostensätze von Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) vor. Aufgrund der unzureichenden Datenlage und Felderfahrung für Hybridsysteme werden Vereinfachungen getroffen. Es wird davon ausgegangen, dass die Oberleitungs-/Batterie-Hybridfahrzeuge ca. 5 % höhere Revisionskosten verursachen als Elektrotriebzüge, da zwar die zusätzlichen Aufwendungen für den Batterieteil in den zyklischen Tauschkosten der Batterien abgebildet sind, jedoch zusätzliche Stromrichter, Kühler etc. vorhanden sind.

Besonderheiten PowerPacks

Erfahrungen von EVU zeigen, dass die Revisionen abhängig von der Fahrzeug-Laufleistung nach ca. 480.000 km erfolgen müssen.

Besonderheiten Batterien/Akkumulatoren

Lithium-Ionen-Zellen aller Technologien altern je nach Betriebsverfahren sowie betrieblichen Anforderungen und Belastungen schneller oder langsamer. Vier Größen sind dafür maßgeblich:

- Anzahl der Lade- und Entladezyklen (enthalten darin sind Voll- und Teilzyklen),
- Entladetiefe der Batterie (DoD Depth of Discharge; Anteil des gespeicherten Energieinhalts, der beim Entladen regelmäßig im Betrieb entnommen wird),
- Temperatur in der Zelle (konstant im optimalen Bereich oder ständig wechselnd).
- Entnommene Leistung bzw. Stromhöhe in der Zelle (wirkt v. a. auf die Temperatur).

Hinzu kommt die kalendarische Alterung der Zellen. Jede dieser Größen wirkt sich bei unterschiedlichen Batterie- und Antriebstechnologien mehr oder weniger

BEMU Bayerwald Seite 133 von 181 Stand: 19.12.2022





stark auf deren Lebensdauerverhalten aus. Im Hinblick auf den Umfang dieser Studie können deshalb nur qualifizierte Abschätzungen getroffen und Daten der Hersteller herangezogen werden. Basis für die Abschätzung ist die Annahme, dass alle Fahrzeuge des Netzes eine Batterie mit gleichem Energieinhalt besitzen, auch wenn auf manchen Linien geringere Batteriegrößen ausreichend wären. Ziel ist, die hohe betriebliche Flexibilität zum Tausch der Fahrzeuge zwischen den Linien zu erhalten.

8.3 Infrastrukturbezogene Kosten

8.3.1 Berücksichtigte Kosten je einzelner Infrastrukturmaßnahme

Folgende Kostenparameter werden zur Bestimmung der Infrastrukturkosten auf der Strecke betrachtet:

- Oberleitungskettenwerk (Oberleitungsanlage inkl. Kettenwerk und Masten) der freien Strecke (Regelbauarten Typ Re100/Re200),
- Oberleitungskettenwerk im Bahnhof,
- wenn notwendig: Mitführung einer Speiseleitung an den Fahrleitungsmasten,
- · Zuschlag für Weichenbespannungen,
- Zuschlag je Oberleitungsfeld auf Eisenbahnbrücken für Sonderkonstruktionen der Oberleitungsmasten,
- Zuschlag je Meter Oberleitung im Tunnel für Sonderkonstruktionen, sofern der Tunnel per se geeignet ist (Abschätzung) für den Stromabnehmerdurchgang,
- Errichtung der Erdungsanlagen auf der freien Strecke und im Bahnhof (Eisenbahnüberführungen, Masterden, Zäune, Geländer, Sicherungstechnik etc.),
- Anpassung der Erdungsanlagen auf den Bahnsteigen (Zäune, Geländer, Bahnsteigmöblierung, Bahnsteigdächer, kleinere Eisenbahn-überführungen EÜ etc.),
- Anpassung zu weit ausladender Bahnsteigdächer zur Schaffung des Raums für freien Stromabnehmerdurchgang,
- Anzahl kreuzender Straßenüberführungen, die angepasst (insbes. Bauwerkserde, Berührschutz, ggf. Gleisabsenkung zur Schaffung des Raums für freien Stromabnehmerdurchgang) oder aufgrund notwendiger Bauhöhe neu gebaut werden müssen,
- Anzahl der Bahnübergänge, die angepasst bzw. erneuert werden müssen.

Folgende Kostenparameter werden zur Kostenbestimmung der Energieversorgung bei Oberleitungsinselanlagen betrachtet:

 Kosten für den Umrichter zur Umwandlung von 10/20/30 kV 50 Hz Mittelspannung zu 15 kV 16,7 Hz Bahnstromversorgung (ggf. ersetzbar durch direkte/symmetrierumrichterbasierte Versorgung mit 15 oder 25 kV 50 Hz entsprechend Kapitel 6.4)





Stand: 19.12.2022

- bei 10 MW Umrichter-Leistung ggf. Kosten für zusätzlich notwendigen Transformator von 110 kV 50 Hz zur Mittelspannung mit 10/20/30 kV
- Umrichtergebäude inkl. Baustelleneinrichtung,
- Baukostenzuschuss & Netzanschluss,
- Mittelspannungskabel zur Anbindung des Umrichters an das Mittelspannungsnetz bzw. der Fahrleitungsanlage an den Umrichter.

Wird nur eine Oberleitungsverlängerung vorgesehen, so werden die umrichterbezogenen Kosten der Energieversorgung nicht berechnet. Diese werden durch Kosten für die Anpassung der Bahnhofschaltanlage (Steuerung, Mastschalter, ggf. Streckenabgänge) im Ausgangsbahnhof der abzweigenden Strecke und Mittelspannungskabel zur Anbindung der neuen Oberleitungsanlage ersetzt.

Werden Umrichter eingesetzt, so wird von einem durch die DB Energie in bisherigen Studien angesetzten Konzept von Standard-Lade-Unterwerken ausgegangen. Das Konzept sieht jeweils 2,5 MVA-leistende Umrichter vor, die in ihrer Anzahl dem Gesamtleistungsbedarf angepasst werden. Ist eine Leistung größer als 2,5 MVA notwendig, so kann durch die Anordnung mehrerer gleicher Umrichter eine gewisse Redundanz, ggf. leistungsreduziert, gewährleistet werden.

Zusätzlich zu den Kosten der oben genannten Einzelpositionen werden Planungskosten pauschal mit 20 % der Bausumme angesetzt. Nicht enthalten sind Ausbaukosten zur Sanierung der bestehenden Leit- und Sicherungstechnik sowie zur Erhöhung der Streckenklasse auf C2 in den betroffenen Netzteilen.

Aktuell stehen mehrere Brücken im Verlauf der Strecke zwischen Deggendorf und Bayerisch Eisenstein zur Erneuerung an. Diese aktuell vor der Sanierung stehenden Bauwerke Ohetalbrücke (westlich von Regen), Nagerlbrücke (westlich von Bettmannsäge) sowie die Deffernikbrücke (nordöstlich von Ludwigsthal) werden durch die Inseloberleitung nicht betroffen. Lediglich bei einer Versorgung der Ladeinsel von einem Umspannwerk in Regen würde eine Kabelführung auf der Nagerlbrücke notwendig werden. Die DB Netz konnte den Gutachtern aus den anstehenden Sanierungsvorhaben überschlägige Kostenkennwerte für eine Elektrifizierung der Brücken zur Verfügung stellen⁷⁷. Die Kostenschätzung orientiert sich deshalb an der Kostenkalkulation der DB Netz für die anderen Brücken im Netz Bayerwald, konkret der Nagerlbrücke und Deffernikbrücke mit ihrer ähnlichen Ausdehnung und ähnlichen Rahmenbedingungen des umgebenden Geländes. Nach Rückmeldung der DB Netz AG wären für eine Elektrifizierung der Neubaubrücken folgende Zusatzkosten zu erwarten:

- Nagerlbrücke → ca. 100 T€,
- Deffernikbrücke → ca. 100 T€.

BEMU Bayerwald Seite 135 von 181

⁷⁷ E-Mail von DB Netz München, 11.08.2021







Eine ähnliche Größe (ca. 186 T€) ergibt sich aus den Datensätzen der Professur für Elektrische Bahnen für entsprechende Maste auf Brücken als Sonderkonstruktionen (vier Sondermaste auf vorhandenen "zweigleisigen Pfeilern").

Für die einzelnen Ladeinfrastrukturmaßnahmen wurden die in Tabelle 23 dargestellten Werte auf Basis aller oben genannten berücksichtigten Randbedingungen berechnet und für den Wirtschaftlichkeitsvergleich angenommen. Ab Anlage 19 findet sich eine detaillierte Aufstellung der Kostenanteile. Die Gesamtsumme bei Auswahl der empfohlenen Infrastruktur-Varianten (Errichtung der OLIA Plattling bis Deggendorf Hbf sowie Zwiesel und Nyrsko, Ladestationen in Grafenau und Viechtach) beträgt ca. 53,26 Mio. Euro. Der kostengünstigste Fall läge bei ca. 48,56 Mio. Euro, der Teuerste bei ca. 53,55 Mio. Euro.

Tabelle 23: Angesetzte infrastrukturbezogene Kosten

Infrastrukturmaßnahme	angesetzte Kosten (ca.)
RB 35 Oberleitungsverlängerung Plattling Variante 1 (ohne Donaubrücke)	9,8 Mio. €
RB 35 Oberleitungsverlängerung Plattling Variante 2 (bis Deggendorf Hbf)	14,5 Mio. €
RB 35/36/37 Oberleitungsinselanlage Zwiesel Ansatz: ca. 12,1 Mio. € Streckenausrüstung, ca. 9,0 Mio. € Energieversorgung inkl. Baukostenzuschuss und Anbindung auf der 110-kV-Ebene (→ ergibt ca. 1,5 - 2 Mio. € Zuschlag für zusätzliche Trafo- & Schaltanlagen in Bestands-Umspannwerken), ca. 4,2 Mio. € Planungskosten	25,3 Mio. €
RB 35 Oberleitungsinselanlage Nyrsko Ansatz: ca. 4 Mio. € Unterwerk ca. 400 Tsd. €/km Strecke	7,0 Mio. €
RB 36 Option 1: Ladestation Grafenau	3,16 Mio. €
RB 36 Option 2: Ausbau Oberleitungsinselanlage Zwiesel	3,30 Mio. €
RB 38 Option 1: Ladestation Gotteszell Ansatz: Elektrifizierung beider Bahnsteiggleise	3,38 Mio. €
RB 38 Option 2: Ladestation Viechtach	3,30 Mio. €

BEMU Bayerwald Seite 136 von 181 Stand: 19.12.2022





8.3.2 Anschluss Ladeinfrastruktur beim Verteilnetzbetreiber Bayernwerk

Für die notwendigen Infrastrukturmaßnahmen wurde eine Bewertung des Eingriffs in die Umwelt durchgeführt und die Anbindung an das Energieversorgungsnetz untersucht. Der Untersuchungsraum liegt fast vollständig in Schutzgebieten. Daher sollte der Bau von Infrastruktur insb. von zusätzlichen Trassen so weit wie möglich reduziert werden. Für die Anbindung an das Energieversorgungsnetz wurde Rücksprache mit dem Bayernwerk gehalten, um die technische Machbarkeit sowie die Kosten der einzelnen Lösungen zu konkretisieren. Es wurde gefordert, dass die Energie (n-1)-sicher zur Verfügung gestellt wird, d.h. dass auch bei Ausfall eines Betriebsmittel die Funktion zum Laden ohne Leistungsreduktion noch gewährleistet werden kann.

Für die Bezifferung der Kosten wurde der TU Dresden eine grobe Schätzung vom Bayernwerk übergeben. Die Kosten für die Energieanbindung gliedern sich in zwei Bestandteile: Zum einen den sogenannten Baukostenzuschuss, der von der Spannungsebene und der benötigten Leistung abhängt (Mittelspannung 125,31 €/kW, bei Hochspannung 97,26 €/kW entspricht dem Leistungspreis) und bei jedem Anschluss im jeweiligen Netz von der bestellten maximalen Anschlussleistung abhängt. Dieser steht dem Netzbetreiber zur Anpassung seines Netzes an die gestiegenen Leistungsanforderungen zu. Die Werte für das Jahr 2022 sind in nachfolgender Tabelle 24 aufgeführt, wobei eine Nutzungsdauer von größer 2500 h im Jahr angesetzt wird:

Tabelle 24: Kosten der Anbindung an das Verteilnetz – Baukostenzuschuss

Spannungsebene	Anschlussleistung	Baukostenzuschuss
Mittelspannung (10/20/30 kV)	1,2 MW	150.372 €
Mittelspannung (10/20/30 kV)	2,4 MW	300.744 €
Hochspannung (110 kV)	10 MW	972.600 €

Darüber hinaus kommt es zu Kosten für die Leistungsbereitstellung, die von den konkreten Orten und den zusätzlich notwendigen Infrastrukturmaßnahmen zur Verstärkung der Netzanbindung abhängen. Im Folgenden werden die Bedingungen an den einzelnen Infrastrukturstandorten in Tabelle 25 näher ausgeführt:

Tabelle 25: Kosten der Anbindung an das Verteilnetz – Verstärkungsmaßnahmen

Ort	Anschlussleistung	Aufwand
1,2 MVA		ohne Verstärkungs- maßnahmen möglich
Gotteszell	2,4 MVA	Verstärkungen i.H.v. 160.000 €
Grafenau	1,2 MVA & 2,4 MVA	ohne Verstärkungs- maßnahmen möglich





Regen	1,2 MVA & 2,4 MVA	ohne Verstärkungs- maßnahmen möglich
	10 MVA	Annahme: geht nur auf 110-kV-Ebene
7ioool	1,2 MVA & 2,4 MVA	ohne Verstärkungs- maßnahmen möglich
Zwiesel	10 MVA	Annahme: geht nur auf 110-kV-Ebene
Bayerisch	1,2 MVA	Verstärkungen i.H.v. 700.000 €
Eisenstein	2,4 MVA	nicht geprüft, deutlich

8.4 Betriebskostenschätzung

Die Betriebskosten für die Fahrzeuge selbst (betriebsnahe und schwere Instandhaltung, Tausch der Batterien bzw. PowerPacks etc.) wurde im Abschnitt 8.2 dargestellt. Tabelle 26 zeigt die sonstigen angenommenen Rahmenbedingungen für den Fahrzeugbetrieb und die Investitions- bzw. Betriebskostensteigerungen über 30 Jahre zum Preisstand 2022.

Berücksichtigt sind im Dieselpreis die bis 2025 bereits beschlossenen Preissteigerungen durch die CO₂-Bepreisung, nicht jedoch die jüngsten Effekte seit Jahresbeginn 2022. Auch überproportional zu erwartende Preissteigerungen aufgrund politischer Entscheidungen (bspw. der diskutierte Ausstieg aus der Verbrennungsmotorzulassung bis zur Mitte der 2030er-Jahre) sind aktuell nicht zu beziffern.

