

WOLFSBURG AG

Abschlussbericht

für das Verbundprojekt Modulare
Hochleistungsbatteriesysteme in Verbindung mit
sicherer Schnellladetechnik(MoBat)

Wolfsburg AG

20.01.2021

Gefördert vom



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Zuwendungsempfänger: Wolfsburg AG Ausführende Stelle: Digitalisierung und Mobilität	Förderkennzeichen: 03ET6107E
Vorhabenbezeichnung: Hochleistungsbatteriesysteme in Verbindung mit sicherer Schnellladetechnik (MoBat)	
Laufzeit des Vorhabens: 11/2016 bis 07/2020	
Berichtszeitraum: 01.11.2016 bis 31.07.2020	

-Die Verantwortung dieser Veröffentlichung liegt beim Autor-

Inhaltsverzeichnis

1	Eingehende Darstellung der erzielten Ergebnisse.....	8
1.1	Software-Tool zur Wirtschaftlichkeitsberechnung.....	10
1.1.1	Bestimmung der Parameter	10
1.2	Einführung in das Tool.....	11
1.3	Anwendungsbeispiele zur Auslegung mithilfe des entwickelten Software-Tools.....	16
1.3.1	Linie 830 der Regionalbus Braunschweig GmbH.....	16
1.3.2	Linie 801 der Stadtbus Goslar GmbH	23
2	Bewertung der Ergebnisse.....	29
3	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	30
4	Darstellung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	30
5	Abweichungen Zielerreichungen	31
5.1	Während des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf diesem Gebiet bei anderen Stellen	31
5.2	Notwendige Änderungen Zielsetzung	31
6	Fortschreibung Verwertungsplan	32
6.1	Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte.....	32
6.2	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten	32
6.3	Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten	32
6.4	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	32
7	erfolgte und geplante Veröffentlichungen	33

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Parameter zur Ermittlung des gesamten benötigten Energiebedarfs	11
Abbildung 2: Ladeoptionen und Technologien	12
Abbildung 3: Einflussgrößen zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit	15
Abbildung 4: Streckenverlauf der Buslinie 830 der RBB (Clausthal-Zellerfeld→Goslar)	17
Abbildung 5: Streckenverlauf der Buslinie 830 der RBB (Goslar→Clausthal-Zellerfeld)	18
Abbildung 6: Markierung des kritischen SOC im 2D Streckenverlauf der Linie 830 der RBB.....	19
Abbildung 7: Konduktives Laden per Pantograph auf dem Betriebshof der Göttinger Verkehrsbetriebe GmbH.....	20
Abbildung 8: Haltestelle Auerhahn	21
Abbildung 9: Haltestelle Goslar ZOB	21
Abbildung 10: Gegenüberstellung von Overnight und Opportunity Charging der Linie 830.....	22
Abbildung 11: Streckenverlauf der Buslinie 801 der Stadtbus Goslar GmbH (Waldhaus→Krankenhaus)	24
Abbildung 12: Streckenverlauf der Buslinie 801 der Stadtbus Goslar GmbH (Krankenhaus→Waldhaus)	25
Abbildung 13: Markierung des kritischen SOC im 2D Streckenverlauf der Linie 801 der Stadtbus Goslar GmbH.....	26
Abbildung 14: Gegenüberstellung von Overnight und Opportunity Charging der Linie 801.....	27
Abbildung 18: Konduktives Laden mittels Pantograph in Hamburg	30

1 Eingehende Darstellung der erzielten Ergebnisse



Im Förderprojekt MoBat – Modulare Hochleistungsbatteriesysteme in Verbindung mit sicherer Schnellladetechnik hat die Wolfsburg AG zwei aufeinander aufbauende Arbeitspakete bearbeitet. Im Folgenden wird das Ergebnis vorgestellt.

Aufgabenstellung war die Untersuchung des Betriebes modularer Batteriesysteme im Kontext verschiedener Anwendungsfälle. Dafür wurden drei Buslinien identifiziert, wobei zwei Linien intensiver betrachtet wurden:

- die Regionalbuslinie 830 der Regionalbus Braunschweig GmbH (RBB),
- die Linie 801/802 der Stadtbus Goslar GmbH und
- der interne Werksverkehr im Volkswagen Werk Wolfsburg.

Die Tigan Linie des internen Werkverkehrs wurde untersucht, die Auswertung konnte aber wegen fehlender, nicht freigegebener Daten nicht durchgeführt werden.

Bei der Buslinie 830 der RBB zwischen Clausthal-Zellerfeld und Goslar liegt die Herausforderung in den zu überwindenden Höhenmetern. Der höchste Punkt auf der Strecke ist die Haltestelle Auerhahn und liegt bei rund 630m ü. NN. Der niedrigste Punkt liegt bei 260m ü. NN (Goslar ZOB). Den Hauptteil der Strecke fährt die Linie auf der Bundesstraße 241. Die Buslinie verbindet die Universitätsstadt Clausthal-Zellerfeld, welche über keine direkte Bahnanbindung verfügt, mit Goslar. Dies hat zur Folge, dass besonders viele Studenten die Busverbindung als Bahnzubringer nutzen. Dadurch kommt es in der Linie 830 zu einem vermehrten Fahrgastaufkommen, was bei der Betrachtung der Tauglichkeit der Elektrifizierung beachtet werden muss.

Als Vergleich zur regionalen Linie 830 der Regionalbus Braunschweig GmbH wurden die Stadtlinie 801/802 der Stadtbus Goslar GmbH in die Betrachtung einbezogen. Hierbei wird deutlich, dass sich diese Linien in ihrer topologischen Ausprägung stark unterscheiden. Die Buslinie 801 der Stadtbus Goslar GmbH verbindet die Stadt Goslar mit dem angrenzenden Ortsteil Oker. Oker befindet sich rund fünf Kilometer östlich der Innenstadt Goslars und ist industriell geprägt.

Neben der technischen Auslegung ist für die tatsächliche Umsetzung vor allem die Wirtschaftlichkeit des gewählten Ansatzes von ausschlaggebender Bedeutung. Die hierfür notwendigen Parameter wie Leistungsfähigkeit der Batterien, Lebensdauern, Energie- und Ladeinfrastrukturkosten usw. wurden im Rahmen des Projekts ermittelt, um sie im weiteren Projektverlauf zu nutzen. Ziel dieses Arbeitspakets war es, für eine Auslegung des Batteriesystems die nötigen Voraussetzungen zur Umsetzung des Konzepts für eine E-Buslinie mit Hochleistungsbatteriesystem und entsprechender Ladeinfrastruktur zu evaluieren. Entsprechend der nötigen oder möglichen technischen Parameter (wie z.B. Abstände zwischen Haltestellen, Energieverbräuche, mögliche Standorte für Ladestationen) wird anschließend empfohlen, das Batteriesystem auszulegen.

