

Das Oberleitungsbussystem in Eberswalde - der Schritt zum Oberleitungs-Batteriehybridbus

1. Die Infrastruktur des Oberleitungsbussystems in Eberswalde

- Vorstellung des Unternehmens

**BBG (Barnimer Bus Gesellschaft mbH) mit Tochterunternehmen VSG:
240 Mitarbeiter, 116 Busse (Gelenk,-15m-, Solofahrzeuge)
davon: 12 Gelenkoberleitungshybridbusse (Solaris, Cegelec)**

**Versorgung des Landkreises "Barnim" (BAR) und "Märkisch-Oderland"(MOL)
Obusbetrieb in Eberswalde ab November 1940**

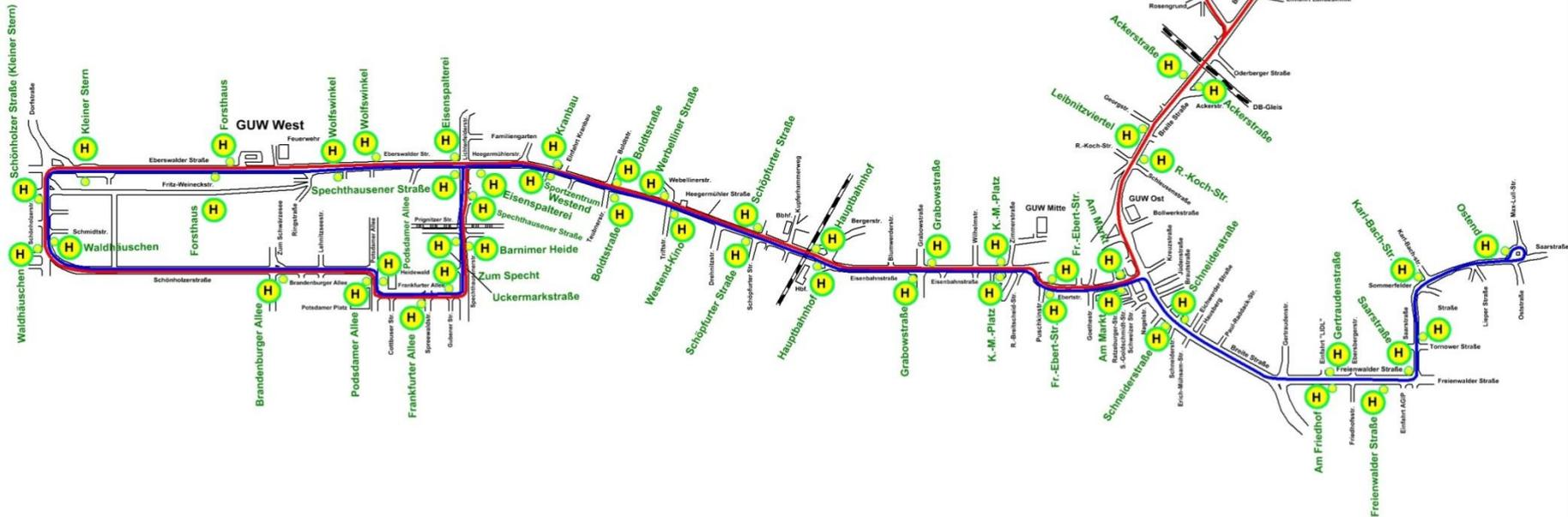
- Das Streckennetz

2 Linien: 861 Nordend (Umlauf 18,8km) und 862 Ostend (Umlauf 18,1km)

Elektrischer Stadtverkehr in Eberswalde

Linie 861 Nordend
(18,8 km)

Linie 862 Ostend
(18,1 km)



| Änderungen | | Datum | Name | Bezeichnung | Obuslinien | Blattzahl: 1 |
|------------|------|--------|----------|-------------|---|--------------|
| Datum | Name | gez.: | 16.01.13 | Rutscher | 861 862 | Blatt-Nr.: 1 |
| | | gepr.: | | | Streckenführung und Haltestellen | |
| | | | | | Zeichnungs-Nr.: 13/138002 | |