Tabelle 26: Angenommene Rahmenbedingungen der Betriebskosten

Energieträger	Preis	Einheit
Dieselpreis	1,17	€/I
Bahnstrompreis Deutschland	0,14	€/kWh
Bahnstrompreis Tschechien (entspricht Industriestrom)	0,21	€/kWh
öffentlicher Strompreis	0,21	€/kWh
Nominalzins		2 0 %

Nominalzins	2,0 %
Preissteigerungsrate (Barwertrechnung)	1.5 %
Preissteigerungsrate für Baugewerbe bei Infrastrukturkosten (Invest)	3,6 %
Kapitaldienst - Kreditrate Fahrzeug- & InfraFinanzierung (für 30 a)	2,2 %
Planungsleistungen	20 % d. Baukosten

BEMU Bayerwald Seite 138 von 181 Stand: 19.12.2022





Die zu Beginn der kriegerischen Auseinandersetzung in der Ukraine und teilweise bereits vorher überproportional gestiegenen Energiekosten der nicht erneuerbaren Energie-Anteile am Strommix in Deutschland (v. a. für Erdgas als schnell regelbarer Anteil am Strommix → direkter Einfluss auf Betriebskosten der Netze als Regelenergie) führen aktuell zu überproportional gestiegenen Kosten für elektrische Energie beim Bahnstrom, der deutlich oberhalb der Steigerungen bei Dieselkraftstoff liegt (siehe bspw. Quelle ⁷⁸, insbesondere Seiten 2 und 3 mit Kostensteigerungen von 14 − 16 ct/kWh im Mittel der letzten Jahre auf ca. 28 bis ca. 33 ct/kWh). Diese kurzfristigen Effekte wurden in den dargestellten Varianten des Wirtschaftlichkeitsvergleichs nicht berücksichtigt, da sie voraussichtlich nicht in diesem mutmaßlichen Überschwing-Verhalten der Preise verharren werden. Kurzfristige Entwicklungen wurden somit weder für steigende Diesel- noch für steigende elektrische Energiepreise berücksichtigt.

8.5 Kostenvergleich DMU vs. BEMU

8.5.1 Lebenszykluskostenuntersuchungen im Bayerwaldnetz

Wie in Abschnitt 8.1.1 allgemein beschrieben, hat die Untersuchung das Ziel der Feststellung einer sogenannten relativen Vorteilhaftigkeit sich einander ausschließender Investitionsvorhaben (z. B. BEMU vs. DMU, verschiedene Infrastrukturkonzepte) unter bestimmten gleichen Voraussetzungen je Linie (bspw. befahrene Linien, gleiche betriebliche Randbedingungen, gleicher Betrachtungszeitraum etc.). Mit der durchgeführten Studie wird also eine wirtschaftliche Entscheidungsbasis geschaffen, um die jeweils wirtschaftlich vorteilhafteste Technologie/ Infrastrukturvariante im betrachteten Netz zu ermitteln. Dies wird durch die Bestimmung der Differenz der relevanten Gesamtkosten, die unterschiedliche Technologien und Infrastrukturausbauvorhaben hervorrufen, möglich. Diese Gesamtkosten werden mittels Lebenszykluskostenanalyse für den gesamten Betrachtungszeitraum berechnet.

Das prinzipielle Vorgehen ist in Abschnitt 8.1.3 schematisch dargestellt. Zunächst erfolgt die Berechnung der periodischen Auszahlungen, d. h. aller Kosten die je Betrachtungsjahr anfallen. Diese sind die:

- Investitionen in Fahrzeuge und die zusätzliche Infrastruktur,
- Finanzierungskosten der Fahrzeuge und Infrastruktur am Kapitalmarkt,
- Traktionsenergiekosten abhängig von Bezugsquelle (Dieselkraftstoff; Oberleitung aus zentralem Netz gespeist; Ladestation und OLIA jeweils dezentral gespeist) → enthalten über die jeweiligen Energiebezugskosten die jeweilige CO₂-Bepreisung des primären Energieträgers (Kohle, Gas, Öl etc.) und beinhalten somit indirekt monetarisierte externe Kostenanteile zum Klimaschutz,

_

⁷⁸ https://die-gueterbahnen.com/assets/files/downloads/2022/nee-positionspapier-zur-bahnstrompreisentwicklung-stand-15.-maerz-202228.pdf [Zugriff im Juni 2022]





- Instandhaltungskosten der Fahrzeuge und der zusätzlichen Infrastruktur,
- laufende Instandhaltung sowie Hauptuntersuchungen der Fahrzeuge,
- Reinvestitionen in die Komponente Batterien sowie Dieselmotoreneinheit (PowerPacks) jeweils in Abhängigkeit von belastungsabhängiger Lebensdauer,
- ggf. erforderliche Reinvestitionen in Fahrzeuge und die neue Infrastruktur,
- Restwerte bei kleineren Betrachtungsdauern als Abschreibungszeiträume der Komponenten → bei 30 Jahren Betrachtungsdauer nicht relevant.

Einnahmen werden abgesehen von möglichen Restwerten nicht betrachtet, da Fahrgeldeinnahmen für alle Technologien gleich angenommen werden können. Gleiches gilt für Trassenkosten, Personalkosten (außer Tankfahrten), Abstellkosten, Reinigungskosten sowie Versicherungszahlungen. Diese sind für alle Technologien ebenfalls gleich und werden deshalb nicht mit berechnet. Die jährlichen Auszahlungen werden anschließend mit der Teuerungsrate beaufschlagt. Durch Abzinsung mit dem Nominalzins, der für die Einlage der jährlichen Auszahlungssumme bei einem Kreditinstitut zu erwarten wäre, können dann die Werte auf das Jahr Null (Startjahr des Vertrages) bezogen und aufsummiert werden. Für jede Technologie wird so ein Kapitalwert gebildet, der einen Vergleich der technologie- bzw. variantenspezifischen Kosten im Lebenszyklus ermöglicht.

Die Gesamtbetrachtung erfolgt für 30 Jahre als anzustrebende Fahrzeuglebensdauer sowie nach den Infrastrukturrandbedingungen (Varianten).

Die sich ausschließenden Investitionsvorhaben im Sinne dieser Untersuchung bestehen aus den folgenden verschiedenen Technologieoptionen:

- DMU (Dieselbetrieb als Referenzfall),
- BEMU (Einsatz batterieelektrischer Züge).

Für diese Technologieoptionen wird eine relative Vorteilhaftigkeit ermittelt, indem für jede Technologie ein Kapitalwert für den gesamten Lebenszyklus bestimmt wird. Dieser umfasst alle Kosten, die im Lebenszyklus anfallen, sodass der geringste Kapitalwert in dieser Untersuchung der relativ vorteilhafteste ist.

Im folgenden Abschnitt werden verschiedene Infrastruktur- bzw. Fahrzeuggröße-Varianten betrachtet und im Bayerwaldnetz für den Einsatz von BEMU gegenübergestellt und bewertet.

8.5.2 Betrachte Fälle

- Fall 1: Mit kurzen BEMU-Fahrzeugen nur bis Bayerisch Eisenstein
 - äquivalent zu Status Quo in Umlaufplan und Fahrzeugbedarf
 - > 15 (ca. 41/46 m lange) DMU/BEMU (kurz) benötigt (inkl. 2 Reserve)
 - im heutigen Umlaufplan erbrachte Leistungen in Doppeltraktion aus zwei RS1 weiterhin in Doppeltraktion
 - Berücksichtigte Infrastrukturinvestitionen:





- OLIA Zwiesel
- Ladestation in Grafenau
- Ladestation in Gotteszell oder Viechtach (ca. gleicher Invest)
- Zusatz Fall 1a: Nutzung eines ggf. gegebenen Einsparpotentials durch Verzicht auf Doppeltraktionen der Linie RB 35
 - bei Doppeltraktionen im Status Quo der RB 35 wird stattdessen in Einfachtraktion gefahren (<u>kurzer DMU/BEMU</u>) → <u>Verzicht auf 2 Fzge.</u>
 - ➤ 2x77 Sitzplätze (154, inkl. 12 Klappsitze) ggü. 1x123 Sitzplätzen (SH), identische Anzahl an Fahrradstellplätzen 2x6 bzw. 1x12 Stellplätze
- Fall 2: Mit kurzen BEMU-Fahrzeugen und Durchbindung RB35 bis Klatovy
 - ➤ 19 ca. 41/46 m lange DMU/BEMU (kurz) benötigt (inkl. 3 Reserve)
 - im heutigen Umlaufplan erbrachte Leistungen in Doppeltraktion aus zwei RS1 weiterhin in Doppeltraktion
 - > Berücksichtigte Infrastrukturinvestitionen:
 - OL-Verlängerung Plattling Deggendorf
 - OLIA Zwiesel
 - OLIA Nyrsko
 - Ladestation in Grafenau
 - Ladestation in Gotteszell oder Viechtach (ca. gleicher Invest)
 - keine Berücksichtigung der Durchbindungen nach Pilzen und Prag
- Zusatz Fall 2a: Nutzung eines ggf. gegebenen Einsparpotentials durch Verzicht auf Doppeltraktionen der Linie RB 35
 - bei Doppeltraktionen im Status Quo der RB 35 wird stattdessen in Einfachtraktion gefahren (<u>kurzer DMU/BEMU</u>) → <u>Verzicht auf 2 Fzge.</u>
 - ➤ 2x77 Sitzplätze (154, inkl. 12 Klappsitze) ggü. 1x123 Sitzplätzen (SH), identische Anzahl an Fahrradstellplätzen 2x6 bzw. 1x12 Stellplätze
- Fall 3: Mit langen BEMU-Fahrzeugen und Durchbindung RB35 bis Klatovy
 - ➤ 17 ca. 54 /58 m lange DMU/BEMU (lang) benötigt (inkl. 3 Reserve)
 - wenn im Status Quo der RB 35 Doppeltraktionen vorgesehen sind wird in Einfachtraktion (<u>langer BEMU</u>) gefahren → <u>Verzicht auf 2 BEMU</u>
 - Berücksichtigte Infrastrukturinvestitionen:
 - OL-Verlängerung Plattling Deggendorf
 - OLIA Zwiesel
 - Ladestation in Grafenau
 - Ladestation in Gotteszell oder Viechtach (ca. gleicher Invest)
 - ➤ 2x77 Sitzplätze (154, inkl. 12 Klappsitze) ggü. 1x ca. 150 160 Sitzplätzen und ähnlicher Anzahl an Fahrradstellplätzen (bisher 2x6)

8.5.3 Ergebnisse des Kostenvergleichs

Fall 1 bzw. 1a

Abbildung 57 zeigt die Ergebnisse für DMU- und BEMU-Verkehr bei einem Betrieb der RB 35 nur bis Bayerisch Eisenstein mit kurzen DMU bzw. BEMU und dem Verzicht auf Infrastrukturmaßnahmen außerhalb der OLIA Zwiesel. Die





Bestandstechnologie mit DMU ist auf dem ab 2022 prognostizierbaren Preisstand noch günstiger als BEMU-Verkehre, was insbesondere an den sehr hohen Erstinvestitionskosten für den Ausbau der Ladeinfrastruktur liegt, wie Abbildung 58 zeigt (hellgrüner Streifen charakterisiert Infrastruktur-Invest, zzgl. dunkelblauem Anteil, der die Finanzierung der Infrastruktur abbildet).

Hinzu kommen höhere Erstinvestitionskosten für BEMU im Vergleich zu DMU, trotz des Ansatzes von Lint 41 mit ca. 42 m anstatt ca. 26 m Länge der RS 1.

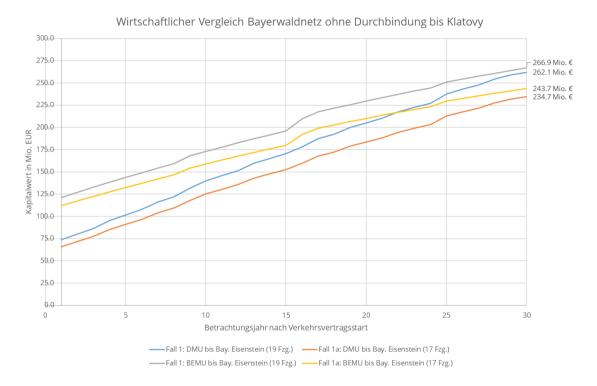


Abbildung 57: Ergebnis des Vergleichs der Fälle 1 und 1a ohne Durchbindung bis Klatovy

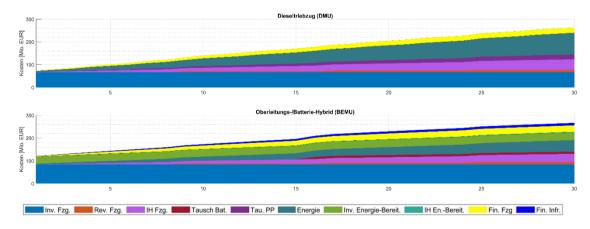


Abbildung 58: Kostenanteile im Fall 1 der Lebenszykluskosten

Demgegenüber können BEMU mit den erheblich geringeren Energiebezugskosten (in Abbildung 58 türkis) profitieren, die durch die tendenziell günstigen Annahmen für DMU bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung langfristig noch verstärkt werden könnten. Grundsätzlich gilt, dass aufgrund der politisch und gesellschaftlich angestrebten Erneuerbarkeit der elektrischen Energie diese in

BEMU Bayerwald Seite 142 von 181 Stand: 19.12.2022





ihren primären Erzeugungskosten (ab Windrad/Solarzelle) das Potenzial hat, nur von unterproportionalen Preissteigerungen betroffen zu sein. Grundlage hierfür ist, dass die Kosten für aus Sonnenlicht bzw. Windkraft bereitgestellter elektrischer Energie maßgeblich von den Errichtungs- und Betriebskosten der Erzeugeranlagen (Gestehungskosten) sowie den Netzbetriebskosten abhängen. nicht jedoch von oft ausschließlich aufgrund geo- oder energiepolitisch getriebenen veränderten Primärenergiekosten (v. a. für Rohöl bzw. Erdgas). Langfristig kann also mit einer Verbesserung der Energiebezugskosten für elektrischen Strom gegenüber konventionellen Kraftstoffen gerechnet werden. zumal sich für konventionelle Kraftstoffe eine politisch angestrebte Steigerung der CO₂-Bepreisung zunehmend bemerkbar machen wird. Im Jahr 2022 aktuelle Preisentwicklungen im Strommarkt sind maßgeblich durch deutlich gestiegene Gestehungskosten mit fossilen Primärenergieträgern erzeugter elektrischer Energie zurückzuführen, die durch den Krieg zwischen Russland und der Ukraine in den Beschaffungskosten für insbesondere Gas, aber auch Rohöl und Kohle den Preis elektrische Energie maßgeblich beeinflussen. Die potenziellen Verbesserungen durch eine Verstetigung der Gestehungskosten elektrischer Energie und Entkopplung von geopolitischen Großereignissen durch die Gewinnung aus regenerativen Energieguellen sind in den dargestellten Wirtschaftlichkeitsvergleichen nicht berücksichtigt.