Die Auslegung des Batteriesystems und der Ladetechnik erfolgen iterativ und haben ihrerseits wieder Wirkung auf die Standortkonzeption und Routenführung einer oder mehrerer E-Buslinien.

Entsprechend des Arbeitsplanes erfolgten Absprachen mit den kommunalen Abteilungen, Verkehrsbetrieben, Energieversorgern und mit Vertretern der Volkswagen AG, mit dem Ziel, die Bestandsaufnahme für die Entwicklung eines E-Busverkehrs einschließlich Hochleistungsladestationen umzusetzen. Hierzu wurden verschiedene Buslinien hinsichtlich Strecken, Haltestellen und -zeiten, Auslastung, etc. evaluiert. Im zweiten Arbeitsschritt wurden

Elektro-Infrastruktur und IKT-Anbindung hinsichtlich elektrischer Versorgung, Aufwand für Anpassung und Datenleitungen bewertet. Eine anschließende Betrachtung der Standorte hinsichtlich baurechtlicher Anforderungen, Baugenehmigungen, etc. muss bei einer Umsetzungsentscheidung zeitnah erfolgen. Idealerweise sollte die zu errichtende Infrastruktur für mehrere Linien oder auch für andere Anwendungen nutzbar sein.

Im Rahmen dieses Projekts ist eine Projektarbeit mit dem Thema „Auslegung elektrifizierter Buslinien im ÖPNV“ durch Jannik Basse und Marcel Jansen (beide TU Clausthal) entstanden. Inhalte dieser Arbeit fließen in den vorliegenden Abschlussbericht ein.

1.1 Software-Tool zur Wirtschaftlichkeitsberechnung

1.1.1 Bestimmung der Parameter

Als Ergebnis des **Arbeitspaketes 1.2 „Auslegung hinsichtlich Energieinhalt und Leistungsfähigkeit“** liegen die wichtigsten Parameter für die Einrichtung einer E-Buslinie sowie die Auslegung des Batteriesystems und der Ladeinfrastruktur vor. Bei der Untersuchung wurde deutlich, dass entsprechend der Anwendungen stets gegensätzliche Entwicklungen betrachtet werden müssen:

Batteriegröße: eine große Batterie verspricht eine große Autonomie hinsichtlich Reichweite. Diese steht erhöhten Kosten und einem erhöhten Batteriegewicht, d.h. auch einer geringeren Fahrgastzahl gegenüber. Eine Erhöhung der Fahrgastkapazität verursacht wiederum einen erhöhten Energiebedarf, darf jedoch die zugelassene Achslast nicht überschreiten.

Eingesetzte Ladetechnik: Bei der Betrachtung der einzusetzenden Ladetechnik spielt die zu erwartende Ladedauer eine entscheidende Rolle. Hierbei sind die Komplexität der aufzubauenden Ladeinfrastruktur auch hinsichtlich Kosten und Raumbedarf nicht außer Acht zu lassen.

Die in diesem Arbeitspaket identifizierten Parameter finden Eingang in das anschließend entwickelte Auslegungstool. Dafür wurde in Liniendaten, Fahrzeugdaten, Daten für Ladeinfrastruktur und Kosten unterschieden.

Zu den Liniendaten zählen:

- Linientopologie mit GPS Koordinaten
- Linienlänge
- die Geschwindigkeit des Fahrzeugs zu jedem Zeitpunkt der Messung
- betriebliche Besonderheiten wie Taktzeiten, Einsatzzeiten, Pausen

Zu den Fahrzeugdaten zählen:

- Gewicht und Querschnittsfläche des Busses
- Luftwiderstand
- maximaler State of Charge (SOC (dt.: Ladestand eines Akkus))
- Angabe zur Rekuperation

Die nachfolgende Darstellung visualisiert die Parameter zur Ermittlung des Energiebedarfes.

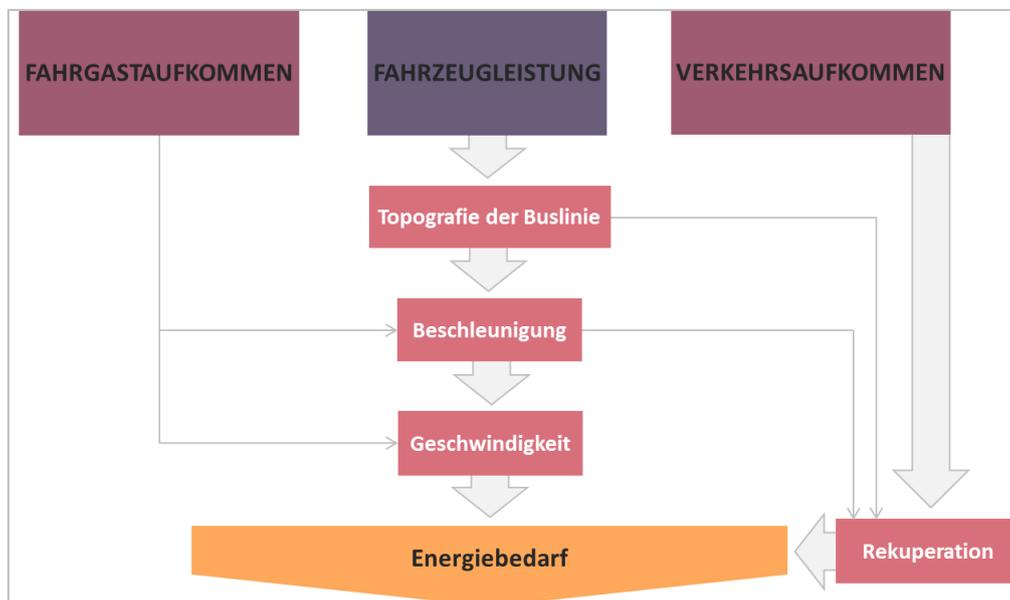


Abbildung 1: Parameter zur Ermittlung des gesamten benötigten Energiebedarfs
(Quelle: eigene Darstellung)

Daten für Ladeinfrastruktur sind:

- Batteriekapazität
- Ladeoptionen (Overnight Charging (dt.: Über-Nacht-Ladung) versus Opportunity Charging (dt.: Gelegenheitsladung))