- Das Oberleitungsnetz in Eberswalde

3 Unterwerke: jeweils 3 Trafos 1000kVar, 10 kV/0,4 kV

Ölleistungsschalter SCI 1-10 (Bad Muskau)

Hersteller: VEB ELPRO- Anlagenbau Berlin

Baujahre 1985/1987/1989

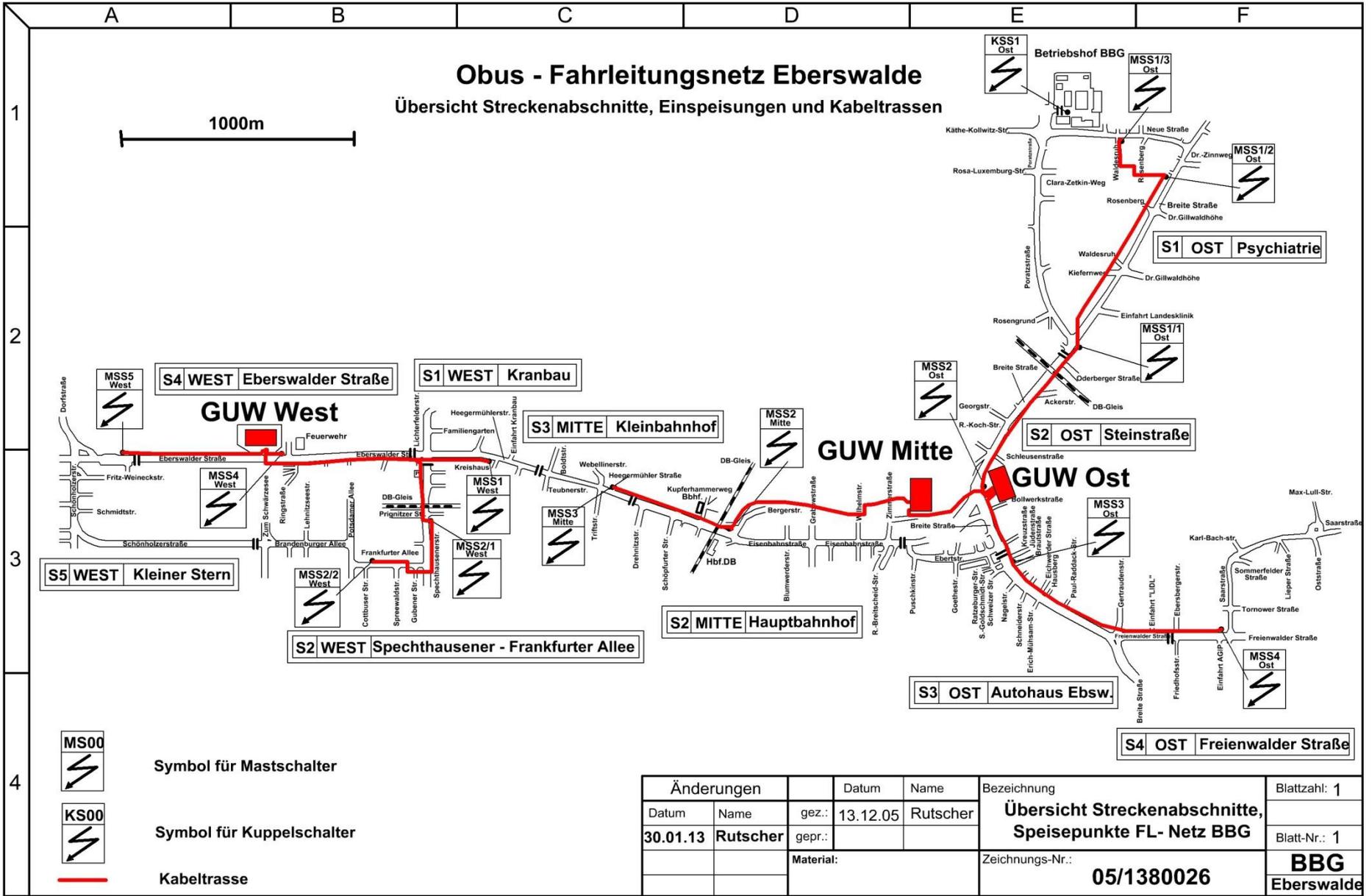
jeweils mehrere Streckenabgänge (3, 4, 6) möglich

realisiert: 11 Einspeiseabschnitte ohne Kuppelschalter

Das Kabelnetz: ca.56km im Erdreich, Kabeltyp NGH2YCaY Alu 500 qdmm

Mastschalter: grundsätzlich mechanisch mit ÜSA (Überspannungsableiter)