Fall 2 bzw. 2a und Fall 3

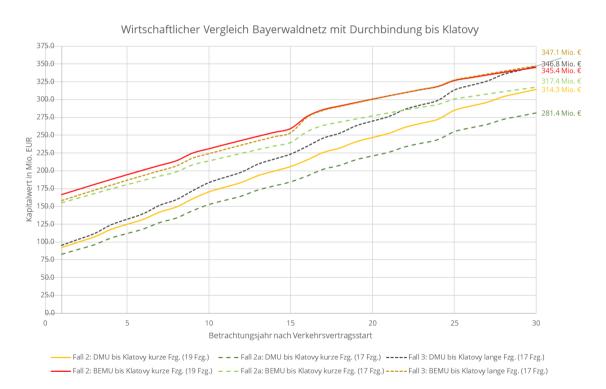


Abbildung 59: Ergebnis des Vergleichs der Fälle 2, 2a sowie 3 mit Durchbindung bis Klatovy

Wie Abbildung 59 zeigt, ergibt sich bei einer unterstellten Durchbindung bis Klatovy der gesamtwirtschaftliche Vergleich des Falls 2 (Einsatz von Doppeltraktionen im BEMU-Umlauf immer dort, wo heute aufgrund der Kapazitätsanforderungen auch Doppeltraktionen zum Einsatz kommen), dass unter den gegebenen

BEMU Bayerwald Seite 143 von 181 Stand: 19.12.2022





Randbedingungen die Bestandstechnologie DMU trotz ebenfalls angesetzter DMU-Neubeschaffung erheblich günstiger ist als ein BEMU-Betrieb. Es ergibt sich ein errechneter Kostenunterschied über 30 Jahre von ca. 31 Mio. Euro.

Lediglich wenn bei der Neubeschaffung äquivalent zu einer BEMU-Beschaffung auch lange (54 m lange) und damit schwere Dieselfahrzeuge beschafft und betrieben würden (Fall 3 DMU), wofür es bei Dieselbetrieb jedoch keinen Anlass gibt, insbesondere nicht auf den Linien RB 36 bis RB 38, wäre zum Ende der Betriebsdauer ein knapper wirtschaftlicher Vorteil für den BEMU-Betrieb zu erwarten.

Trotz einer Überdimensionierung im Gesamtnetz beim Einsatz von längeren BEMU (50 – 56 m Länge) ergäben sich ähnliche Kosten für den BEMU-Betrieb mit einheitlich im Gesamtnetz 17 langen oder 19 kurzen Fahrzeugen, da auf zwei Fahrzeuge und einen Teil des Infrastrukturausbaus (OLIA Nyrsko) verzichtet werden könnte (Vergleich Fall 2 und Fall 3).

Anzustreben ist allerdings der Verzicht auf Doppeltraktionen auch beim Einsatz von kurzen BEMU, die trotzdem deutlich mehr Kapazität bieten als ein RegioShuttle RS1, wenn es kapazitiv möglich ist. Dann wären kurze BEMU (ca. 46 m Länge) mit umfangreicherer Infrastruktur (OL Plattling – Deggendorf, OLIA Zwiesel und Nyrsko) günstiger als der Einsatz von langen BEMU. Kann statt eines Einsatzes von Doppeltraktionen der BEMU durch eine passende Kapazitätswahl der Fahrzeuge auch mit Einfachtraktionen gefahren werden, so lassen sich hierdurch beim BEMU-Betrieb über 30 Jahre ca. 28. Mio. Euro an Kostenreduktion erreichen (Vergleich Fall 2 BEMU mit Fall 2a BEMU), wobei die Kosten für ggf. zusätzlich notwendiges Personal zum Bilden und Trennen der Doppeltraktionen noch gar nicht berücksichtigt wurde.

8.5.4 Zusammenfassung Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der gesamtwirtschaftliche Vergleich deutlich zeigt, dass die Bestandstechnologie DMU unter den aktuellen Randbedingungen immer noch günstiger als ein BEMU-Betrieb über einen 30 Jahre langen Betriebszeitraum ist. Allerdings sind tendenziell günstige Annahmen für den DMU-Einsatz bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung getroffen worden (1.17 Euro pro Liter Diesel), da ein überproportionaler Anstieg der Diesel-Kraftstoffkosten langfristig aufgrund der politischen Zielstellungen wahrscheinlich, jedoch im Moment nicht belastbar bezifferbar ist. Gleichzeitig zeigen die ersten beiden Quartale des Jahres 2022 überproportionale Anstiege auch bei den Bahnstromkosten. Durch die Bahnbranche geforderte Entlastungen sind bisher nicht umgesetzt, allerdings sind die Preissteigerungen insbesondere aufgrund des Gaspreises nicht vollständig zu kompensieren. Grundsätzlich ist das Kostensenkungspotenzial wie oben beschrieben für erneuerbare elektrische Energie jedoch grundsätzlich positiv. Die Benennung eines Kipppunktes, ab dem der Dieselbetrieb kostenintensiver wird als der BEMU-Betrieb ist nicht pauschal möglich, da bei überproportional steigenden Dieselkosten auch entsprechend steigende Kosten für elektrische Energie erwartbar sind. Bei gleichbleibend angenommenen Kosten für elektrische Energie aus dem Bahnstromnetz von ca.

BEMU Bayerwald Seite 144 von 181 Stand: 19.12.2022





14ct/kWh ergäbe sich je nach betrachtetem Fall ab ca. 1,50 € bis 1,60 € pro Liter bezogenem Kraftstoff ein Kostenvorteil für BEMU-Verkehre gegenüber DMU-Betrieb.

Anzustreben ist im Bayerwaldnetz beim Einsatz von BEMU im gesamten Netz generell ein einheitlicher Einsatz von kurzen Fahrzeugen (aktuell verfügbar ca. 46 m Länge) mit größerem Infrastrukturbedarf, insbesondere dann, wenn zusätzlich der Verzicht auf Doppeltraktionen kapazitiv möglich ist, da so eine Verringerung der benötigten Fahrzeuganzahl (inkl. Investitions- und Betriebskosten) von 19 auf 17 eintritt.

Für die Kostenschätzung der Ladeinfrastruktur sind aktuell noch größere Streubereiche zu erwarten, da eine leistungsfähige längere Oberleitungsinselanlage in Deutschland bisher nirgendwo in Betrieb ist. Gleiches gilt auch für Tschechien, sodass bei der Planung und Errichtung ggf. Optimierungspotenziale und auch unvorhergesehen Kostensteigerungen grundsätzlich möglich sind.

BEMU Bayerwald Seite 145 von 181 Stand: 19.12.2022





9 Rahmenterminplan

Zur Umsetzung der Infrastrukturmaßnahmen war durch den Auftraggeber die Erstellung eines Rahmenterminplans zur Abschätzung der Errichtungszeiten der Infrastruktur gefordert. Verlässlichste Möglichkeit hierzu ist die Orientierung an bestehenden Anlagen bzw. aktuell laufenden Neubauten für Ladestationen. Die Abschätzung der Leistungsphasen (Lph) gemäß HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) und Realisierungszeiten der Infrastruktur erfolgte deshalb anhand von Referenzprojekten.

Grundlage zur Abschätzung der Planungs- und Errichtungszeiträume für Ladestationen bilden hierbei die zu errichtenden Ladestationen im Pfalznetz, die in Untersuchungen der TU Dresden und der DB Energie 2019 betrachtet wurden. Außerdem bilden die Machbarkeitsstudien der TU Dresden und der DB Energie für das VVO-Dieselnetz (2020 - 2022) eine aktuelle Grundlage. Hinzu kommen Quellen zur Errichtung der Ladestationen in Schleswig-Holstein. Für die Oberleitungs- und Oberleitungsinselanlagen wurden die Elektrifizierungsprojekte München – Lindau (siehe Abbildung 60) und Ulm – Friedrichshafen – Lindau aus den vergangenen Jahren betrachtet.

Die Erstellung eines Rahmenterminplans für die Umsetzung der OLIA Nyrsko auf tschechischer Seite war für die Gutachter aufgrund der unbekannten Randbedingungen hierfür nicht möglich.

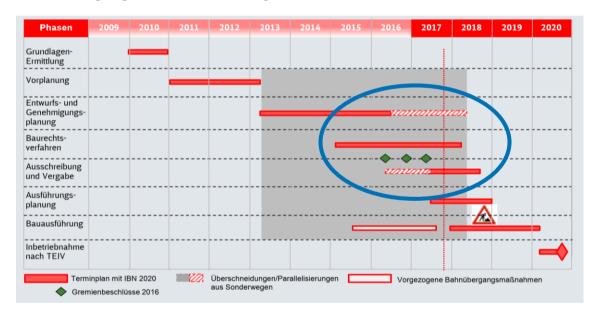


Abbildung 60: Umsetzungsterminplan Elektrifizierung München-Lindau mit viel Parallelisierung

Insbesondere beim Projekt München-Lindau wurden aufgrund der räumlichen Ausdehnung der Baustelle viele Parallelisierungen vor allem in den Planungsphasen vorgenommen (siehe Abbildung 60 – blauer Kreis), die den Beginn des Baus durch konzentrierte und damit schnelle Umsetzung der Planungsleistungen für einzelne Abschnitte bereits während noch laufender Planung, Ausschreibung und Vergabe anderer Abschnitte ermöglichte. Außerdem wurden kleinere, jedoch planungsrechtlich komplexere, Maßnahmen (bspw. Bahnübergangsmaßnahmen





mit deren teilweise langen Genehmigungsverfahren, insbesondere aufgrund von hohen planungsrechtlichen Anforderungen, vielen beteiligten Akteuren und ggf. dem notwendigen Erwerb angrenzender Grundstücke, jedoch verhältnismäßig kurzen Bauphasen) aus dem eigentlichen Projekt- und Genehmigungsprozess herausgelöst und so baulich und planerisch vorab behandelt werden. Dies entzerrt ggf. langwierige Planungs- und vor allem Genehmigungsverfahren kleinerer Einzelmaßnahmen vom Gesamtverfahren und schafft so für große Anteile des Bauvorhabens (insbesondere für den Oberleitungsbau) rechtzeitig Baurecht.

Der Fertigstellungshorizont im Bayerwaldnetz liegt für die Infrastrukturmaßnahmen zur Betriebsaufnahme des Netzes bei Ende 2030. Ersatzlösungen wären im Bayerwaldnetz für alle Linien nur mit DMU möglich, da auf allen Linien Ladeinfrastruktur benötigt wird.

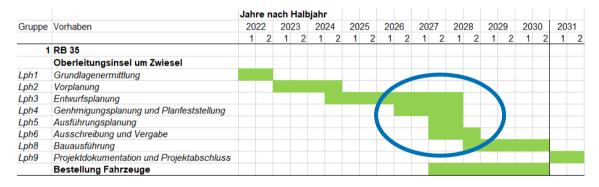


Abbildung 61: Rahmenterminplan Oberleitungs(insel)anlagen in Deutschland

Abbildung 61 zeigt den erarbeiteten Rahmenterminplan für die Umsetzung der Oberleitungsanlage Plattling-Deggendorf und Oberleitungsinselanlage Zwiesel wie er eingehalten werden müsste, um das Inbetriebnahmejahr 2030 halten zu können, abgeleitet aus dem Ablaufplan für die Umsetzung des Projektes München – Lindau. Unterstellt wurde, dass die Energieversorgung am Anschlusspunkt (Unterwerk Plattling bzw. Umspannwerke Zwiesel oder Regen) ausreichend leistungsfähig ist bzw. deren ggf. notwendige Ertüchtigung parallel zur Oberleitungsanlage geplant und durchgeführt werden kann. Außerdem wird unterstellt, dass ein Planfeststellungsverfahren aufgrund der Lage in verschiedenen Schutzgebieten zwingend erforderlich ist. Nicht berücksichtigt in dieser Übersicht ist die notwendige parallele Ertüchtigung der Strecke Gotteszell – Bayerisch Eisenstein für die Streckenklasse C2, die ein erhebliches vor allem zeitliches Risiko hat.

Auch in Abbildung 61 ist die parallele Abarbeitung (blauer Ring) von Leistungsphasen nach HOAI unterstellt. Eine Übernahme der möglichen Zeiteinsparungen durch Parallelisierung ist allerdings aus Sicht der Gutachter überwiegend nur schwer umsetzbar. Ursache dafür ist der verhältnismäßig kleine bauliche Umfang von lediglich 17 bis 20 Kilometern (je nach Variante bei Plattling – Deggendorf 8 bis 11 km), der eine Entzerrung von Planungs- und Bauleistungen in mehreren Genehmigungs- und Bauphasen und auch aufgrund der Eingleisigkeit der Strecke (erfordert möglichst kurze Bauzeit) nur begrenzt umsetzbar erscheinen lässt.

BEMU Bayerwald Seite 147 von 181 Stand: 19.12.2022





Die Vorziehung bestimmter Einzelmaßnahmen, beispielsweise die Erneuerung von Bahnübergängen am Ortsrand Plattling bzw. am Hp Bettmannsäge, die Anhebung der Streckenklasse östlich von Gotteszell auf C2 oder am Hp Pankofen die Anpassung der Fußgängerüberführungen können ggf. bereits vorab in getrennten Verfahren angestoßen werden. Sollte es hierbei durch die Betroffenheit Dritter zu Verzögerungen kommen, so haben diese keine direkten Auswirkungen auf die Genehmigung zum Bau der Oberleitungsanlage selbst, können jedoch aufgrund des teilweisen kleineren Umfangs der Baumaßnahmen auch nach größeren Verzögerungen noch rechtzeitig vor Betriebsaufnahme abgeschlossen werden. Ggf. ist ein solches Vorgehen auch für die Energiebereitstellungsanlage der OLIA Zwiesel mittels Umrichter- oder Transformatorlösung ein Weg zur Beschleunigung der Genehmigungsverfahren, da insbesondere dort durch den notwendigen Grunderwerb und die Leitungsverlegung im Stadtgebiet Zwiesel oder Regen Betroffenheiten von Anwohnern entstehen könnten.

Für die Oberleitungsinsel um Zwiesel wird die Einhaltung des oben gezeigten Zeitplans deshalb als sehr herausfordernd eingeschätzt, sodass ein Umsetzungsszenario bis 2030 für Ladeinfrastrukturbau und Streckenklasseerhöhung nicht realistisch erscheint. Aus Sicht der Gutachter sollte deshalb die Inbetriebnahmeplanung durch einen Übergangsvertrag für ca. fünf bis sieben Jahre (eine Fahrzeug-HU-Periode) verlängert werden. Ggf. kann durch eine vorgezogene Umsetzung der Ladestationsmaßnahmen in Gotteszell oder Viechtach sowie Grafenau eine etappenweise Inbetriebnahme des Netzes Bayerwald, bspw. in zwei Schritten und gestreckt über zwei Jahre, angestrebt werden. Die Vorstellung des abgeleiteten Rahmenterminplans findet sich im Folgenden.

Wie Abbildung 62 zeigt wird von einem Planungsbeginn bereits zu Beginn des Jahres 2023 ausgegangen. Die kurzfristigere Umsetzung der Ladeinfrastruktur im Pfalznetz (Planungsbeginn 2020, Umsetzung bis 2025) sowie in Schleswig-Holstein mit ebenfalls ca. 5 Jahren zeigt allerdings, dass Reserven gegeben sind. Diese wären jedoch nur mit der Aufspaltung des Bayerwaldnetzes in den Betrieb der Linien RB 36 und RB 38 möglich, da für die Linien RB 35 und RB 37 keine Ladeinfrastruktur rechtzeitig (OLIA Zwiesel) bereitstünde. Die Linien RB 36 und RB 38 können demgegenüber jeweils mit der Errichtung einer Ladestation betrieben werden, sofern die heutigen Wendezeiten bestehen bleiben. Ggf. ist demzufolge lediglich die Etappenweise Inbetriebnahme in zwei aufeinanderfolgenden Jahren eine Option zur Entspannung des angestrebten Zeitplans.