Zu den für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung relevanten Kosten zählen:

- Kosten Bus
- Kosten Batterie
- Kosten Ladeinfrastruktur

1.2 Einführung in das Tool

Im Hinblick auf die spätere Verwertung oder die Initiierung von Anschlussprojekten spielt die Wirtschaftlichkeit des zu erarbeitenden Systems Hochleistungsbatterie – Schnellladetechnik eine wesentliche Rolle. Trotz des ökologischen Nutzens und der Emissionsreduktion wird sich ein überwiegend elektrisch geführter Verkehr nur durchsetzen, wenn dieser entweder durch Rahmenbedingungen vorgegeben wird und/ oder sich als wirtschaftlich erweist. Im Rahmen des **Arbeitspaketes 5.4** ist die Entwicklung eines wirtschaftlichen Gesamtsystems von essentiell Interesse, da die Einführung und die Durchsetzung eines emissionsfreien öffentlichen Nahverkehrs nur dann erfolgreich sein werden, wenn ein wirtschaftlicher Betrieb möglich wird.

Die Kosten eines elektrifizierten (Personen- oder Güter-) Transportes setzen sich dabei im Wesentlichen aus der Batterie und der vorzuhaltenden Ladeinfrastruktur zusammen; spezifische

Kosten beziehen sich darüber hinaus auf die zurückzulegende Strecke und beförderte Personen oder Güter. Als Ergebnis ist ein Auslegungstool entstanden, welches bei individuellen Randbedingungen bei der Einführung eines elektrifizierten Verkehrs unterstützen kann. Hierbei sind Batterie und Ladeinfrastruktur bzgl. ihres Energieinhaltes und der Leistung in Abhängigkeit von Batteriekosten (Lebensdauer, Energiedurchsatzkosten), Haltestellen, -zeiten, Streckenprofilen, Zuladung und Energieversorgung für verschiedene Anwendungen weitgehend allgemeingültig auslegbar und können an spezifische Besonderheiten angepasst werden.

Ziel dieser Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist es, anhand eines durch die Wolfsburg AG entwickelten Software-Tools zu erkennen, wann und an welcher Stelle auf einer E-Buslinie eine Ladestation vorhanden sein muss bzw. welche Strecke ein Bus mit einer gegebenen Batteriegröße zurücklegen kann.

Das Auslegungs-Tool

Das durch die Wolfsburg AG entwickelte Auslegungs-Tool ist in der Lage, den Energiebedarf einer auszuwählenden Buslinie zu ermitteln. Auf dieser Grundlage werden dann die Möglichkeiten der Ladung der Batterie betrachtet und miteinander vergleichbar sein. Aktuell zählen zu den bei der Elektrifizierung eingesetzten Lademöglichkeiten das Overnight Charging und das Opportunity Charging. Eine Unterscheidung der verschiedenen Ladeoptionen erfolgt über die Investitionskosten.

In der folgenden Abbildung werden die unterschiedlichen Ladeoptionen mit den dazugehörigen Technologien dargestellt.

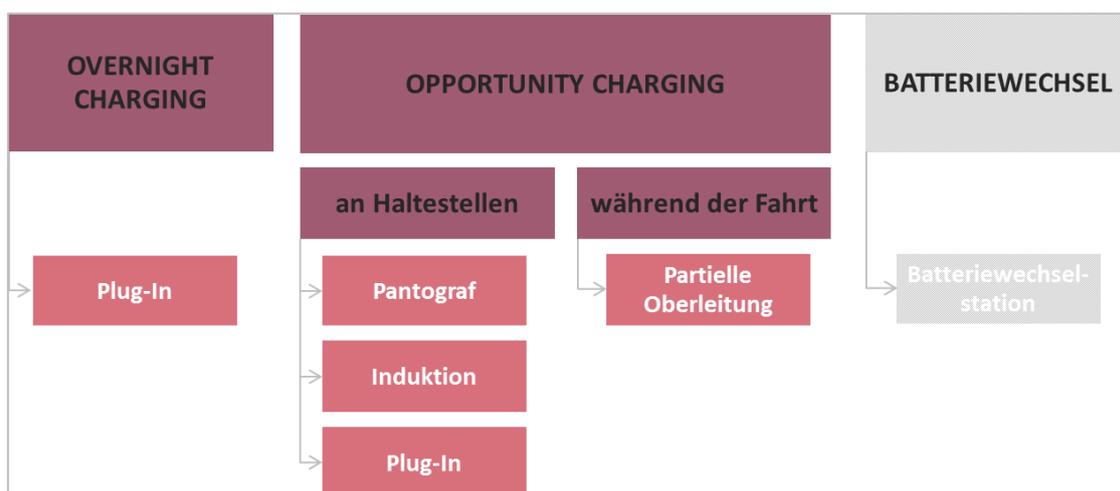


Abbildung 2: Ladeoptionen und Technologien
(Quelle: eigene Darstellung)

Beim Overnight Charging kehrt ein Fahrzeug zu einem bestimmten Zeitpunkt für eine längere Zeit an einen festgelegten Ort zurück. Das bedeutet, dass es lediglich an diesem Ort Infrastruktur zum Laden des Fahrzeugs vorzuhalten ist. Allerdings benötigt das Fahrzeug eine entsprechend ausreichend dimensionierte Batterie, da Zwischenladungen nicht vorgesehen sind. Beim Einsatz im ÖPNV können

bei dieser Ladeoption Fahrzeuge auch betrieblich bedingt eine lange Zeit zu einem anderen Zeitpunkt als „über Nacht“ in das Depot zurückkehren, um dann wieder eingesetzt zu werden.

Beim Opportunity Charging können auch kurze Zeitfenster zum Laden genutzt werden. Diese Zeitfenster ergeben sich aus dem betrieblichen Einsatz der Busse und variieren in den Zeitpunkten ihres Auftretens über den Betriebstag sowie ihrer Dauer zum Teil erheblich. Die Standorte der potentiellen Ladepunkte liegen dabei im Verlauf der Linie, so dass kurze Unterbrechungen der Linienfahrt genutzt werden können, um Energie nachzuladen.

Das Auslegungs-Tool bietet die Möglichkeit, über die Ausgabe technischer Parameter die Eignung einer Ladeoption in Abhängigkeit der einzusetzenden Anzahl der Fahrzeuge zu bestimmen. Dabei ist ebenso auf die Übertragbarkeit der Anwendungen geachtet worden.