Fahrleitungsmaste: abgesetzter Stahlmast mit Firmenfarbe (BBG moosgrün)



- Die Fahrzeuge (Oberleitungsbusse Solaris/Cegelec)

11 Oberleitungs- Dieselhybridfahrzeuge

1 Sonderfahrzeug 063: Statt APU: Lithium-Ionen Batterie (BAT)

BAT: 2x 108 Zellen in Serie

Kapazität 200 Ah

Ausgangsspannung 308V-395V

Ladestrom max. 100 A

Entladestrom max. 400 A

Gesamtenergieinhalt 70,4 kWh

Ausnutzbare Energie 42,2 kWh (25-85%)

Höchstleistung 120 kW

**Gewicht der gesamten BAT-Anlage 1020 kg
(eigentliche Batterie 756 kg)**

O-Bus Solaris / Cegelec



Inv. Nr. 051 – 061 APU + SCAP

- 2010 - 3 Fahrzeuge
- 2011 - 6 Fahrzeuge
- 2012 - 2 Fahrzeuge

Inv. Nr. 063 BAT + SCAP

- 2012 - 1 Fahrzeug



| Technische Daten | | | |
|---------------------------------|---|--|--|
| O-Bus | SOLARIS Trollino 18 AC | | |
| Hersteller Mechanik | SOLARIS Bus & Coach S. A., Bolechowo-Osiedle (Poland) | Stromabnehmer | TSS 10.2/IV mit Schnellabsenkung |
| Hersteller Elektrik | Cegelec a.s., Praha (CZ) | Klimaanlagen | KONVEKTA AG, Schwalmstadt (D) |
| Endmontage | DP Ostrava (CZ) im Auftrag von SOLARIS / Cegelec | Fahrgastklimaanlage | 2 x Typ UL 500 EM |
| Länge / Breite / Höhe | 18 000 / 2 550 / 3 490 mm | Türen | Ventura Systems BV, Bolsward (NL) |
| Achsstand | 5 130 / 6 770 mm | Türen 1, 3, 4 | Innen-Schwenktür |
| Leergewicht | 18 225 kg | Tür 2 | Außen-Schwenk-Schiebetüren |
| Zulässiges Gesamtgewicht | 28 000 kg | Betriebsspannung | 600 V DC (vorbereitet für 750 V DC) |
| Sitzplätze | 1 + 41 + (3 Klappsitze) | Fahrmotor | Typ ML 3846 K6 (6-polig, eigenbelüftet), 250 kW |
| Stehplätze | max. 98 | Traktionsausrüstung | Cegelec a.s., Praha (CZ), Typ INTEGRA 2126.Eb, IGBT Transistoren |
| Höchstgeschwindigkeit | 70 km/h (70 km/h mit Notfahrt-Aggregat) | Steuerung | Cegelec a.s., Praha (CZ), Mikroprozessorregler |
| Anfahrbeschleunigung | max. 1,4 m/s ² | Kommunikation der Traktionsausrüstung | über CAN-Bus |
| Böschungswinkel | 7° / 7° | Notfahrt-Aggregat | Typ APU 100 DIPME / EURO V (diesel-elektrisch), 100kW |
| Vorderachse (A-Achse) | Typ RL75, Einzelradaufhängung | Dieselmotor | IVECO Typ N40 ENT.C 118 kW; Gewicht – 1010 kg |
| Antriebachse (B-Achse) | Typ AV 132, Untersetzung 1:6,2 | Superkondensatoren | 0,88 kWh, LS Mtron |
| Nachlaufachse (C-Achse) | Typ AVN 132 | Einstiegshilfe | mechanische manuellgesteuert |

2. Der Einsatz von Energiespeichern - die Energiebilanzen

Der Einsatz von stationären Energiespeichern

- im Rahmen des EU- Trolleyprojektes: 2 Studien des Fraunhofer Institutes

erste Studie: Lohnt sich die Installation jeweils eines stat. Speichers an je einem Unterwerk beim Betrieb herkömmlicher Obusse mit Rekuperation?