Für die Erstellung des Rahmenterminplans wurde für die Ladestationen angenommen, dass ebenso wie für die Oberleitungsanlage die vorhandene Energieversorgung an den nächstgelegenen Mittelspannungsknoten ausreichend leistungsfähig ist bzw. deren Ertüchtigung parallel zur Ladestation geplant und durchgeführt werden kann. Außerdem wird vorausgesetzt, dass durch die Lage aller geplanten Ladestationen in natur- und landschaftsschutzrechtlich beschränkten Bereichen diese vollständig mit einer Umweltverträglichkeitsprüfung geplant werden müssen. Da die Ladestationen in Gotteszell oder Viechtach bzw. Grafenau jeweils im Siedlungsgebiet liegen, könnte ggf. eine Reduzierung dieser Anforderung möglich sein, wenn die Kommunen bzw. Bahnanlagen von den Schutzgebieten ausgenommen wären. Jedoch bestimmt





die Lage im Siedlungsgebiet gleichzeitig die Anforderungen an die Geräuschbelastung der Umgebung, insbesondere beim Ladebetrieb der BEMU (hohe Leistungen werden übertragen → hohe Kühlleistung der Komponenten, insbesondere Trafo und Stromrichter notwendig). Die detaillierte Prüfung der Notwendigkeit eines Planfeststellungsverfahren muss im Rahmen der ersten Planungsphasen durchgeführt werden. Die aktuelle gutachterliche Einschätzung geht jedoch von der Notwendigkeit eines Planfeststellungsverfahrens aus.

Kompetenzzentrum Hochleistungsbahnen



Abbildung 62: Rahmenterminplan Ladestationen

BEMU Bayerwald Seite 149 von 181 Stand: 19.12.2022





10 Zusammenfassung

Das Bayerwaldnetz ist grundsätzlich mit Oberleitungs-/Batterie-Hybridfahrzeugen (BEMU) zu betreiben. Nach Vorgabe des Auftraggebers wurde dies Anhand des Produktes Flirt Akku der Firma Stadler geprüft. Aus den Varianten-Vorschlägen des Auftraggebers zur Gestaltung der Infrastruktur im Rahmen der Aufgabenstellung wurde die **Variante 4** (Tabelle 2, Anlage 16) als optimale Variante identifiziert. Kern ist eine ca. 10 km lange Oberleitungsinselanlage um den Bahnhof Zwiesel für die Linien RB 35 bis RB 37, wobei die RB 35 zwischen Bettmannsäge und Lichtenthal unter Oberleitung fahren und laden kann, die Linien RB 36 und RB 37 jeweils im Stand im Bahnhof Zwiesel. Je nach angestrebtem Betriebskonzept (Durchbindung bis Klatovy / Endpunkt in Bayerisch Eisenstein) sind folgende Infrastrukturmaßnahmen notwendig bzw. werden bei mehreren untersuchten Varianten als Vorzugslösung durch die Gutachter empfohlen:

Linienendpunkt Bayerisch Eisenstein, Fälle 1 und 1a:

- RB 35: Oberleitungsinselanlage Zwiesel (Bettmannsäge Ludwigsthal),
- RB 36: Errichtung einer Ladestation in Grafenau,
- RB 37: Mitnutzung der OLIA Zwiesel zur Standladung in Zwiesel,
- RB 38: Errichtung einer Ladestation in Viechtach oder Gotteszell (Standort-Entscheidung durch BEG bei einer endgültigen Strecken- Reaktivierung).

Zusätzlich bei grenzüberschreitender Durchbindung bis Klatovy in Tschechien, Fälle 2, 2a und 3:

- RB 35: Oberleitungsinselanlage Nyrsko (Dešenice Petrovice n. Úhlavou) in Tschechien,
- RB 35: Fahrleitungsverlängerung Plattling Deggendorf Hbf.

Diese Infrastrukturausführung ermöglicht den Verkehr mit kurzen Stadler Flirt Akku mit einer Länge von 46 m, ist jedoch auch auf andere Produkte (bspw. Siemens Mireo Plus B) am Markt übertragbar. Die Prüfung der Fahrplan- und Umlaufkonzepte zeigte außerdem, dass auch der geforderte Fahrplan, der dem heutigen Betriebskonzept mit Stadler/ADtranz RegioShuttle RS1 entspricht, auch im Störungsfall gefahren werden kann. Verschiedene Verspätungsszenarien konnten bereits binnen einer Hin- und Rückfahrt wieder ausgeglichen werden. Die Energieversorgung der Ladeinfrastruktur kann durch den lokalen Betreiber des 50-Hz-Energeiversorgungsnetzes Bayernwerk bereitgestellt werden.

Für die oben benannten Infrastrukturmaßnahmen und einem Linienendpunkt in Bayerisch Eisenstein wären für einen BEMU-Betrieb Infrastruktur-Investitionen in Höhe von ca. 31,8 Mio. Euro erforderlich, wobei ca. 25,3 Mio. Euro alleine auf die Oberleitungsinselanlage Zwiesel entfallen, der Rest auf die Ladestationen der RB 36 und RB 38. Für die Ermöglichung einer Durchbindung nach Klatovy sind weitere 21,5 Mio. Euro für die dafür notwendigen Infrastrukturmaßnahmen Oberleitungsverlängerung Plattling – Deggendorf Hbf sowie Oberleitungsinselanlage Nyrsko ermittelt worden (Kostenstand der Infrastrukturkostenbewertungen 2022). Bei der Berechnung der der Infrastrukturkosten wurden 20 % Planungskosten, bezogen auf das Investitionsvolumen, unterstellt. Darin enthalten sind für alle Infrastrukturmaßnahmen unterstellte Planfeststellungsverfahren, da nahezu





das gesamte Bayerwaldnetz bis auf die Randbereiche bei Klatovy und Plattling in naturschutzrechtlich teilweise streng geschützten Bereichen liegt. Eine Umweltverträglichkeitsprüfung und damit ein Planfeststellungsverfahren mit entsprechendem zeitlichem und finanziellem Aufwand waren deshalb bei allen Maßnahmen zu unterstellen.

Die notwendige Fahrzeuganzahl beträgt bei einem unterstellten 1-h-Takt in Einfachtraktion auf den Linien RB 36 bis RB 38 und dem teilweisen Einsatz Doppeltraktionen auf der RB 35 entsprechend des heute mit den RegioShuttle-Fahrzeugen umgesetzten Bespannungsregimes ohne Durchbindung nach Klatovy 15 Fahrzeuge inklusive Reserve. Für eine Durchbindung nach Klatovy im 2-h-Takt in Einfachtraktion sind 19 Fahrzeuge erforderlich. Für 15 kurze BEMU wurde eine Investitionssummer von ca. 83,7 Mio. Euro unterstellt, für 19 kurze BEMU von ca. 106.0 Mio. Euro. Für einen BEMU-Betrieb nur bis Bayerisch Eisenstein ohne Verzicht auf Doppeltraktionen und unter Berücksichtigung der Betriebskosten ergeben sich somit vergleichsrelevante Gesamtkosten (ohne Trassen- und Personal) von ca. 267 Mio. Euro. inklusive Durchbindung bis Klatovy steigen diese auf ca. 345 Mio. Euro für eine Betrachtungszeitraum von 30 Jahren. Der somit insbesondere aus Investitionsbedarfssicht wirtschaftlichere Betrieb wird bei einer Linienbrechung in Bayerisch Eisenstein ohne Durchbindung nach Klatovy erreicht, da die Durchbindung nach Klatovy umfangreiche zusätzliche Infrastrukturmaßnahmen für den Betrieb mit BEMU erfordert.

Die Gutachter empfehlen als Ergebnis der wirtschaftlichen Betrachtungen den Betrieb mit kurzen BEMU-Fahrzeugen (Länge 46 bis 47 m), wobei auch dann der Betrieb mit BEMU noch wirtschaftlich ungünstiger ist als jener mit Dieselfahr-zeugen (DMU), insbesondere aufgrund der zu erwartenden hohen Infrastrukturkosten für den BEMU-Einsatz. Dieser Vorteil des DMU gegenüber BEMU gilt nur bei Kostenansätzen von 1,17 Euro pro Liter Diesel, wie zu Beginn der Untersuchungen angenommen. Die Umsetzung der für den Einsatz der kurzen Fahrzeuge zusätzlich notwendigen Oberleitungsinsel in Tschechien erschwert ggf. eine Umsetzung des Gesamtvorhabens. Deshalb ebenfalls untersuchte längere Fahrzeuge (56 bis 57 m) im Gesamtnetz, was aus Sicht des Passagieraufkommens nicht erforderlich ist, aber den Verzicht auf die Oberleitungsinselanlage Nyrsko (Tschechien) ermöglichen würden, erfordern aber in jedem Fall die Oberleitungsverlängerung ab Plattling und schneiden im wirtschaftlichen Vergleich schlechter ab.

Bei Dieselbezugskosten von 1,50 bis 1,60 Euro pro Liter und höher und gleichbleibenden Bahnstrombezugskosten von ca. 14 ct/kWh würden BEMU-Fahrzeuge in den untersuchten Szenarien eine höhere Wirtschaftlichkeit als DMU erreichen.

Wenn möglich ist eine Optimierung der Kapazitäten der Fahrten auf der RB 35 und der Umlaufpläne vorzunehmen, sodass durchgehend mit Einfach- statt Doppeltraktionen (17 statt 19 BEMU) verkehrt werden kann. Möglich wird dies ggf. durch die deutlich höheren Kapazitäten von einem zweiteiligen BEMU-Fahrzeug mit einer Länge von ca. 46 bis 47 m, das ca. 120 Sitzplätze aufweist im Vergleich mit RegioShuttle-Fahrzeugen, die bei Fahrt in Doppeltraktion ca.





150 Sitzplätze bieten. Die RB 35 ohne Durchbindung bis Klatovy stellt dabei die geringere Herausforderung dar und verringert die Infrastrukturkosten deutlich. Allerdings wird bei Verzicht auf Durchbindung der Verkehr auf tschechischer Seite voraussichtlich weiterhin mit DMU erbracht.

Die umfangreiche Errichtung von Ladeinfrastruktur stellt jedoch den Zeitplan zur Betriebsaufnahme bis Ende 2030 vor große Herausforderungen, sodass die gutachterliche Empfehlung hierzu ist, einen Übergangsvertrag für ca. fünf Jahre bis zur Betriebsaufnahme vorzusehen und in dieser Zeit mit den Bestandsfahrzeugen den Verkehr (ggf. teilweise) weiterzuführen. So kann Zeit für die Infrastrukturerrichtung gewonnen werden. Gaf. ist eine Betriebsaufnahme zunächst auf der RB 36 und RB 38. anschließend dann auf der RB 35 und RB 37 anzustreben, sodass ein etappenweiser Zulauf der Fahrzeuge möglich wird und weitere Zeitreserven, insbes, für die Errichtung der Oberleitungsinselanlage Zwiesel, geschaffen werden. Für den Betrieb der Linien RB 36 und RB 38 sind nur verhältnismäßig kurzfristig zu errichtende Ladestationen in Grafenau bzw. Gotteszell oder Viechtach notwendig. Es ist zudem empfehlenswert, erst in einem dritten Schritt die Durchbindung nach Klatovy umzusetzen, sodass für Errichtung der Oberleitungsinselanlage Nyrsko sowie für die Verlängerung der Oberleitung bis Deggendorf Hbf mehr Zeitreserve besteht.

Nicht betrachtet wurde der Ausbau auf die Streckenklasse C2 als Voraussetzung für den BEMU-Betrieb. Die Umsetzung einer Streckenklassenanhebung ist vor Inbetriebnahme neuer Fahrzeuge zwingend erforderlich, da auch zum Ersatz der Bestandsflotte potenziell mögliche Wasserstoff-/ Akku-Hybridfahrzeuge und Diesel-Neufahrzeuge nach aktuellem Stand mindestens eine Anhebung auf Streckenklasse B2 benötigen, alle potentiellen Fahrzeuge auf dem Markt für einen BEMU-Verkehr erfordern sogar mindestens eine Anhebung auf C2. Insbesondere vor dem Hintergrund des Alters der RegioShuttle-Bestandsflotte, das voraussichtlich einen ggf. notwendigen Weiterbetrieb für nur einige wenige Jahre möglich machen würde, ist hier großer Handlungsbedarf zur Streckenklassenanhebung technologieunabhängig notwendig. Die Gutachter empfehlen deshalb eine Anhebung auf Streckenklasse C2, zumal nach Auskunft der BEG die DB Netz AG die drei neu zu errichtenden Brücken im Bayerwaldnetz bereits für die Streckenklasse C2 auslegt. Es ergibt sich ansonsten ggf. nach Ablauf der technischen Nutzungsdauer der RegioShuttle-Fahrzeuge ein Fahrzeugmangel und in Folge die Einstellung des Verkehrs im Netz Bayerwald.

Es ergibt sich somit aus Sicht der Gutachter die Anforderung an die DB Netz AG, dass eine angepasste Regelung zu den zulässigen Orten des Traktionsartwechsels für **Regel- und Takttrassen des SPNV** abweichend von den ab Fahrplanwechsel im Dezember 2022 gültigen Richtlinien 408.0493 (für Fahrdienstleiter) bzw. 408.2493 (für Triebfahrzeugführer) gefunden wird, sodass auch außerhalb von Zugmeldestellen an definierten Punkten eines SPNV-Netzes ein Traktionsartwechsel im Stillstand und/oder in Fahrt durchgeführt werden darf. Dies schließt den Traktionsart-wechsel auch innerhalb von Zugmeldestellen ein, sodass auch bei Einfahrt/Stillstand in einer Zugmeldestelle die Ladezeit bereits



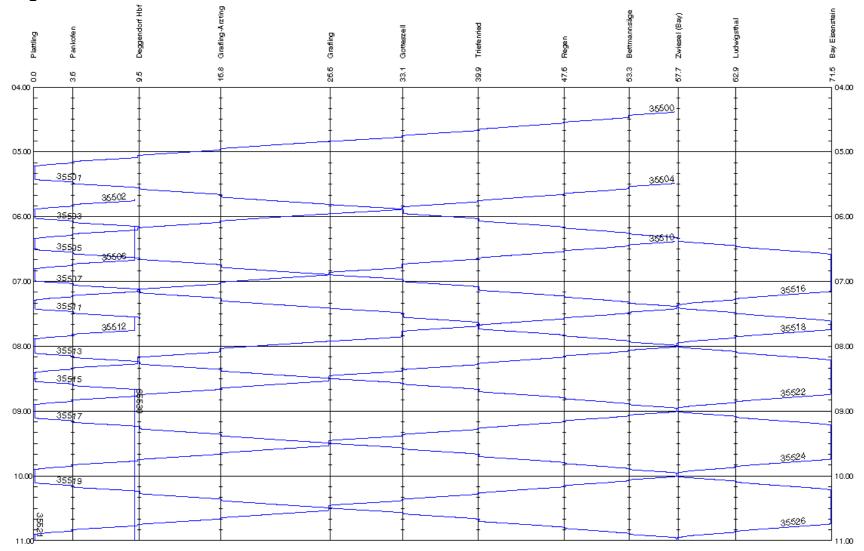


genutzt werden kann. Diese Änderung ist für eine Umsetzung des Infrastrukturkonzeptes im Bayerwaldnetz mit der zentralen Ladeinfrastruktur im Raum Zwiesel Voraussetzung.