Das Tool kann jede Art von Strecke als Quelle nutzen, jedoch müssen die Eingangsdaten stets einer gewissen Formatierung folgen. Somit wird sichergestellt, dass beispielsweise unterschiedliche Fahrzeugtypen auf unterschiedlichsten topografischen Verhältnissen untersucht werden können. Auch die Auslastung im Sinne von Zuladung kann so in unterschiedlichster Ausprägung in die Berechnung mit einfließen.

Vor dem Hintergrund der vereinfachten, mathematisch ausgerichteten Skriptsprache, der enormen Erweiterbarkeit durch sogenannte Toolboxes, der Möglichkeit einer nativ ausführbaren Auskopplung des entwickelten Skripts und der hohen Akzeptanz im wissenschaftlichen Bereich, ist die Wahl der Entwicklungsumgebung auf die Software Matlab von Mathworks gefallen. Um eine verständliche und intuitive Bedienbarkeit gewährleisten zu können, ist das Auslegungs-Tool mit einer grafischen Benutzeroberfläche (GUI, engl.: Graphical User Interface) ausgestattet worden. Dabei wird der Nutzer mit nachvollziehbaren Aufforderungen und Eingabemöglichkeiten auf dem Bildschirm durch den Berechnungsprozess geführt und ein ohne enormen Aufwand auswertbares Ergebnis geliefert. Der Nutzer muss sich somit lediglich auf einer Ebene mit dem Software-Tool auseinandersetzen, die keine tiefgehenden Programmierkenntnisse erfordert.

Einflussgrößen

Auf der Nutzeroberfläche des Auslegungs-Tools sind fahrzeugspezifische und infrastrukturelle Einflussgrößen zu benennen.

Eine notwendige Eingabegröße ist das Gesamtgewicht des Fahrzeugs. Das Gesamtgewicht setzt sich zusammen aus Fahrzeugmasse (inkl. Batterie) und Zuladung und beeinflusst die im Hintergrund ablaufende Berechnung von Roll-, Steigungs- und Beschleunigungswiderständen.

Da der vorrangige Zweck des Auslegungs-Tools die Untersuchung des ÖPNV sein soll, wird die Fahrzeugmasse insbesondere von der Zuladung beeinflusst, die wiederum im ÖPNV größtenteils aus Fahrgästen besteht. Um die Anzahl letzterer und folglich die resultierende Zuladung zu jedem Messpunkt bestimmen zu können, bedarf es einer Möglichkeit der Erfassung. Zur automatisierten Erfassung von Fahrgastzahlen existieren Fahrgastzählsysteme. Nach Rücksprache mit den Betreibern der in der ersten Ausführungsphase zu untersuchenden Buslinien kristallisierte sich jedoch heraus, dass derartige Systeme in den betriebenen Fahrzeugen entweder nicht verbaut sind oder aufgrund

mangelnder Zuverlässigkeit nicht kontinuierlich betrieben werden. Aus diesem Grund wurden manuelle Fahrgastzählungen an unterschiedlichen Tagen und zu unterschiedlichen Zeiten unternommen. Dabei wurden von zwei Personen jeweils die Ein- und Ausstiege an allen Haltestellen erfasst und dokumentiert. Diese tageszeitspezifischen Daten können entweder ungefiltert oder in Form von Durchschnittswerten verwendet werden.

Zusätzlich zum Gesamtgewicht werden noch folgende Angaben für die Berechnung benötigt:

- ob Rekuperation (d.h. Rückgewinnung von Energie beim Bremsen) Anwendung findet und falls ja, mit welchem Wirkungsgrad/Rekuperationsgrad dies geschieht
- wie hoch der hypothetische relative Ladezustand (SOC, engl. State of Charge) beim Start der Buslinie ist und ebenso der minimale SOC, der nicht unterschritten werden soll
- Angabe der Fahrzeugleermasse
- Angabe der Fahrzeugquerschnittsfläche
- Höhe des cw-Wertes (Luftwiderstandswert)
- je nach Auslegungsart entweder die Angabe einer fixen Batteriekapazität oder aber die Angabe von verfügbarer Anschlussleistung an den Haltestellen der Linie für etwaiges Opportunity Charging
- Angabe der Liniendaten
- Angabe der Investitionskosten

In der nachfolgenden Abbildung ist dargestellt, welche Einflussgrößen in das Berechnungsmodell eingehen, um die Wirtschaftlichkeit zu berechnen.

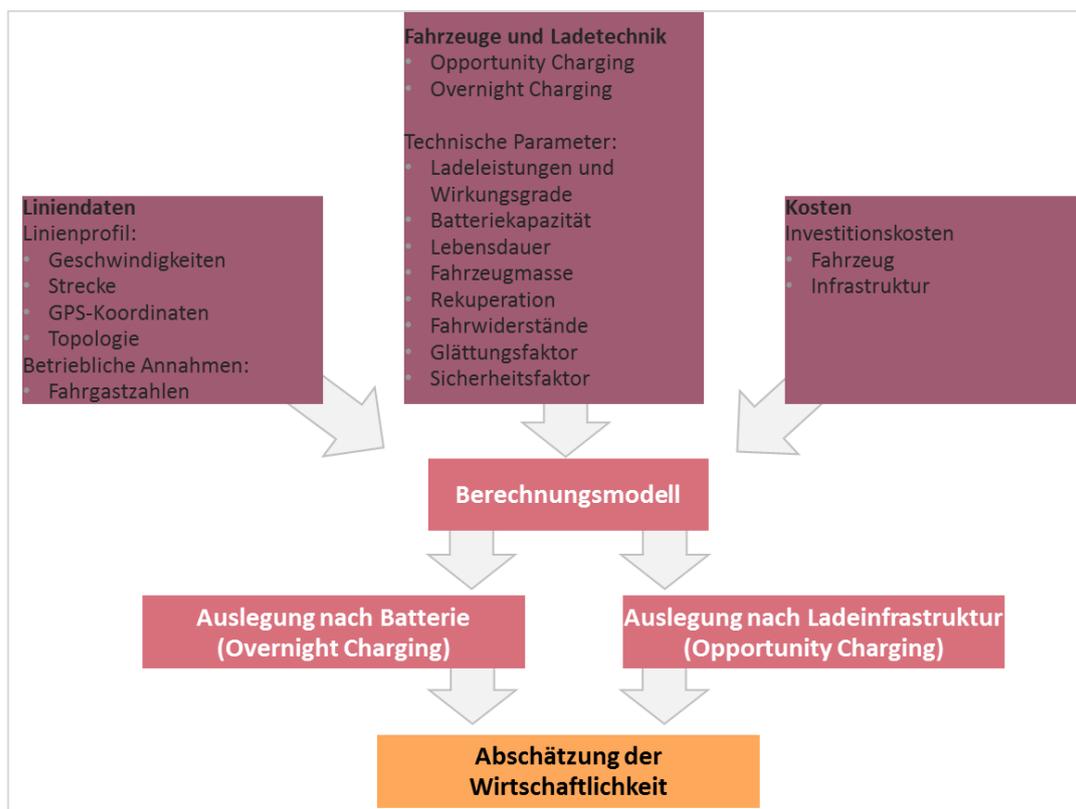


Abbildung 3: Einflussgrößen zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit
(Quelle: eigene Darstellung)