Ergebnis: im günstigsten Fall amortisiert ein stat. Speicher an einem Unterwerk nach 7 Jahren

zweite Studie: Lohnt sich die Installation jeweils eines stat. Speichers an je einem Unterwerk beim Betrieb von Obussen mit Supercaps (SCAP) auf dem Dach?

Ergebnis: fast sämtliche Rekuperationsenergie wird durch den Betrieb mit den Supercaps kompensiert, der Einsatz von zusätzlichen Statischen Speichern lohnt sich nicht

(Quelle: Fraunhofer Institut, Dipl.-Ing Klausner, Dr.-Ing.Knote:

1.Netzwerkberechnung und Entwurfsplanung für energieeffizienten O-Bus Betrieb der Barnimer Busgesellschaft mbH vom Juli 2011

2.Ergänzende Untersuchung über die Auswahl und den Einsatz eines Energiespeichers im Fahrleitungsnetz von Obussen vom April 2012)

- Der Einsatz von Supercaps auf den Fahrzeugen der BBG

Praxistest: Auswertung der Energiebilanzen an 2 Obussen mit Strombremse (Rekuperation) über einen ganzen Tagesdienst (13Umläufe)

Ergebnis: Fahrzeug 057 (am 11.01.2013, -3°C)
Gesamtenergie aus dem Netz: 801,86 kWh
davon Energie für Traktion: 486,93 kWh
erzeugte Energie (Rekuperation): 150,16 kWh
Verbrauch Heizung: 331,11 kWh
Eigenbedarf des Fahrzeuges: 61,38 kWh
gefahrte Strecke am Netz: 237 km
Anteil der Bremsenergie an der Traktionsenergie: 30,83%
Anteil der Bremsenergie an der Gesamtenergie: 18,72%
Anteil der Energie SCAP an der Bremsenergie: 59,12%
Spezifischer Energieverbrauch: 3,38 kWh/km
des Fahrzeuges

Fahrzeug 063 (am 11.01.2013, -3°C)
Gesamtenergie aus dem Netz: 826,00 kWh
davon Energie für Traktion: 515,44 kWh
erzeugte Energie (Rekuperation): 162,79 kWh
Verbrauch Heizung: 321,56 kWh
Eigenbedarf des Fahrzeuges: 68 kWh
gefahrte Strecke am Netz: 241 km
Anteil der Bremsenergie an der Traktionsenergie: 31,58%
Anteil der Bremsenergie an der Gesamtenergie: 19,71%
Anteil der Energie SCAP an der Bremsenergie: 58,23%
Spezifischer Energieverbrauch: 3,43 kWh/km
des Fahrzeuges