<< Ende des Berichtsteils>>

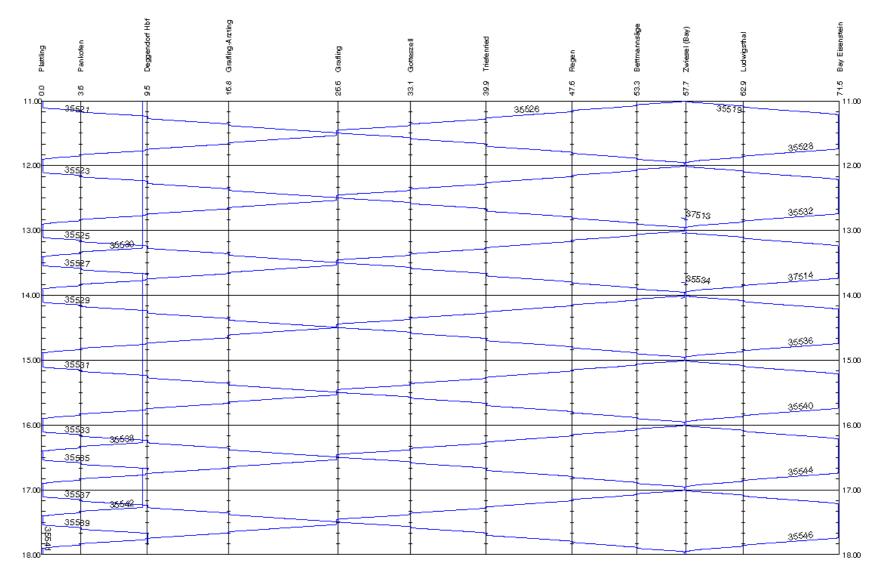
BEMU Bayerwald Seite 153 von 181 Stand: 19.12.2022

Anlagen



Anlage 1: Bildfahrplan RB 35 Plattling - Bayerisch Eisenstein, 04:00 Uhr - 11:00 Uhr

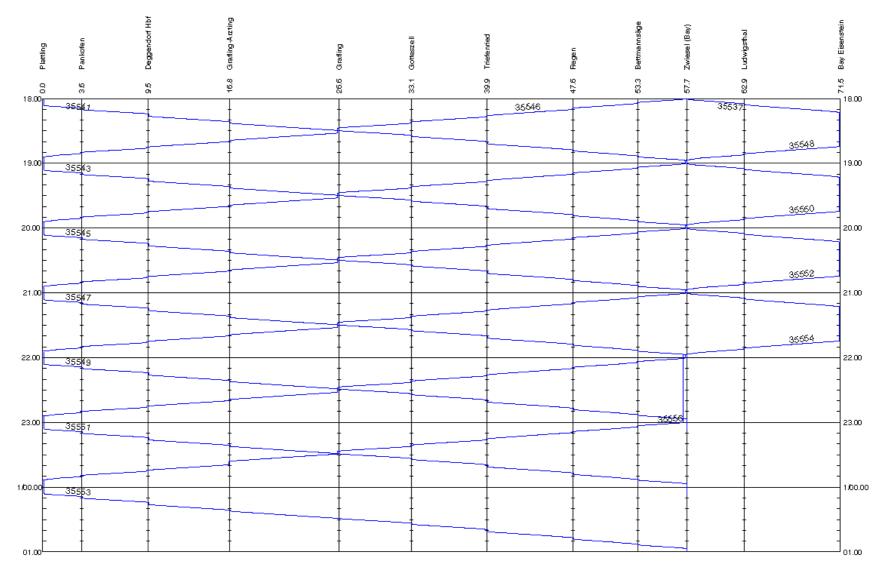




Anlage 2: Bildfahrplan RB 35 Plattling - Bayerisch Eisenstein, 11:00 Uhr - 18:00 Uhr