1.3 Anwendungsbeispiele zur Auslegung mithilfe des entwickelten Software-Tools

Unterschiedliche Buslinien des Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) werden mithilfe des im Projekt entwickelten Software-Tools auf ihre Tauglichkeit der Elektrifizierung überprüft. Hierbei wird zunächst auf die einzelnen Strecken und ihre Herausforderungen eingegangen. In den Bewertungsabschnitten der Ergebnisse dieses Abschnitts werden zu Beginn alle Buslinien nach Batteriegröße und Ladeinfrastruktur ausgelegt und anschließend auf ihre Plausibilität analysiert.

1.3.1 Linie 830 der Regionalbus Braunschweig GmbH

Zu den untersuchten Strecken gehört die Buslinie 830 der RBB zwischen Clausthal-Zellerfeld und Goslar. Hierbei liegt die Herausforderung des Busses in den zu überwindenden Höhenmetern. Der höchste Punkt auf der Strecke ist die Haltestelle Auerhahn und liegt bei rund 630m ü. NN. Der niedrigste Punkt liegt bei 260 m ü. NN (Goslar ZOB). Den Hauptteil der Strecke fährt die Linie auf der Bundesstraße 241, welche von Hohenwepel bei Warburg (Nordrhein-Westfalen) bis Vienenburg (Niedersachsen) verläuft. Da es sich bei der Stadt Clausthal-Zellerfeld um eine Universitätsstadt handelt, welche über keine direkte Bahnanbindung verfügt, ist es notwendig auf Busverbindungen beispielsweise nach Goslar zurückzugreifen. Dies hat zur Folge, dass besonders viele Studenten die Busverbindung als Bahnzubringer nutzen. Dadurch kommt es in der Linie 830 zu einem vermehrten Fahrgastaufkommen, welches bei der Betrachtung der Tauglichkeit der Elektrifizierung beachtet werden muss. Bei der Betrachtung ist es sinnvoll, beide Streckenabschnitte einzeln im Software-Tool einzulesen. Das Tool berechnet bei der Eingabe nur eines Abschnittes, wie oft die ausgewählte Strecke hintereinander abgefahren werden kann. Da dies ohne eine Rückfahrt nicht möglich ist, bedarf es der Eingabe des zweiten Abschnitts.

Streckenbeschreibung

Die Linie 830 der RBB startet im Stadtteil Clausthal am Kronenplatz. Dieser befindet sich gegenüber dem Hotel Goldene Krone und gehört zum Stadtzentrum. Von hier aus ist neben der Innenstadt auch das Hauptgebäude der TU Clausthal schnellstmöglich zu erreichen. Aus diesem Grund sind an dieser Haltestelle die meisten Zustiege zu verzeichnen. Ein weiterer Zustiegs-„Hotspot“ ist der Zentrale Omnibus-Bahnhof (ZOB). Dieser liegt rund einen Kilometer vom Kronenplatz entfernt und verbindet die beiden Stadtteile Clausthal und Zellerfeld miteinander. Aufgrund des Höhenunterschieds von 40m ist es möglich, durch Rekuperation eine gewisse Menge an elektrischer Energie in die Fahrzeugbatterie zu speisen. Diese kann anschließend für die Überwindung der Höhendifferenz von rund 100m auf einer Strecke von 7,5 km ausgenutzt werden. Mit einer Höhe von 630 m ü. NN ist die Haltestelle Auerhahn der höchste Punkt auf der Strecke. Von der Haltestelle Auerhahn bis zum Goslar ZOB geht es hauptsächlich bergab. Das bedeutet, dass rund 11 km Wegstrecke und 370 m Höhenunterschied für die Rekuperation genutzt werden können. Die Strecke vom Kronenplatz in Clausthal-Zellerfeld zum Goslar ZOB hat somit eine Gesamtlänge von rund 19 km. Die Fahrzeit des Busses beläuft sich je nach Verkehrslage auf etwa 29 Minuten.

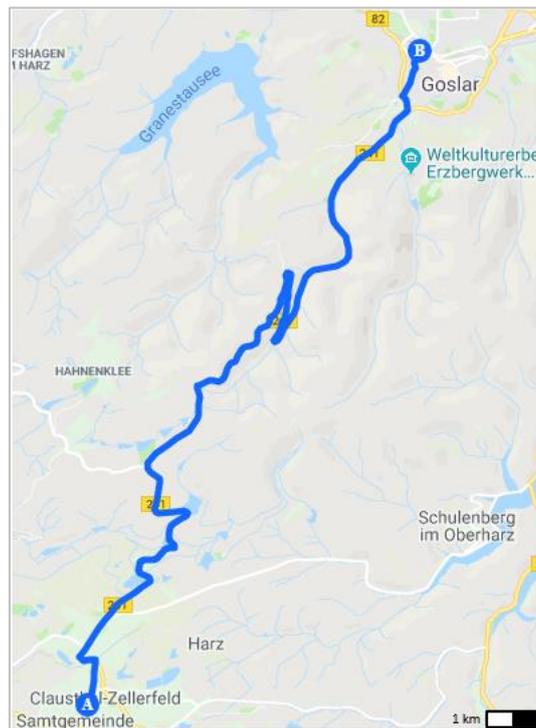


Abbildung 4: Streckenverlauf der Buslinie 830 der RBB (Clausthal-Zellerfeld→Goslar)
(Quelle: <https://www.google.de/maps>)

Der Rückweg von Goslar nach Clausthal ist aufgrund der Steigungen und der damit verbundenen Überwindung der Höhenmeter mit einem wesentlich höheren Energieaufwand verbunden. Ab Auerhahn ist allerdings etwas Gefälle vorhanden, welches für die Rekuperation genutzt werden kann. Der Unterschied zu der Hinfahrt besteht darin, dass in Clausthal noch mehrere Haltestellen angefahren werden (siehe [Abbildung 5: Streckenverlauf der Buslinie 830 der RBB \(Goslar→Clausthal-Zellerfeld\)](#)). Somit ergibt sich für den Streckenabschnitt von Goslar nach Clausthal-Zellerfeld eine Gesamtlänge von rund 21 km bei einer Fahrzeit von etwa 32 Minuten. Neben den hier behandelten Strecken gibt es auch noch eine erweiterte Fahrt, welche über den Ort Hahnenklee führt. Dieser Streckenausläufer wird über den Betriebstag jedoch nur sporadisch angefahren. Da die Messfahrten zu Zeitpunkten stattfanden, zu denen Hahnenklee nicht angefahren wurde, bleibt dieser Streckenabschnitt unbeachtet.