- Der Einsatz von Supercaps auf den Fahrzeugen der BBG

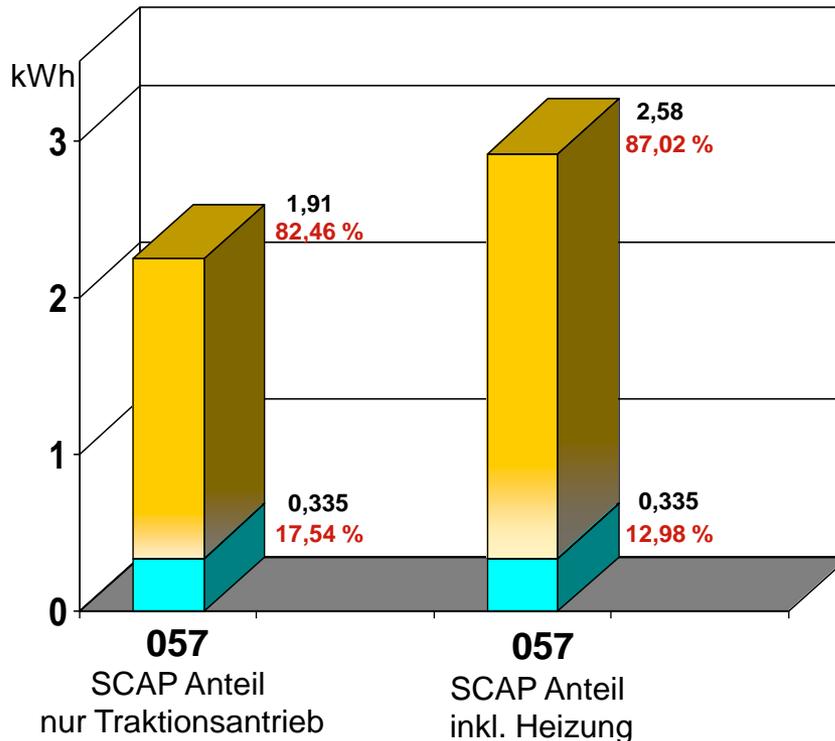
**Praxistest: Vergleich der Energiebilanzen eines Obus mit und eines Obusses
ohne Strombremse (Rekuperation) über einen ganzen Tagesdienst (13Umläufe)**

Ergebnis: Fahrzeug 057 (am 11.01.2013, -3°C)
Gesamtenergie aus dem Netz: 801,86 kWh
davon Energie für Traktion: 486,93 kWh
erzeugte Energie (Rekuperation): 150,16 kWh
Verbrauch Heizung: 331,11 kWh
Eigenbedarf des Fahrzeuges: 61,38 kWh
gefahrenre Strecke am Netz: 237 km
Anteil der Bremsenergie an der Traktionsenergie: 30,83%
Anteil der Bremsenergie an der Gesamtenergie: 18,72%
Spezifischer Energieverbrauch: 3,38 kWh/km
des Fahrzeuges

Fahrzeug 059 (am 18.01.2013, -2°C)
Gesamtenergie aus dem Netz: 819,75 kWh
davon Energie für Traktion: 441,35 kWh
erzeugte Energie (Rekuperation): 14,15 kWh
Verbrauch Heizung: 319,9 kWh
Eigenbedarf des Fahrzeuges: 61,77 kWh
gefahrenre Strecke am Netz: 185 km
Anteil der Bremsenergie an der Traktionsenergie: 0,03%
Anteil der Bremsenergie an der Gesamtenergie: 0,017%
Spezifischer Energieverbrauch: 4,43 kWh/km
des Fahrzeuges

Energieverbrauch in kWh/km SCAP Anteil ■

O-Bus 057 APU + SCAP (18.01. -2°C)



| O-Bus seit 08/2011 | im Einsatz |
|-----------------------------------|--------------------------|
| Gesamtleistung | 94016 km bis 18.01. 2013 |
| Energieverbrauch inkl. Heizung | 242.561,28 kWh |
| Preis | 34.686,26 EUR |
| Ersparnis durch SCAP | 31.495,36 kWh |
| Preis | 4503,86 EUR |

- Das Oberleitungshybridsystem in Eberswalde- der Betrieb mit APU oder BAT

Dabei wichtig: Die Supercaps dienen grundsätzlich nur der optimalen Verwertung der Bremsenergie und dabei der Optimierung der Anfahrtdynamik des Fahrzeuges, was vor allem den Betrieb mit APU bzw. BAT überhaupt akzeptabel macht!!

Der Vergleich des Oberleitungsdieselhybridbetriebes mit dem Oberleitungsbatteriehybridbetrieb

(Verglichen wurden jeweils ein Fahrzeug über einen Tag mit 13 Umläufen mit je 3,1 km Betrieb ohne Oberleitung)

dabei interessant: Der Betriebskostenvergleich des APU- und BAT-Fahranteiles

057 am 18.01.2013 (-2°C)

Fahrstrecke mit APU: 40,3 km
Kraftstoffverbrauch dabei: 26 Liter

mit Dieselkosten von 1,14 €/l: 0,735 €/km

(dabei Energiebedarf Heizung: 20,89 kWh)

063 am 30.01.2013 (-3°C)