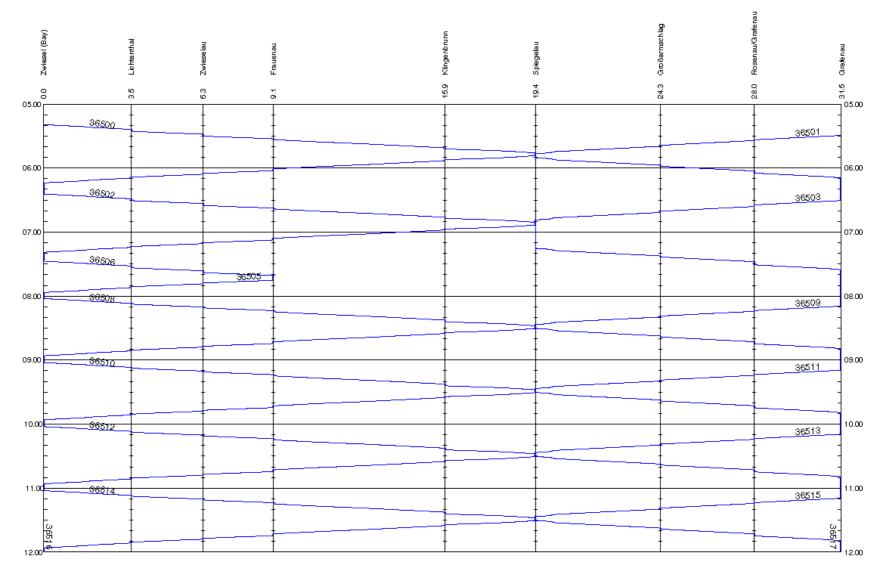




Anlage 3: Bildfahrplan RB 35 Plattling - Bayerisch Eisenstein, 18:00 Uhr - Ende



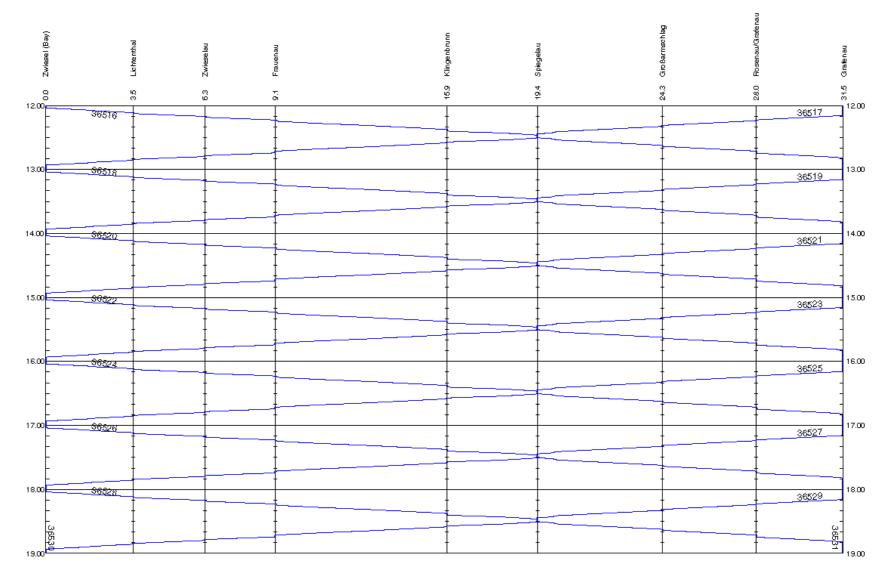




Anlage 4: Bildfahrplan RB 36 Zwiesel - Grafenau, 05:00 Uhr - 12:00 Uhr



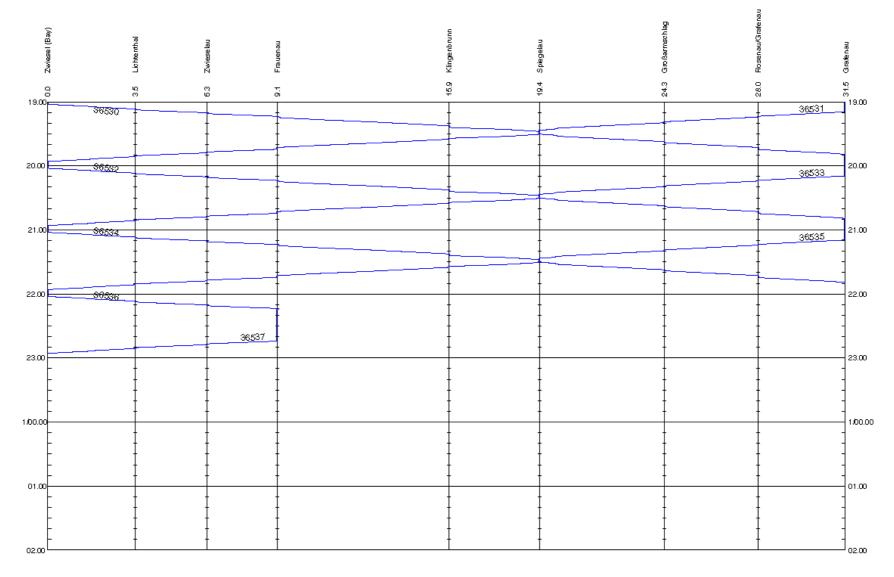




Anlage 5: Bildfahrplan RB 36 Zwiesel - Grafenau, 12:00 Uhr - 19:00 Uhr



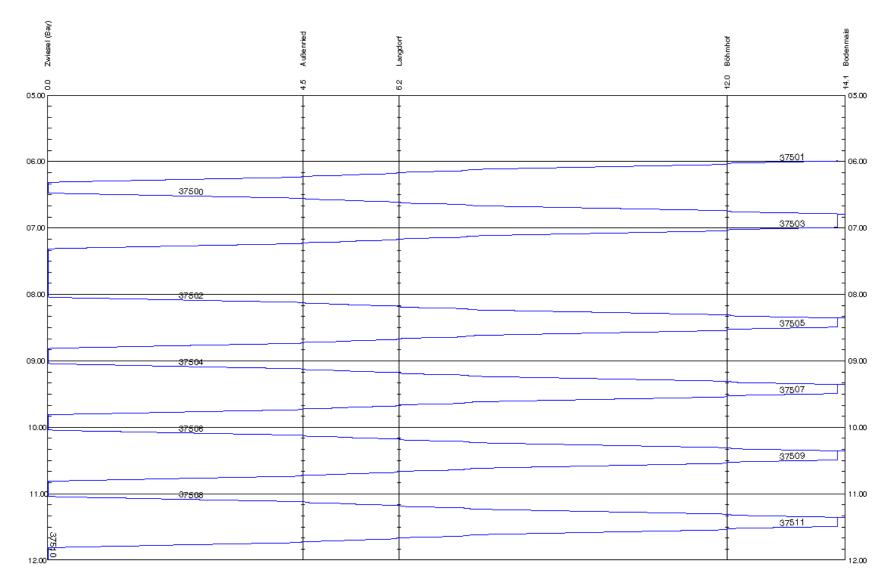




Anlage 6: Bildfahrplan RB 36 Zwiesel - Grafenau, 19:00 Uhr - Ende



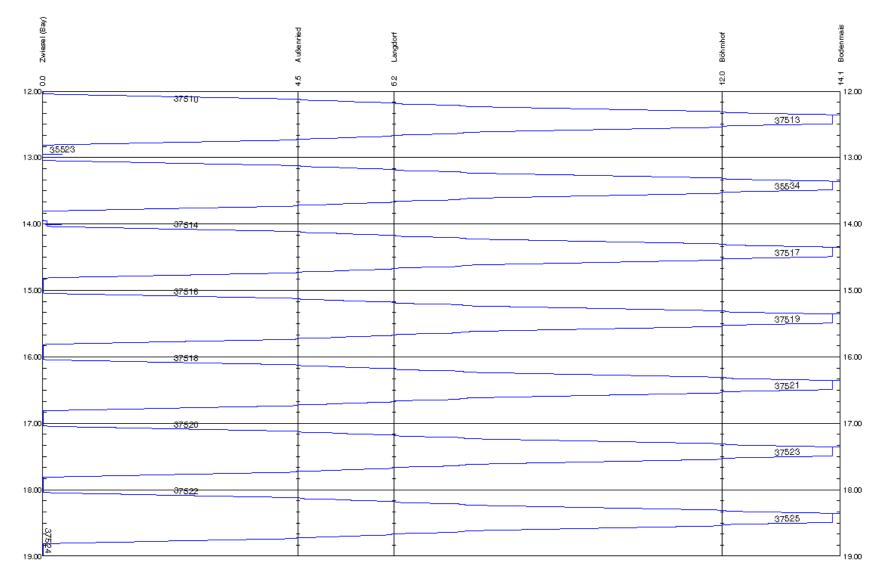




Anlage 7: Bildfahrplan RB 37 Zwiesel - Bodenmais, 05:00 Uhr - 12:00 Uhr



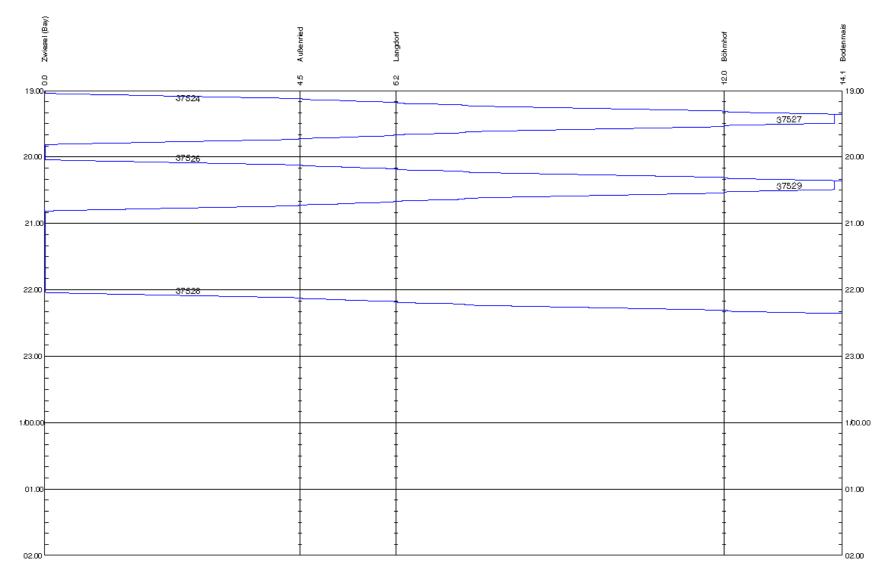




Anlage 8: Bildfahrplan RB 37 Zwiesel - Bodenmais, 12:00 Uhr - 19:00 Uhr



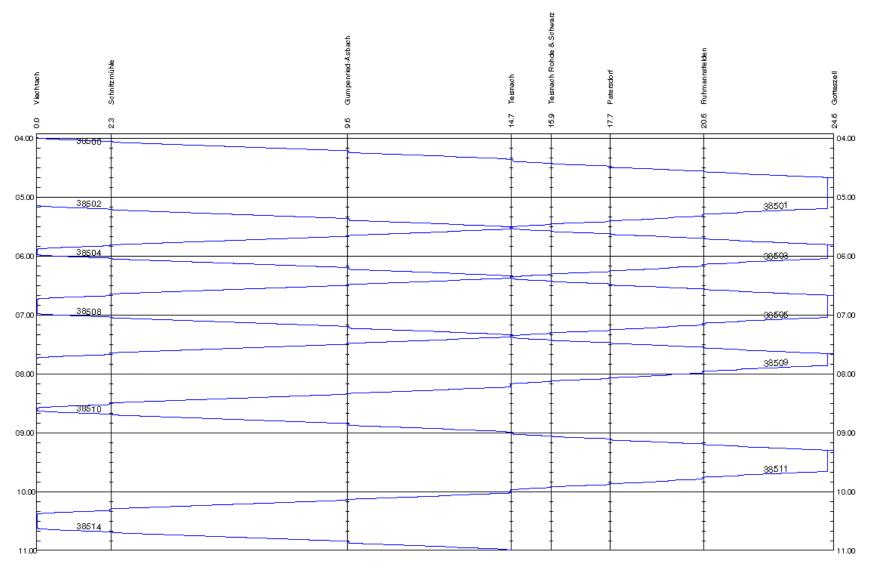




Anlage 9: Bildfahrplan RB 37 Zwiesel - Bodenmais, 19:00 Uhr - Ende



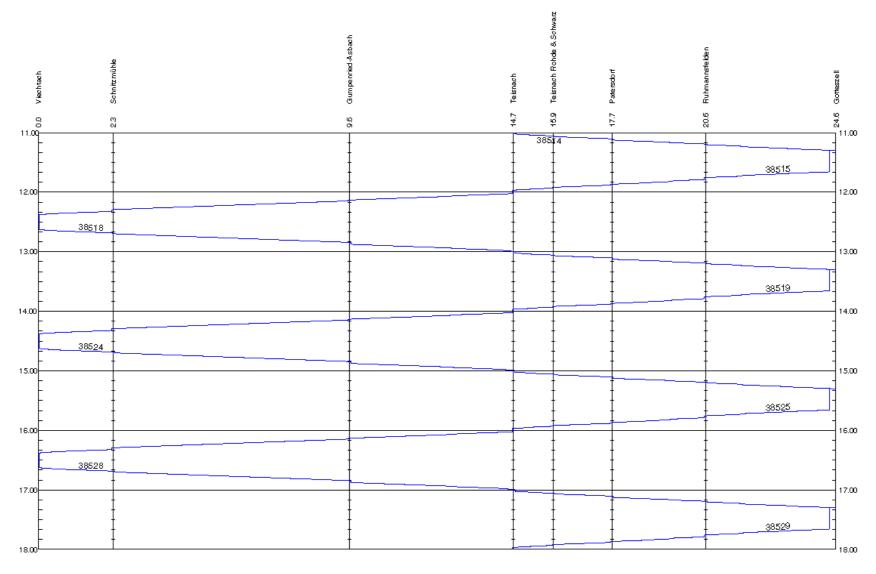




Anlage 10: Bildfahrplan RB 38 Viechtach - Gotteszell, 04:00 Uhr - 11:00 Uhr



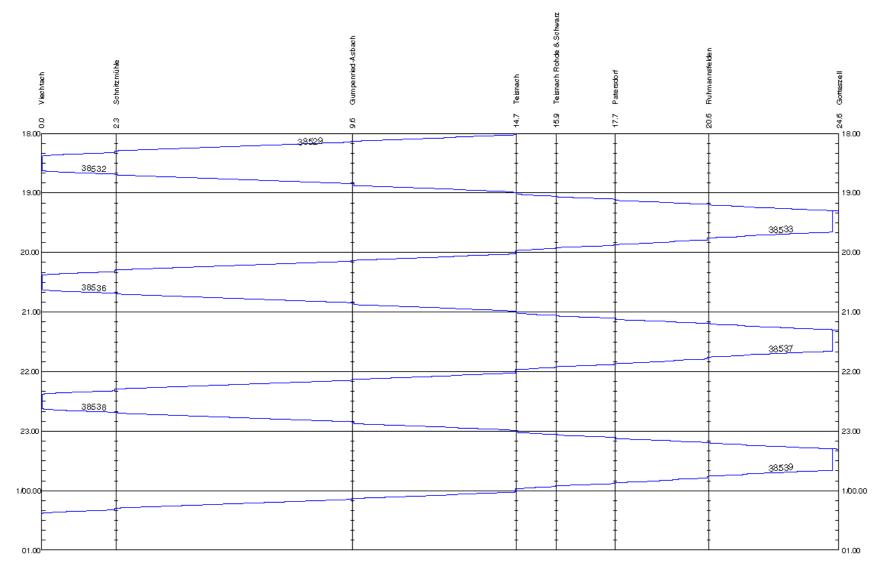




Anlage 11: Bildfahrplan RB 38 Viechtach - Gotteszell, 11:00 Uhr - 18:00 Uhr







Anlage 12: Bildfahrplan RB 38 Viechtach - Gotteszell, 18:00 Uhr - Ende





Anlage 13: Energiebedarf und SOC-Bilanzen – BEG-Variante 1

	Fahrtzeit/ Streckenlänge	spez. Energiebedarf/km Lade/Entlade- Leistung	benötigte/nach geladene Energie in kWh	resultierender Batterieinhalt in kWh 495	resultierender SOC in %
RB 35		Loistung		400	3070
Fahrtstrecke Plattling - Zwiesel	57.75 km	-5.86 kWh/km	-338	157	28%
Standzeit in Zwiesel	1 min	1200 kW	18	174	32%
Fahrtstrecke Zwiesel - Bayerisch Eisenstein	13.78 km	-7.12 kWh/km	-	76	14%
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	26 min	-90 kW	-40	36	7%
Fahrtstrecke Bayerisch Eisenstein - Zwiesel	13.78 km	-0.92 kWh/km	-	23	4%
Standzeit in Zwiesel	1 min	1200 kW	18	41	8%
Fahrtstrecke Zwiesel - Plattling	57.75 km	-2.89 kWh/km	-167	-126	-23%
Standzeit in Plattling	11 min	1200 kW	196	71	13%
Fahrtstrecke Plattling - Zwiesel	57.75 km	-5.86 kWh/km	-338	-268	-49%
Standzeit in Zwiesel	1 min	1200 kW	18	-250	-45%
Fahrtstrecke Zwiesel - Bayerisch Eisenstein	13.78 km	-7.12 kWh/km	-98	-348	-63%
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	26 min	-90 kW	-40	-388	-71%
Fahrtstrecke Bayerisch Eisenstein - Zwiesel	13.78 km	-0.92 kWh/km	-13	-401	-73%
Standzeit in Zwiesel	1 min	1200 kW	18	-383	-70%
Fahrtstrecke Zwiesel - Plattling	57.75 km	-2.89 kWh/km	-167	-550	-100%
RB 36		kWh/km		495	90%
Fahrtstrecke Zwiesel - Grafenau	31.48 km	-5.2 kWh/km	-164	331	60%
Standzeit in Grafenau	19 min	-90 kW	-29	302	55%
Fahrtstrecke Grafenau - Zwiesel	31.48 km	-4.22 kWh/km	-	169	31%
Standzeit in Zwiesel	5 min	1200 kW	89	258	47%
Fahrtstrecke Zwiesel - Grafenau	31.48 km	-5.2 kWh/km		95	17%
Standzeit in Grafenau	19 min	-90 kW	-29	65	12%
Fahrtstrecke Grafenau - Zwiesel	31.48 km	-4.22 kWh/km	-133	-68	-12%
Standzeit in Zwiesel	5 min	1200 kW	89	22	4%
RB 37		kWh/km		495	90%
Fahrtstrecke Zwiesel - Bodenmais	14.14 km	-7.12 kWh/km	-101	394	72%
Standzeit in Bodenmais	6 min	-90 kW	-9	385	70%
Fahrtstrecke Bodenmais - Zwiesel	14.14 km	-2.81 kWh/km	-40	345	63%
Standzeit in Zwiesel	12 min	1200 kW	214	495	90%
Fahrtstrecke Zwiesel - Bodenmais	14.14 km	-7.12 kWh/km	-101	394	72%
Standzeit in Bodenmais	6 min	-90 kW	-9	385	70%
Fahrtstrecke Bodenmais - Zwiesel	14.14 km	-2.81 kWh/km	-40	345	63%
Standzeit in Zwiesel	12 min	1200 kW	214	495	90%
RB 38		kWh/km		495	90%
Fahrtstrecke Gotteszell - Viechtach	25.01 km	-1.13 kWh/km	-28	467	85%
Standzeit in Viechtach	15 min	1200 kW	268	495	90%
Fahrtstrecke Viechtach - Gotteszell	25.01 km	-8.89 kWh/km	-222	273	50%
Standzeit in Gotteszell	21 min	-90 kW	-32	240	44%
Fahrtstrecke Gotteszell - Viechtach	25.01 km	-1.13 kWh/km	-28	212	39%
Standzeit in Viechtach	15 min	1200 kW	268	480	87%
Fahrtstrecke Viechtach - Gotteszell	25.01 km	-8.89 kWh/km	-222	257	47%
Standzeit in Gotteszell	21 min	-90 kW	-32	225	41%



Anlage 14: Energiebedarf und SOC-Bilanzen – BEG-Variante 2

	Fahrtzeit/ Streckenlänge	spez. Energiebedarf/km Lade/Entlade-	benötigte/nach geladene Energie in kWh	resultierender Batterieinhalt in kWh	resultierender SOC in %
		Leistung	Ellergie III KWII	495	90%
RB 35					
Fahrtstrecke Plattling - Zwiesel	57.75 km	-5.86 kWh/km	-338	157	28%
Standzeit in Zwiesel	3 min	-90 kW	-5	152	28%
Fahrtstrecke Zwiesel - Bayerisch Eisenstein	13.78 km	-7.12 kWh/km	-98	54	10%
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	26 min	1200 kW	464	495	90%
Fahrtstrecke Bayerisch Eisenstein - Zwiesel	13.78 km	-0.92 kWh/km	-13	482	88%
Standzeit in Zwiesel	3 min	-90 kW	-5	478	87%
Fahrtstrecke Zwiesel - Plattling	57.75 km	-2.89 kWh/km	-167	311	57%
Standzeit in Plattling	11 min	1200 kW	196	495	90%
Fahrtstrecke Plattling - Zwiesel	57.75 km	-5.86 kWh/km	-338	157	28%
Standzeit in Zwiesel	3 min	-90 kW	-5	152	28%
Fahrtstrecke Zwiesel - Bayerisch Eisenstein	13.78 km	-7.12 kWh/km		54	10%
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	26 min	1200 kW	464	495	90%
Fahrtstrecke Bayerisch Eisenstein - Zwiesel	13.78 km	-0.92 kWh/km	-13	482	88%
Standzeit in Zwiesel	3 min	-90 kW	-5	478	87%
Fahrtstrecke Zwiesel - Plattling	57.75 km	-2.89 kWh/km	-	311	57%
RB 36/37		kWh/km		495	90%
Fahrtstrecke Grafenau - Zwiesel	31.48 km	-4.22 kWh/km	-133	362	66%
Standzeit in Zwiesel	12 min	-90 kW	-19	344	62%
Fahrtstrecke Zwiesel - Bodenmais	14.14 km	-7.12 kWh/km	-101	243	44%
Standzeit in Bodenmais	6 min	-90 kW	-9	234	42%
Fahrtstrecke Bodenmais - Zwiesel	14.14 km	-2.81 kWh/km	-40	194	35%
Standzeit in Zwiesel	12 min	-90 kW	-19	175	32%
Fahrtstrecke Zwiesel - Grafenau	31.48 km	-5.2 kWh/km	-164	12	2%
Standzeit in Grafenau	19 min	1200 kW	339	351	64%
Fahrtstrecke Grafenau - Zwiesel	31.48 km	-4.22 kWh/km		218	40%
Standzeit in Zwiesel	12 min	-90 kW	-19	199	36%
Fahrtstrecke Zwiesel - Bodenmais	14.14 km	-7.12 kWh/km	-101	99	18%
Standzeit in Bodenmais	6 min	-90 kW	-9	89	16%
Fahrtstrecke Bodenmais - Zwiesel	14.14 km	-2.81 kWh/km	-40	50	9%
Standzeit in Zwiesel	12 min	-90 kW	-19	31	6%
Fahrtstrecke Zwiesel - Grafenau	31.48 km	-5.2 kWh/km	-164	-133	-24%
Standzeit in Grafenau	19 min	1200 kW	339	207	38%
RB 38		kWh/km		495	90%
Fahrtstrecke Gotteszell - Viechtach	25.01 km	-1.13 kWh/km		467	85%
Standzeit in Viechtach	15 min	1200 kW	268	495	90%
Fahrtstrecke Viechtach - Gotteszell	25.01 km	-8.89 kWh/km		273	50%
Standzeit in Gotteszell	21 min	-90 kW	-32	240	44%
Fahrtstrecke Gotteszell - Viechtach	25.01 km	-1.13 kWh/km		212	39%
Standzeit in Viechtach	15 min	1200 kW	268	480	87%
Fahrtstrecke Viechtach - Gotteszell	25.01 km	-8.89 kWh/km		257	47%
Standzeit in Gotteszell	21 min	-90 kW	-32	225	41%



Anlage 15: Energiebedarf und SOC-Bilanzen – BEG-Variante 3

			l		l
	Fahrtzeit/ Streckenlänge	spez. Energiebedarf/km Lade/Entlade-	benötigte/nach geladene Energie in kWh	resultierender Batterieinhalt in kWh	resultierender SOC in %
		Leistung	Ellergie III KWII	495	90%
RB 35					
Fahrtstrecke Plattling - Zwiesel	57.75 km	-5.86 kWh/km	-338	157	28%
Standzeit in Zwiesel	3 min	-90 kW	-5	152	28%
Fahrtstrecke Zwiesel - Bayerisch Eisenstein	13.78 km	-7.12 kWh/km	-98	54	10%
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	26 min	1200 kW	464	495	90%
Fahrtstrecke Bayerisch Eisenstein - Zwiesel	13.78 km	-0.92 kWh/km	-13	482	88%
Standzeit in Zwiesel	3 min	-90 kW	-5	478	87%
Fahrtstrecke Zwiesel - Plattling	57.75 km	-2.89 kWh/km	-167	311	57%
Standzeit in Plattling	11 min	1200 kW	196	495	90%
Fahrtstrecke Plattling - Zwiesel	57.75 km	-5.86 kWh/km	-338	157	28%
Standzeit in Zwiesel	3 min	-90 kW	-5	152	28%
Fahrtstrecke Zwiesel - Bayerisch Eisenstein	13.78 km	-7.12 kWh/km	-98	54	10%
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	26 min	1200 kW	464	495	90%
Fahrtstrecke Bayerisch Eisenstein - Zwiesel	13.78 km	-0.92 kWh/km	-13	482	88%
Standzeit in Zwiesel	3 min	-90 kW	-5	478	87%
Fahrtstrecke Zwiesel - Plattling	57.75 km	-2.89 kWh/km	-167	311	57%
RB 36		kWh/km		495	90%
Fahrtstrecke Zwiesel - Grafenau	31.48 km	-5.2 kWh/km		331	60%
Standzeit in Grafenau	19 min	-90 kW	-29	302	55%
Fahrtstrecke Grafenau - Zwiesel	31.48 km	-90 kW -4.22 kWh/km		169	31%
Standzeit in Zwiesel	5 min	-4.22 KVVIVKIII 1200 kW	89	258	47%
Fahrtstrecke Zwiesel - Grafenau	31.48 km	-5.2 kWh/km		95	17%
Standzeit in Grafenau	19 min	-90 kW	-29	65	12%
Fahrtstrecke Grafenau - Zwiesel	31.48 km	-90 kW -4.22 kWh/km		-68	-12%
Standzeit in Zwiesel	5 1.46 KIII 5 min	1200 kW	-133 89	-66 22	-12% 4%
	3 111111				
RB 37		kWh/km	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	495	90%
Fahrtstrecke Zwiesel - Bodenmais	14.14 km	-7.12 kWh/km		394	72%
Standzeit in Bodenmais	6 min	-90 kW	-9	385	70%
Fahrtstrecke Bodenmais - Zwiesel	14.14 km	-2.81 kWh/km		345	63%
Standzeit in Zwiesel	12 min	1200 kW	214	495	90%
Fahrtstrecke Zwiesel - Bodenmais	14.14 km	-7.12 kWh/km	_	394	72%
Standzeit in Bodenmais	6 min	-90 kW	-9	385	70%
Fahrtstrecke Bodenmais - Zwiesel	14.14 km	-2.81 kWh/km	-	345	63%
Standzeit in Zwiesel	12 min	1200 kW	214	495	90%
RB 38		kWh/km		495	90%
Fahrtstrecke Gotteszell - Viechtach	25.01 km	-1.13 kWh/km	-28	467	85%
Standzeit in Viechtach	15 min	1200 kW	268	495	90%
Fahrtstrecke Viechtach - Gotteszell	25.01 km	-8.89 kWh/km	-222	273	50%
Standzeit in Gotteszell	21 min	-90 kW	-32	240	44%
Fahrtstrecke Gotteszell - Viechtach	25.01 km	-1.13 kWh/km	-28	212	39%
Standzeit in Viechtach	15 min	1200 kW	268	480	87%
Fahrtstrecke Viechtach - Gotteszell	25.01 km	-8.89 kWh/km	-222	257	47%
Standzeit in Gotteszell	21 min	-90 kW	-32	225	41%