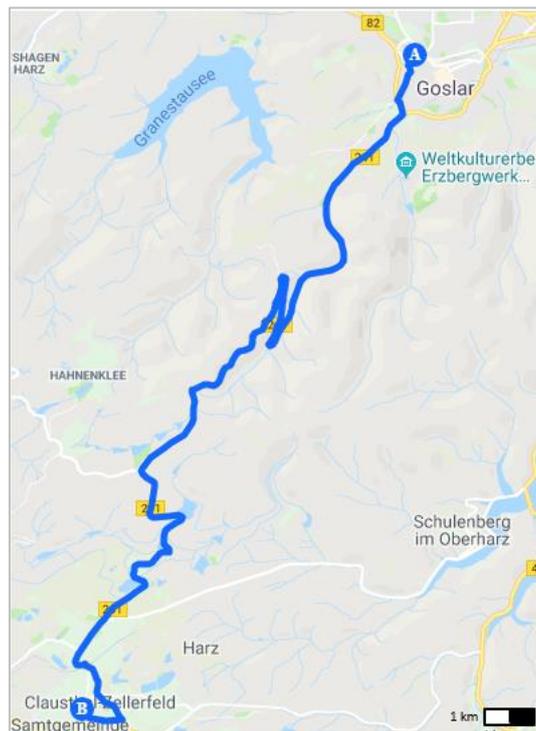


Abbildung 5: Streckenverlauf der Buslinie 830 der RBB (Goslar→Clausthal-Zellerfeld)
(Quelle: <https://www.google.de/maps>)

Eingabe der Daten und Bewertung

Die grafische Oberfläche des Eingabetools wurde für die Linie 830 der RBB und mithilfe der Daten eines Solaris Urbino 12 electric ausgefüllt. Das Software-Tool bearbeitet die Daten weiter und gibt ein Ergebnis aus. Es erfolgt eine Auslegung nach Batteriegröße oder nach Ladeinfrastruktur. Im Folgenden werden beide Optionen untersucht.

Auslegung nach Batteriegröße

Bei der Auslegung nach der Batteriegröße wird berechnet, wie viele Umläufe der Bus mit der vorgegebenen Batteriekapazität bewältigen kann. Der Solaris Urbino 12 electric hat eine maximale Batteriekapazität von 240 kWh. Nach der Eingabe dieses Wertes in das vorgesehene Feld berechnet das Software-Tool, an welchem Punkt und in welchem Umlauf die Batterie ihren kritischen SOC erreicht. Nach dem erfolgreichen Einlesen besteht die Möglichkeit, sich den Ort, an dem der kritische SOC ungefähr eintreten wird, auf dem Streckenverlauf in 2D- oder 3D- Ansicht anzeigen zu lassen. Für die weitere Betrachtung wird die 2D-Darstellung in Abbildung 6: [Markierung des kritischen SOC im 2D Streckenverlauf der Linie 830 der RBB](#) herangezogen.

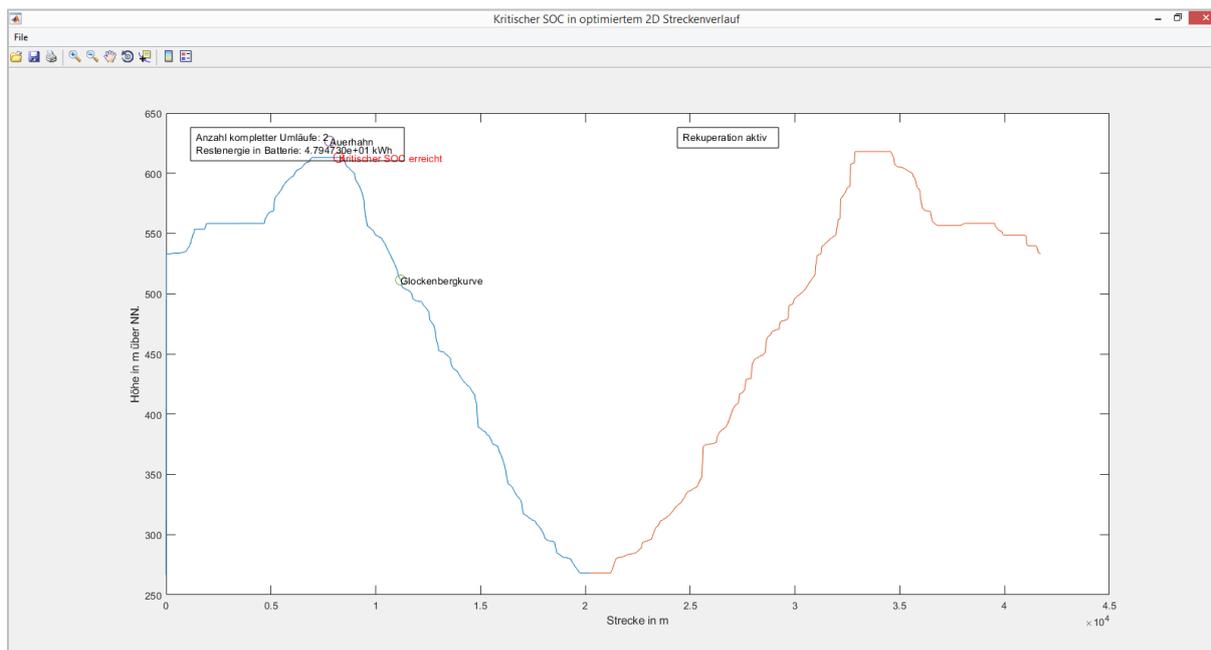


Abbildung 6: Markierung des kritischen SOC im 2D Streckenverlauf der Linie 830 der RBB
(Quelle: Darstellung Matlab)

Die Abbildung zeigt die Strecken Clausthal-Zellerfeld → Goslar (blaue Linie) und Goslar → Clausthal-Zellerfeld (rote Linie) unter Angabe der Höhenmeter und Länge der Strecke in Metern. Das Tool berechnet mithilfe der gemachten Angaben den kritischen SOC und markiert dessen Erreichen auf dem Streckenverlauf. Das Software-Tool benennt die Haltestellen vor und hinter dem SOC, um deutlich zu machen, dass an diesen Stellen Ladeinfrastruktur und eine längere Verweilzeit notwendig wären, um die Batterie nachzuladen. Welchen Wert der errechnete kritische SOC hat und wie viele Umläufe erzielt werden können, wird in der Darstellung aufgeführt. Ebenso ist erkenntlich, ob die Rekuperation aktiviert oder deaktiviert ist. Die vom Software-Tool markierten Haltestellen liegen aufgrund der Glättung nicht immer auf dem dargestellten Streckenverlauf, sondern etwas darüber oder darunter.