Fahrstrecke mit BAT: 40,3 km
Elektroenergieverbrauch dabei: 78,28 kWh

mit Elektroenergiekosten von 0,143 €/kWh: 0,278 €/km

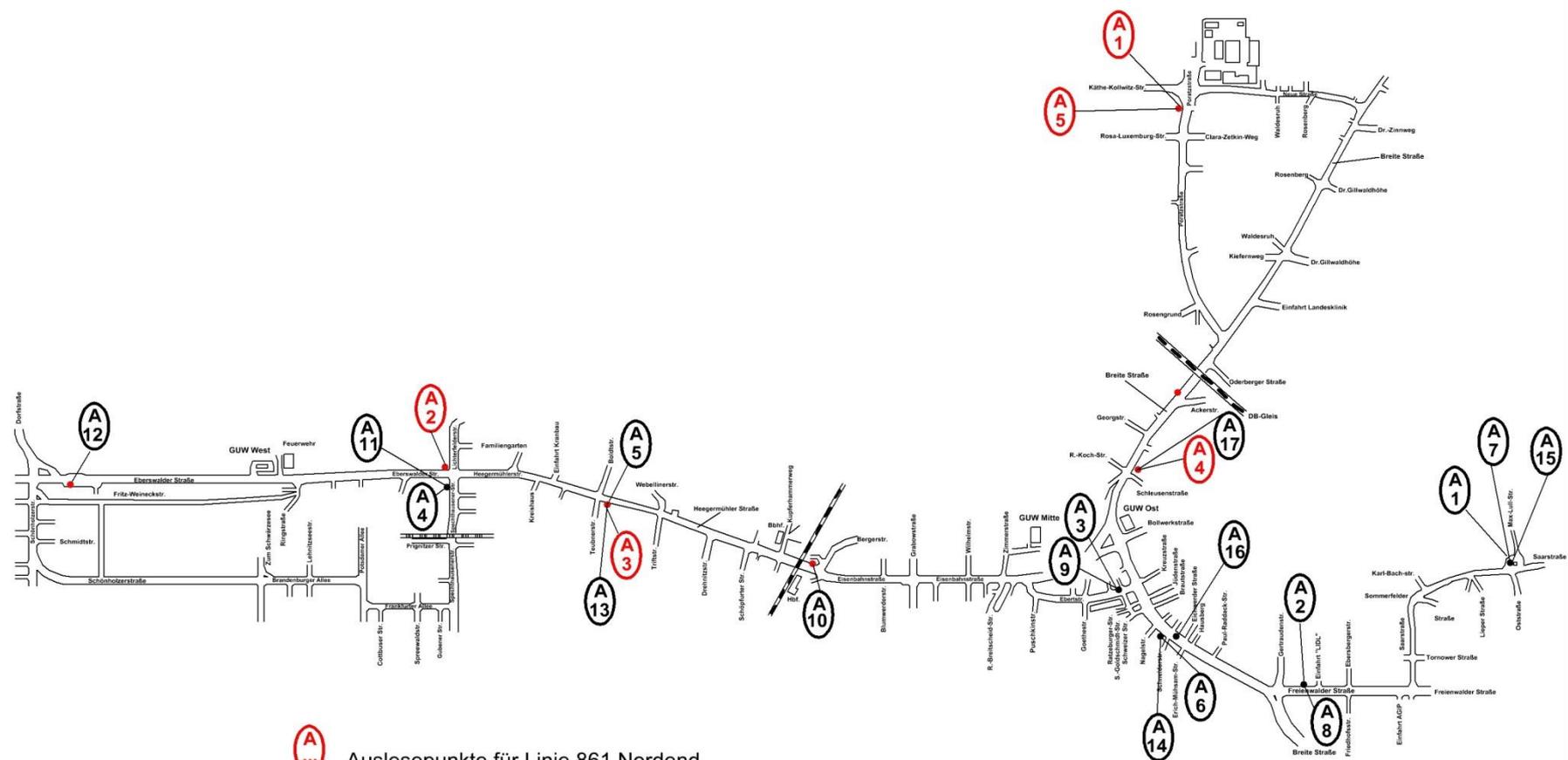
(dabei Energiebedarf Heizung: 27,95 kWh)

1. Bewährungsprobe der Flexibilität des Hybridsystemes:

- Änderung der Streckenführung der 861 und 862 über die Fritz-Weineck-Str.

dabei interessant: Wie gestaltet sich das Batteriemangement der Li-Ionen-Batterie über die beiden Linienkurse?