Anlage 16: Energiebedarf und SOC-Bilanzen – BEG-Variante 4

	Fahrtzeit/ Streckenlänge	spez. Energiebedarf/km Lade/Entlade-	benötigte/nach geladene Energie in kWh	resultierender Batterieinhalt in kWh	resultierender SOC in %
		Leistung	Liter gie in kwii	495	90%
RB 35					
Fahrtstrecke Plattling - Zwiesel	57.75 km	-5.86 kWh/km		157	28%
Standzeit in Zwiesel	3 min	-90 kW	-5	152	28%
Fahrtstrecke Zwiesel - Bayerisch Eisenstein	13.78 km	-7.12 kWh/km	_	54	10%
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	26 min	1200 kW	464	495	90%
Fahrtstrecke Bayerisch Eisenstein - Zwiesel	13.78 km	-0.92 kWh/km	_	482	88%
Standzeit in Zwiesel	3 min	-90 kW	-5	478	87%
Fahrtstrecke Zwiesel - Plattling	57.75 km	-2.89 kWh/km		311	57%
Standzeit in Plattling	11 min	1200 kW	196	495	90%
Fahrtstrecke Plattling - Zwiesel	57.75 km	-5.86 kWh/km		157	28%
Standzeit in Zwiesel	3 min	-90 kW	-5	152	28%
Fahrtstrecke Zwiesel - Bayerisch Eisenstein	13.78 km	-7.12 kWh/km	-98	54	10%
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	26 min	1200 kW	464	495	90%
Fahrtstrecke Bayerisch Eisenstein - Zwiesel	13.78 km	-0.92 kWh/km	-13	482	88%
Standzeit in Zwiesel	3 min	-90 kW	-5	478	87%
Fahrtstrecke Zwiesel - Plattling	57.75 km	-2.89 kWh/km	-167	311	57%
RB 36		kWh/km		495	90%
Fahrtstrecke Zwiesel - Grafenau	31.48 km	-5.2 kWh/km	-164	331	60%
Standzeit in Grafenau	19 min	1200 kW	339	495	90%
Fahrtstrecke Grafenau - Zwiesel	31.48 km	-4.22 kWh/km	-133	362	66%
Standzeit in Zwiesel	5 min	-90 kW	-8	354	64%
Fahrtstrecke Zwiesel - Grafenau	31.48 km	-5.2 kWh/km	-164	191	35%
Standzeit in Grafenau	19 min	1200 kW	339	495	90%
Fahrtstrecke Grafenau - Zwiesel	31.48 km	-4.22 kWh/km	-133	362	66%
Standzeit in Zwiesel	5 min	-90 kW	-8	354	64%
RB 37		kWh/km		495	90%
Fahrtstrecke Zwiesel - Bodenmais	14.14 km	-7.12 kWh/km	-101	394	72%
Standzeit in Bodenmais	6 min	-90 kW	-9	385	70%
Fahrtstrecke Bodenmais - Zwiesel	14.14 km	-2.81 kWh/km	-40	345	63%
Standzeit in Zwiesel	12 min	1200 kW	214	495	90%
Fahrtstrecke Zwiesel - Bodenmais	14.14 km	-7.12 kWh/km	-101	394	72%
Standzeit in Bodenmais	6 min	-90 kW	-9	385	70%
Fahrtstrecke Bodenmais - Zwiesel	14.14 km	-2.81 kWh/km	-40	345	63%
Standzeit in Zwiesel	12 min	1200 kW	214	495	90%
RB 38		kWh/km		495	90%
Fahrtstrecke Gotteszell - Viechtach	25.01 km	-1.13 kWh/km	-28	467	85%
Standzeit in Viechtach	15 min	-90 kW	-20	447	81%
Fahrtstrecke Viechtach - Gotteszell	25.01 km	-8.89 kWh/km	-222	224	41%
Standzeit in Gotteszell	21 min	1200 kW	433	495	90%
Fahrtstrecke Gotteszell - Viechtach	25.01 km	-1.13 kWh/km	-28	467	85%
Standzeit in Viechtach	15 min	-90 kW	-20	447	81%
Fahrtstrecke Viechtach - Gotteszell	25.01 km	-8.89 kWh/km	-222	224	41%
Standzeit in Gotteszell	21 min	1200 kW	433	495	90%



Anlage 17: Energiebedarf und SOC-Bilanzen – BEG-Variante 5

	Fahrtzeit/ Streckenlänge	spez. Energiebedarf/km Lade/Entlade-	benötigte/nach geladene Energie in kWh	resultierender Batterieinhalt in kWh	resultierender SOC in %
		Leistung	g.c	495	90%
RB 35		~~~~			
Fahrtstrecke Plattling - Zwiesel	57.75 km	-5.86 kWh/km		157	28%
Standzeit in Zwiesel	3 min	-90 kW	-5	152	28%
Fahrtstrecke Zwiesel - Bayerisch Eisenstein	13.78 km	-7.12 kWh/km	-98	54	10%
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	26 min	1200 kW	464	495	90%
Fahrtstrecke Bayerisch Eisenstein - Zwiesel	13.78 km	-0.92 kWh/km	_	482	88%
Standzeit in Zwiesel	3 min	-90 kW	-5	478	87%
Fahrtstrecke Zwiesel - Plattling	57.75 km	-2.89 kWh/km		311	57%
Standzeit in Plattling	11 min	1200 kW	196	495	90%
Fahrtstrecke Plattling - Zwiesel	57.75 km	-5.86 kWh/km		157	28%
Standzeit in Zwiesel	3 min	-90 kW	-5	152	28%
Fahrtstrecke Zwiesel - Bayerisch Eisenstein	13.78 km	-7.12 kWh/km	-	54	10%
Standzeit in Bayerisch Eisenstein	26 min	1200 kW	464	495	90%
Fahrtstrecke Bayerisch Eisenstein - Zwiesel	13.78 km	-0.92 kWh/km	<u> </u>	482	88%
Standzeit in Zwiesel	3 min	-90 kW	-5	478	87%
Fahrtstrecke Zwiesel - Plattling	57.75 km	-2.89 kWh/km	-167	311	57%
RB 36		kWh/km		495	90%
Fahrtstrecke Zwiesel - Grafenau	31.48 km	-5.2 kWh/km	-164	331	60%
Standzeit in Grafenau	19 min	1200 kW	339	495	90%
Fahrtstrecke Grafenau - Zwiesel	31.48 km	-4.22 kWh/km	-133	362	66%
Standzeit in Zwiesel	5 min	-90 kW	-8	354	64%
Fahrtstrecke Zwiesel - Grafenau	31.48 km	-5.2 kWh/km	-164	191	35%
Standzeit in Grafenau	19 min	1200 kW	339	495	90%
Fahrtstrecke Grafenau - Zwiesel	31.48 km	-4.22 kWh/km	-133	362	66%
Standzeit in Zwiesel	5 min	-90 kW	-8	354	64%
RB 37		kWh/km		495	90%
Fahrtstrecke Zwiesel - Bodenmais	14.14 km	-7.12 kWh/km	-101	394	72%
Standzeit in Bodenmais	6 min	1200 kW	107	495	90%
Fahrtstrecke Bodenmais - Zwiesel	14.14 km	-2.81 kWh/km	-40	455	83%
Standzeit in Zwiesel	12 min	-90 kW	-19	437	79%
Fahrtstrecke Zwiesel - Bodenmais	14.14 km	-7.12 kWh/km	-101	336	61%
Standzeit in Bodenmais	6 min	1200 kW	107	443	81%
Fahrtstrecke Bodenmais - Zwiesel	14.14 km	-2.81 kWh/km	-40	403	73%
Standzeit in Zwiesel	12 min	-90 kW	-19	385	70%
RB 38		kWh/km		495	90%
Fahrtstrecke Gotteszell - Viechtach	25.01 km	-1.13 kWh/km	-28	467	85%
Standzeit in Viechtach	15 min	1200 kW	268	495	90%
Fahrtstrecke Viechtach - Gotteszell	25.01 km	-8.89 kWh/km	-222	273	50%
Standzeit in Gotteszell	21 min	-90 kW	-32	240	44%
Fahrtstrecke Gotteszell - Viechtach	25.01 km	-1.13 kWh/km	-28	212	39%
Standzeit in Viechtach	15 min	1200 kW	268	480	87%
Fahrtstrecke Viechtach - Gotteszell	25.01 km	-8.89 kWh/km	-222	257	47%
Standzeit in Gotteszell	21 min	-90 kW	-32	225	41%



Anlage 18: Referenzfahrzeugtabelle der DB Netz AG für die Alstom-Lint-Fahrzeugfamilie

Fahrzeugkennzeichnung		Radsatz	lastdate	n (Außer	gewöhnli	che Zula	ıdung) fü	r erste E	inheit				
Fahrzeugbezeichnung	Strecken-	1. Rad-	2. Rad-	3. Rad-	4. Rad-	5. Rad-	6. Rad-	7. Rad-	8. Rad-	9. Rad-	10. Rad-	11. Rad-	12. Rad-
	klasse	satz	satz	satz	satz	satz	satz	satz	satz	satz	satz	satz	satz
		[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
LINT 41-2 Abellio RB 47 (LINT 41-2 Abellio II) 1648	В	16.3	15.9	17.9	17.9	15.7	16.1						
Dieselnetz Süd-West (LINT 41-2 DNSW) 1648	С	16.6	16.2	18.7	18.7	16.5	16.9						
LINT 41-2 DB Regio MV Dieselnetz Ost-West (LINT 41-2 DNOW) 0623	В	16.8	16.3	18.0	18.0	16.0	16.5						
LINT 41-2 HLB Efrt-Wesretwald-Sieg / Regentalbahn (LINT 41-2 EWS /RTB) 1648	С	16.7	16.2	18.5	18.5	16.3	16.7						
LINT 41-2 VIAS Erft-Schwalm Netz HF (LINT 41-2 ESN) 1648	С	16.4	16.0	18.1	18.1	16.1	16.4						
LINT 41-2 NWB LNVG VIII (LINT 41-2 LNVG VIII) 1648	С	16.6	16.1	18.3	18.3	16.2	16.6						
LINT 41-2 Abellio Dieselnetz Sachsen-Anhalt (LINT 41-2 DISA) 1648	С	16.5	16.0	18.5	18.5	16.1	16.5						
LINT 41-2 XXX Dieselnetz Augsburg (LINT 41-2 DNA) 1648	С	16.4	16.0	18.6	18.6	16.2	16.7						
LINT 41-2 NJBA Danmark (LINT 41-2 NJBA) 1648	С	16.5	16.0	18.4	18.4	16.3	16.7						
LINT 54 DB Regio Dieselnetz Köln (LINT 54 DNK) + AKN Option 0622	В	17.2	16.8	15.6	15.8	16.7	16.6	17.1	17.4				
LINT 54 AKN 0622	В	17.4	17.0	15.8	16.0	16.7	16.7	17.1	17.5				
LINT 54 NETINERA SW0622	В	17.5	17.0	15.8	16.0	16.7	16.7	17.2	17.7				
LINT 54 VIAS Erft-Schwalm-Netz HF (LINT 54 ESN) 0622	В	17.2	16.8	15.3	15.5	16.4	16.4	17.2	17.6				
LINT 54 VIAS ESN Rurtalbahn NF (LINT 54 ESN-RUR) 0622	В	17.3	16.9	15.5	15.6	16.6	16.6	17.4	17.8				
LINT 54 VIAS ESN Odenwaldbahn NF (LINT 54 ESN-ODW) 0622	В	17.4	17.0	15.5	15.6	16.5	16.5	17.3	17.7				
LINT 54 TRANSDEV Dieselnetz Augsburg BRB - NF (LINT 54 DNA) 0622	В	17.2	16.8	15.6	15.7	16.7	16.7	17.3	17.7				
LINT 54 LNVG VII 0622	В	17.2	16.8	14.7	14.8	14.8	14.6	16.9	17.3				
iLINT 54 Prototypen 0654 101and 0654 102	В	17.1	16.8	17.3	17.4	17.5	17.3	17.2	17.6				
LINT 81 DB Regio Dieselnetz Köln (LINT 81 DNK) 0620/0621	В	17.2	16.8	15.6	15.8	16.2	16.2	14.9	15.0	16.7	16.6	17.1	17.4
LINT 81 NETINERA Vexx (LINT 81 NETINERA) 0620/0621	В	17.4	16.9	15.5	15.7	16.5	16.5	15.1	15.2	16.7	16.7	17.2	17.7
LINT 81 TRANSDEV Dieselnetz Augsburg BRB (LINT 81 DNA) 0620/0621	В	17.1	16.7	16.0	16.2	17.0	17.0	15.7	15.8	16.9	16.9	17.2	17.6
	Relevant für Streckenklasse bei Triebewagen: Radsatzlast, nicht jedoch Meterla							erlast					
	Streckenklasse A max. Radsa					16.0	t	<	5.0	t/m			
		Streckenklasse B1		max	x. Rads	atzlast:	<	18.0	t	<	5.0	t/m	
		Strecke	enklasse	e B2	max	x. Rads	atzlast:	<	18.0	t	<	6.4	t/m
		Strecke	enklasse	e C2	max	x. Rads	atzlast:	<	20.0	t	<	6.4	t/m
			enklasse			x. Rads					<	7.2	t/m
		Strecke	enklasse	e C4	max	x. Rads	atzlast:	<	20.0	t	<	8.0	t/m