An diesem Punkt ist es möglich, sich den Streckenverlauf ohne die Markierung des kritischen SOC anzeigen zu lassen. Hier kann ebenso zwischen der 2D- und 3D-Ansicht gewählt werden. Bei der 2D-Ansicht kann entschieden werden, ob der Glättungsfaktor berücksichtigt werden soll (optimierte Darstellung) oder nicht. Anschließend werden die angegebenen und berechneten Daten an Microsoft Excel weitergegeben und als Datei in dem Verzeichnis aus welchem die Anwendung ausgeführt wird, abgespeichert.

Basierend auf der anfangs gemachten Angabe, dass der minimale SOC bei 20 % liegt und die Batteriekapazität 240 kWh beträgt, ergibt sich für den kritischen SOC ein Wert von etwa 48 kWh. Aufgrund der Aktivierung der Rekuperation mit einem Wirkungsgrad von 80 %, schafft der Bus zwei Umläufe, bis er den oben genannten Wert erreicht. Das bedeutet, der Bus würde ohne Zwischenladung zweimal von Clausthal-Zellerfeld nach Goslar und zurück kommen. Erst nach diesen beiden Umläufen erreicht die Batterie kurz hinter der Haltestelle Auerhahn ihren kritischen SOC.

In der Praxis bedeutet dies, dass der Bus nach zwei Umläufen zurück ins Depot fahren muss, um dort aufgeladen zu werden. Beim Laden im Betriebshof erfolgt das Laden meist über mehrere Stunden mit Leistungen von 50 bis 100kW. Das bedeutet am Beispiel des Solaris Busses eine Ladedauer von ca. 2,5 – 5 Stunden. Wird die Leistung durch z.B. induktives Laden mittels Pantographen erhöht, kann die Lade- und somit die Standzeit deutlich verkürzt werden.



Abbildung 7: Konduktives Laden per Pantograph auf dem Betriebshof der Göttinger Verkehrsbetriebe GmbH
(Quelle: eigenes Foto)

Auslegung nach Ladeinfrastruktur

Für die Auslegung nach Ladeinfrastruktur müssen vorab geeignete Standorte für Ladepunkte ermittelt werden. Bei der Linie 830 würden sich die Haltestellen Auerhahn und ZOB Goslar aufgrund des verfügbaren elektrischen Anschlusses und der längeren Aufenthaltszeit besonders anbieten.

Bei der Auslegung nach Ladeinfrastruktur wird davon ausgegangen, dass an jedem Ladepunkt der Bus vollgeladen wird. Die abrufbaren Ladeleistungen der einzelnen Ladepunkte wurden bei dem zuständigen Betreiber (Harzenergie) angefragt und betragen:

- Auerhahn: 20 kW

- Goslar ZOB: 50 kW



Abbildung 8: Haltestelle Auerhahn
(Quelle: eigenes Foto)



Abbildung 9: Haltestelle Goslar ZOB
(Quelle: eigenes Foto)

Das Software-Tool berechnet mithilfe dieser Werte die Batteriegröße, die der Bus mindestens verbaut haben muss, um den Streckenabschnitt mit dem höchsten Energiebedarf zwischen den Ladepunkten zu überwinden. Bei der Strecke zwischen Clausthal-Zellerfeld und Goslar ist dies höchstwahrscheinlich der Abschnitt von Goslar ZOB bis zur Haltestelle Auerhahn, da für die Überwindung der rund 370 Höhenmeter der Energieaufwand hoch ist. In Auerhahn kann lediglich auf der Fahrt von Clausthal-Zellerfeld nach Goslar geladen werden, da sich die Haltestelle in einer Einbuchtung auf der rechten Seite (von Clausthal-Zellerfeld kommend) befindet. Unter dieser Berücksichtigung berechnet das Software-Tool eine Mindestbatteriegröße von 99,8 kWh.

Wird angenommen, dass auch auf der Rückfahrt in Auerhahn geladen werden kann, ergibt sich für die Batteriegröße ein niedrigerer Wert von etwa 88 kWh. Ein geringerer Wert ist plausibel, da der Bus vor dem letzten Streckenabschnitt erneut vollgeladen werden kann.

Vergleich der beiden Auslegungsvarianten

Bei der Auslegung nach Batteriegröße werden Werte für Ladestationen angenommen, welche auf dem Betriebshof installiert werden. Da hier die Möglichkeit der Ladung über Nacht (Overnight Charging) besteht, können so einfache Wechselstromladestationen zum Einsatz kommen. Diese sind aufgrund ihres einfachen Aufbaus und leichter Installation günstiger als die beim Opportunity Charging benötigten Gleichstromladestationen. Bei Betrachtung der vom Software-Tool erzeugten Microsoft Excel-Dateien fällt auf, dass die Barwerte bei der Wahl von fünf Fahrzeugen einen marginalen Unterschied aufweisen.