Betriebshof BGG



- A... Auslesepunkte für Linie 861 Nordend
- A Auslesepunkte für Linie 862 Ostend

| | | | | | |
|------------|------|----------------|----------|--|-------------------|
| Änderungen | | Datum | Name | Bezeichnung Obuslinien 861, 862 Plan der Auslesepunkte | Blattzahl: 1 |
| Datum | Name | gez.: 16.01.13 | Rutscher | | Blatt-Nr.: 1 |
| | | gepr.: | | Zeichnungs-Nr.: | 13/1380001 |

Elektrischer Stadtverkehr in Eberswalde

Testbetrieb mit partiellem fahrleitungslosen Batteriebetrieb

Linie 861 Nordend

(18,8 km insgesamt, davon 3,1 km Batteriebetrieb)

Linie 862 Ostend

(18,1 km insgesamt, davon 2,9 km Batteriebetrieb)



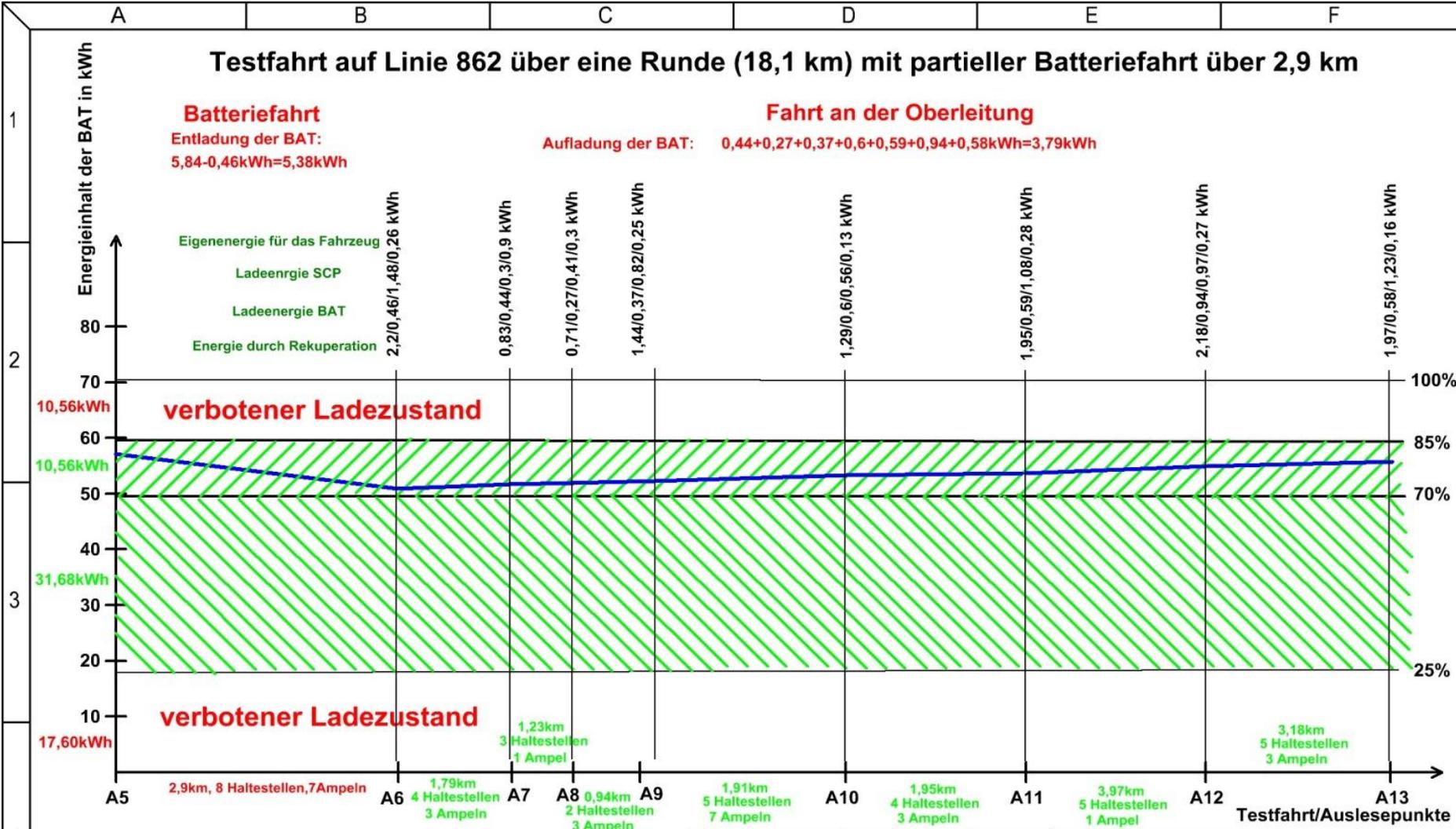
Linienanteil mit fahrleitungslosem Batteriebetrieb