Anlage 19: RB 35 Oberleitungsverlängerung ab Plattling Variante 1 bis vor die Donaubrücke Deggendorf

Oberleitungsverlängerung ab Plattling Variante 1 → bis Brücke Deggendorf	Anzahl	Kosten	Kosten [€]
Investitionskosten gesamt	-	-	9.842.973
Instandhaltungskosten pro Jahr	0,5 %	-	49.215
Streckengleis Plattling – Brücke Deggendorf (eingleisig Typ Re200)	7,5 km	610.541 €/km	4.579.058
zusätzliche zu elektrifizierende Bahnhofsgleise	-	-	-
Summe Oberleitungsanlage	-	-	4.579.058
Anpassung Eisenbahn-/Straßenüberführungen (EÜ/SÜ) & Bahnübergänge (BÜ) (s.u.)	-	-	3.313.128
Erdungs- & Rückleitungsanlagen Gleis	7,5 km	23.039 €/km	172.795
Anpassung Erdungskonzept der Bahnsteige (Bstg.) an Haltepunkten & Bahnhöfen → Pankofen	1 Bstg.	16.099 €/Bstg.	16.099
Netzanschluss (Einbindung Plattling: Kabel, Mastschalter)	-	-	121.397
Planungsleistung (überschlägig ca. 20 %)	-	-	1.640.496



Anlage 20: RB 35 Oberleitungsverlängerung ab Plattling – Bauwerke im Abschnitt Plattling – Deggendorf Hbf

Bauwerke im Abschnitt Plattling – Deggendorf Hbf	Maßnahme	Kosten in EUR
BÜ Scheiblerstraße Plattling	Technische Anpassung an Beeinflussung durch Oberleitung	102.564
SÜ BAB 92 (bestehend aus 2 Brücken)	Gleisabsenkung nötig, Berührschutz, Anpassung Erdung	1.243.200
2 Fußgängerüberführungen am Hp Pankofen	jeweils Berührschutz, Anpassung Erdung → ggf. sogar höher setzen oder vollständiger Neubau nötig	621.600
BÜ am Haltepunkt Pankofen	Technische Anpassung an Beeinflussung durch Oberleitung	102.564
SÜ St 2124 (lange EÜ)	Berührschutz, Anpassung Erdung	621.600
EÜ BAB 3 (lange EÜ)	Anpassung Erdung	310.800
EÜ Hauptstraße Fischerdorf/Deggendorf (lange EÜ)	Anpassung Erdung	310.800
NUR BEI VARIANTE 2: EÜ Neusiedler Straße Deggendorf (lange EÜ)	Anpassung Erdung	310.800



Anlage 21: RB 35 Oberleitungsverlängerung ab Plattling Variante 2 bis Deggendorf Hbf

Oberleitungsverlängerung ab Plattling Variante 2 → bis Deggendorf Hbf	Anzahl	Kosten	Kosten [€]
Investitionskosten gesamt			14.502.153
Instandhaltungskosten pro Jahr	0,5 %		72.511
Streckengleis Plattling –Deggendorf Hbf (eingleisig Typ Re200)	8,27 km	610.541 €/km	5.049.175
zusätzliche zu elektrifizierende Bahnhofsgleise (nahezu alle Gleise Deggendorf Hbf)	3,47 km	610.541 €/km	2.118.578
Weichenbespannungen (je 3 im nördlichen und südlichen Bahnhofskopf Deggendorf Hbf)	6	53,665 €/Weiche	321.989
Spezialausführung Masten (Oberleitungs-Feldlängen auf Donaubrücke)	8	64,398 €/Feld	515.182
Summe Oberleitungsanlage	-	-	8.004.923
Anpassung Eisenbahn-/Straßenüberführungen (EÜ/SÜ) & Bahnübergänge (BÜ) (s.u.)	-	-	3.623.928
Erdungs- & Rückleitungsanlagen Gleis	11,74 km	23.039 €/km	270.481
Anpassung Erdungskonzept der Bahnsteige an Haltepunkten & Bahnhöfen → 1 Bstg. Pankofen, 3. BstgKanten Deggendorf Hbf	4 Bstg.	16.099 €/Bstg.	64.398
Netzanschluss (Einbindung Plattling: Kabel, Mastschalter)	-	-	121.397
Planungsleistung (überschlägig ca. 20 %)	-	-	2.417.025



Anlage 22: RB 35/36/37 Oberleitungsinselanlage Zwiesel (Bettmannsäge – Ludwigsthal)

Oberleitungsinselanlage Zwiesel	Anzahl	Kosten	Kosten [€]
Investitionskosten gesamt			25.252.292
Instandhaltungskosten pro Jahr	0,5 %		126.261
Streckengleis Bettmannsäge – Zwiesel - Ludwigsthal (eingleisig Typ Re100)	8,6 km	411.416 €/km	3.538.176
zusätzliche zu elektrifizierende Bahnhofsgleise (nahezu alle Gleise Zwiesel)	5,2 km	610.541 €/km	3.174.814
Weichenbespannungen (alle im Bahnhof Zwiesel)	10	53,665 €/Weiche	536.648
Spezialausführung Masten (Oberleitungs-Feldlängen auf Regenbrücke vor Ludwigsthal)	6	64,398 €/Feld	386.387
Umbau Bahnsteigdächer zur Freihaltung des freien Stromabnehmerdurchgangs	2	53.665	107.330
Summe Oberleitungsanlage	-	-	7.743.354
Anpassung Eisenbahn-/Straßenüberführungen (EÜ/SÜ) & Bahnübergänge (BÜ) (s.u.)	-	-	721.056
Neubau SÜ (SÜ Auenweg in Klautzenbach)	1	3.201.240 € /SÜ	3.201.240
Erdungs- & Rückleitungsanlagen Gleis	13,8 km	23.039 €/km	317.942
Anpassung Erdungskonzept der Bahnsteige an Haltepunkten & Bahnhöfen → 4 Bstg. Zwiesel, je 1 Bstg. in Bettmannsäge und Ludwigsthal	6 Bstg.	16.099 €/Bstg.	96.597
Umrichteranlage für 10 MW + 2 Mio. € für zusätzliche Trafo- & Schaltanlage in Bestands-Umspannwerk 110/20 kV	-	-	6.937.162
Umrichtergebäude & Baustelleneinrichtung	-	-	241.492
Baukostenzuschuss/ Netzanschluss Bayernwerk	-	-	121.397
doppeltes Mittelspannungskabel zur Anbindung Oberleitung und Rückleitung → Vorzugsvariante mit Anbindung am Klärwerk Zwiesel	4,7 km	172.795 €/km	812.135
Summe Energieversorgung	-	-	8.963.388
Planungsleistung (überschlägig ca. 20 %)	-	-	4.208.715





Anlage 23: RB 35/36/37 Oberleitungsinselanlage Zwiesel – Bauwerke im Abschnitt Bettmannsäge – Ludwigsthal

Bauwerke im Abschnitt Plattling – Deggendorf Hbf	Maßnahme	Kosten in EUR
BÜ am Haltepunkt Bettmannsäge	Technische Anpassung an Beeinflussung durch Oberleitung	102.564
EÜ im Wald nahe Bettmannsäge (kurze EÜ)	Anpassung Erdung	102.564
EÜ Klärwerk Zwiesel (kurze EÜ)	Anpassung Erdung	102.564
EÜ Schwarzer Regen und Langdorfer Straße bei Bahn-km 119,2	Technische Anpassungen im Zuge der Masterrichtung, Kosten getrennt berücksichtigt (s.o.)	-
EÜ Zwiesel Rabensteiner Straße in Zwiesel (kurze EÜ)	Anpassung Erdung	102.564
SÜ Auenweg Klautzenbach	Neubau: Kosten getrennt berücksichtigt (s.o.)	-
EÜ nördlich Klautzenbach (kurze EÜ)	Anpassung Erdung	102.564
EÜ Schwarzer Regen und Eisensteiner Straße bei Bahn km 123,2	Technische Anpassungen im Zuge der Masterrichtung, Kosten getrennt berücksichtigt (s.o.)	-
2x EÜ bei Haltepunkt Ludwigsthal → Straße nach Oberlindbergmühle und Schleicherstraße	Anpassung Erdung	205.128



Anlage 24: RB 35 Oberleitungsinselanlage Nyrsko (Bettmannsäge – Ludwigsthal)

Oberleitungsinselanlage Nyrsko	Anzahl	Kosten	Kosten [€]
Investitionskosten gesamt			7.040.000
Instandhaltungskosten pro Jahr	0,5 %		35.200
Streckengleis Petrovice nad Úhlavou – Dešenice (eingleisig Typ CZ) → hier inkl. Erdungsanpassung und Bahnsteiganpassungen	7,6 km	400.000 €/km	3.040.000
Summe Oberleitungsanlage inkl. Planungsleistung	-	-	3.040.000
Umspann-/Unterwerk von 110 kV/50 Hz auf 25 kV/50 Hz in Dešenice → hier inkl. Gebäude & Baustelleneinrichtung, Baukostenzuschuss, Netzanschluss etc.	-	-	4.000.000
Summe Energieversorgung inkl. Planungsleistung	-	-	4.000.000



Anlage 25: RB 36 Variante 1 Ladestation Grafenau

Ladestation Grafenau	Anzahl	Kosten	Kosten [€]
Investitionskosten gesamt			3.156.806
Instandhaltungskosten pro Jahr	0,5 %		15.784
Mastanzahl Grafenau	4 Maste	13.560 €/Mast	54.240
Kettenwerk Re100	75 m	110 €/m	8.250
Summe Oberleitungsanlage	-	-	78.589
Anpassung Erdungskonzept des Bahnsteigs (inkl. Gleis am Bstg. des Haltepunkts)	1 Bstg.	16.099 €/Bstg.	16.099
Umrichteranlage für 2,5 MW	-	-	2.039.262
Umrichtergebäude & Baustelleneinrichtung	-	-	241.492
Baukostenzuschuss/ Netzanschluss Bayernwerk	-	-	236.769
doppeltes Mittelspannungskabel zur Anbindung Oberleitung & Rückleitung (Pauschallänge)	0,2 km	172.795 €/km	34.559
Summe Energieversorgung	-	-	2.552.082
Planungsleistung (überschlägig ca. 20 %)	-	-	526.134



Anlage 26: RB 36 Variante 2 Ausbau Oberleitungsinselanlage Zwiesel

Ausbau OLIA Zwiesel bis Lichtenthal	Anzahl	Kosten	Kosten [€]
Investitionskosten gesamt			3.330.389
Instandhaltungskosten pro Jahr	0,5 %		16.652
Streckengleis Zwiesel – Lichtenthal (eingleisig Typ Re200)	3,1 km	411.416 €/km.	1.275.389
Weichenbespannungen (im westlichen Bahnhofskopf Zwiesel)	1	53,665 €/Weiche	53,665
Spezialausführung Masten (Oberleitungs-Feldlängen auf Brücke in Ortslage Zwiesel)	6	64,398 €/Feld	386.387
Summe Oberleitungsanlage	-	-	1.715.440
Anpassung Eisenbahnüberführungen (EÜ) & Bahnübergänge (BÜ) (s.u.)	-	-	724.164
Erdungs- & Rückleitungsanlagen Gleis	3,1 km	71.422 €/km	270.481
Anpassung Erdungskonzept der Bahnsteige an Haltepunkten & Bahnhöfen → Lichtenthal	1 Bstg.	16.099 €/Bstg.	16.099
Netzanschluss (Einbindung Zwiesel: Kabel, Mastschalter) + Verstärkung Baukostenzuschuss/ Netzanschluss Bayernwerk der OLIA Zwiesel für 1,7 MW Leistung (170.000 € auf 110-kV-Spannungsebene)	-	-	248.199
Planungsleistung (überschlägig ca. 20 %)	-	-	555.065



Anlage 27: RB 36 Ausbau Oberleitungsinselanlage Zwiesel – Bauwerke im Abschnitt Zwiesel – Lichtenthal

Bauwerke im Abschnitt Plattling – Deggendorf Hbf	Maßnahme	Kosten in EUR
EÜ/ Viadukt in der Ortslage Zwiesel bzw. über den Schwarzen Regen	Erdungsanpassung Viadukte Technische Anpassungen im Zuge der Masterrichtung, Kosten getrennt berücksichtigt (s.o.)	310.800
BÜ Glasberger Weg/ Einsiedeleistraße	Technische Anpassung an Beeinflussung durch Oberleitung	102.564
BÜ Feldzugänge Glasberger Weg bzw. Keilhofer GmbH	Technische Anpassung an Beeinflussung durch Oberleitung	102.564
BÜ Lohmannmühlenweg	Technische Anpassung an Beeinflussung durch Oberleitung	102.564
BÜ am Haltepunkt Lichtenthal/ Flanitzer Straße	Technische Anpassung an Beeinflussung durch Oberleitung	102.564



Anlage 28: RB 38 Variante 1 Ladestation Gotteszell

Ladestation Gotteszell (Elektrifizierung beider BstgGleise)	Anzahl	Kosten	Kosten [€]
Investitionskosten gesamt			3.381.745
Instandhaltungskosten pro Jahr	0,5 %		16.909
Mastanzahl Gotteszell	14 Maste	13.560 €/Mast	189.840
Kettenwerk Re100	400 m	110 €/m	44.000
Summe Oberleitungsanlage	-	-	233.840
Anpassung Erdungskonzept des Bahnsteigs (inkl. Gleis am Bstg. des Haltepunkts)	2 Bstg.	16.099 €/Bstg.	32.199
Umrichteranlage für 2,5 MW	-	-	2.039.262
Umrichtergebäude & Baustelleneinrichtung	-	-	241.492
Baukostenzuschuss/ Netzanschluss Bayernwerk	-	-	236.769
doppeltes Mittelspannungskabel zur Anbindung Oberleitung & Rückleitung (Pauschallänge)	0,2 km	172.795 €/km	34.559
Summe Energieversorgung	-	-	2.552.082
Planungsleistung (überschlägig ca. 20 %)	-	-	563.624



Anlage 29: RB 38 Variante 2 Ladestation Viechtach

Ladestation Viechtach	Anzahl	Kosten	Kosten [€]
Investitionskosten gesamt			3.301.012
Instandhaltungskosten pro Jahr	0,5 %		16.505
Mastanzahl Gotteszell	14 Maste	13.560 €/Mast	135.600
Kettenwerk Re100	200 m	110 €/m	22.000
Summe Oberleitungsanlage	-	-	157.600
Anpassung Erdungskonzept des Bahnsteigs (inkl. Gleis am Bstg. des Haltepunkts)	1 Bstg.	16.099 €/Bstg.	16.099
Umrichteranlage für 2,5 MW	-	-	2.039.262
Umrichtergebäude & Baustelleneinrichtung	-	-	241.492
Baukostenzuschuss/ Netzanschluss Bayernwerk → hier inkl. Leistung für abgestellte Fahrzeuge von 200 kW	-	-	261.831
doppeltes Mittelspannungskabel zur Anbindung Oberleitung & Rückleitung (Pauschallänge)	0,2 km	172.795 €/km	34.559
Summe Energieversorgung	-	-	2.577.144
Planungsleistung (überschlägig ca. 20 %)	-	-	550.169

<<Ende des Anlagenteils>>