| Änderungen | | Datum | Name | Bezeichnung | Obuslinien | Blattzahl: 1 |
|------------|------|--------|----------|-------------|---|------------------|
| Datum | Name | gez.: | 16.01.13 | Rutscher | 861 862 | Blatt-Nr.: 1 |
| | | gepr.: | | | Streckenführung und Haltestellen | |
| | | | | | Zeichnungs-Nr.: | 13/138003 |

Testfahrt auf Linie 862 über eine Runde (18,1 km) mit partieller Batteriefahrt über 2,9 km

Batteriefahrt
 Entladung der BAT:
 5,84-0,46kWh=5,38kWh

Fahrt an der Oberleitung
 Aufladung der BAT: 0,44+0,27+0,37+0,6+0,59+0,94+0,58kWh=3,79kWh



100% = 70,40 kWh
 85% = 59,84 kWh
 70% = 49,28 kWh
 25% = 17,60 kWh

Ladekurve BAT
 optimales Ladezustandsband mit Nachladung ausschließlich durch Rekuperation
 mögliches Ladezustandsband mit Nachladung über Oberleitung

| Änderungen | | Datum | Name | Bezeichnung: | Blattzahl: |
|------------|------|----------------|----------|--|------------|
| Datum | Name | gez.: 29.01.13 | Rutscher | Diagramm | |
| | | gepr.: | | Ladezustand BAT Linie 862 | Blatt-Nr.: |
| | | | | Oberleitungsbatteriehybridbetrieb | |
| | | | | Zeichnungs-Nr.: | |
| | | | | 13/1380004 | |

Elektrischer Stadtverkehr in Eberswalde mit partiellem fahrleitungslosen Batteriebetrieb

Linie 861 Nordend
(18,8 km)

Linie 862 Ostend
(18,1 km)



| Änderungen | | Datum | Name | Bezeichnung | Obuslinien | Blattzahl: 1 |
|------------|------|----------------|----------|---|------------|--------------|
| Datum | Name | gez.: 16.01.13 | Rutscher | 861 | 862 | |
| | | gepr.: | | Streckenführung und Haltestellen | | Blatt-Nr.: 1 |
| | | | | Zeichnungs-Nr.: 13/1380006 | | |

- Fazit der gegenwärtigen Erkenntnisse in Eberswalde

- Veränderungen der Streckenführungen mit partiellem Oberleitungshybridbetrieb erscheinen aus Betriebskosten- und Umweltgründen nur mit dem Oberleitungsbatteriehybridbus sinnvoll**

Dabei ist die gegenwärtige Dimensionierung der Batteriekapazität (72 kWh) für Distanzen von ca. 4km bei Linienlängen von 18km für eine max. Lebensdauer optimal
(beim Beispiel der Fritz-Weineck-Str. wäre eine Reduzierung der Batteriekapazität um die Hälfte möglich!!)

Eberswalde, 04.02.2013

Stephan Rutscher
Leiter technische Anlagen