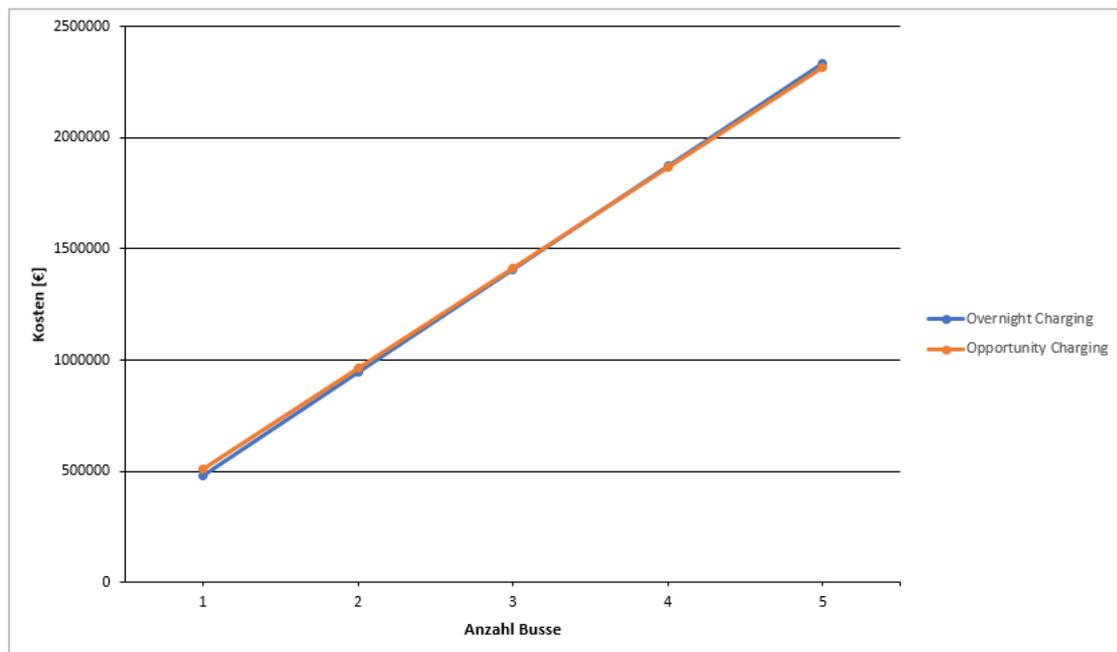


Abbildung 10: Gegenüberstellung von Overnight und Opportunity Charging der Linie 830
(Quelle: eigene Darstellung)

Durch die oben stehende Abbildung wird deutlich, dass mit steigender Anzahl an Fahrzeugen der Wechsel von Overnight zu Opportunity Charging lohnenswert ist. Betrachtet man eine höhere Anzahl an Fahrzeugen als die hier gewählten fünf, würde das Ergebnis eindeutiger sein. Bei dieser Darstellung lohnt sich ein Wechsel ab etwa 3,5 Fahrzeugen.

Bei der Einschätzung und Bewertung der Ladeoptionen wird am Beispiel der Linie 830 ersichtlich, dass die Eingabe der Kosten für Ladeinfrastruktur eine wesentliche Rolle spielt. Die im vorliegenden Projekt möglichst einzusetzende Schnellladeinfrastruktur mit einer hohen Leistung und über Pantograph kann aufgrund von fehlender Netzkapazität hier nicht eingesetzt werden. Sollte dies doch gewünscht sein, ist eine aufwendige Installation von Trafo und Energiespeicher nötig.

Bei Betrachtung der Strecke und der entsprechenden Haltestellen wäre dies flächenmäßig nur am ZOB in Clausthal-Zellerfeld möglich. Hierbei wäre noch zu klären, wie die Eigentumsverhältnisse der Flächen sind. Derzeit gibt es laut Fahrplan keine langen Haltezeiten. Daher müsste beim Einsatz nach dieser Technologie auch der Fahrplan mit entsprechenden Haltezeiten angepasst werden

Daher ist aus heutiger Sicht eine Kombination aus beiden Ladeoptionen empfehlenswert. Das heißt, der Bus wird im Depot geladen und kann auf der Strecke bei Bedarf nachgeladen werden.

1.3.2 Linie 801 der Stadtbus Goslar GmbH

Die Buslinie 801 der Stadtbus Goslar GmbH verbindet die Stadt Goslar mit dem angrenzenden Ortsteil Oker. Oker befindet sich rund 5km östlich der Innenstadt Goslars und ist industriell geprägt. Der Bus startet an der Haltestelle Waldhaus in Oker und endet am Haupteingang der Asklepios Harzlinik in Goslar. Das Besondere an dieser Buslinie ist der anschließende Wechsel zur 802. Der Bus fährt vom Krankenhaus nicht zum Waldhaus zurück sondern endet an der Haltestelle Am Müllerkamp, welche sich ebenfalls in Oker befindet. Bei der Eingabe im Software-Tool ist somit darauf zu achten, dass für den Hinweg der Streckenabschnitt der Buslinie 801 (Waldhaus→Krankenhaus) und für den Rückweg der Streckenabschnitt der 802 (Krankenhaus→Am Müllerkamp) eingelesen wird. Die folgende Streckenbeschreibung beinhaltet nur die Strecke der 801.

Streckenbeschreibung

Die Buslinie 801 der Stadtbus Goslar GmbH startet an der Haltestelle des Hotels und Restaurants Waldhaus im Okertal. Das Hotel befindet sich an der Bundesstraße 498 und liegt auf einer Höhe von circa 250m ü. NN. Von dort aus geht es bis zur Haltestelle Kirchenbrücke, welche sich rund 2km vom Startpunkt entfernt befindet, leicht bergab. Hierbei werden bis zu 45 Höhenmeter zurückgelegt. Der Bundesstraße 498 folgt die Linie bis zur Haltestelle Ginsterbusch. Ab hier endet die Strecke, welche Goslar mit der Stadt Osterode am Harz verbindet. Die meisten Zustiege im Ortsteil Oker erfolgen am Bahnhof. Dies liegt nicht nur daran, dass es sich um einen Bahnhof handelt, sondern größtenteils an seiner zentralen Lage. Von dort bis zum Hotel Der Achtermann, ist ein leichter Anstieg zu verzeichnen. In rund 4,5km werden 52 Höhenmeter überwunden. Ein besonderer Zustiegshotspot auf dieser Strecke ist die Haltestelle Vienenburger Straße. Hier sind Möbelhäuser, Elektronikfachmärkte und Lebensmittelhändler vertreten, was es somit zu einem beliebten

Einkaufsziel macht. Am Hotel Der Achtermann angekommen, steigt eine Vielzahl von Fahrgästen aus, um von dort in die Innenstadt zu gelangen. Ab hier ist der Streckenverlauf bis zum Krankenhaus hauptsächlich ebenerdig und verläuft auf einer durchschnittlichen Höhe von circa 260m ü.NN. Am Bahnhof finden bis zum Krankenhaus die letzten großen Ausstiege statt. Nach Erreichen des Haupteingangs der Harzlinik fährt der Bus als Linie 802 weiter. Der Streckenverlauf der Buslinie 801 hat eine Länge von knapp 13,9km bei einer Fahrzeit von etwa 34 Minuten.

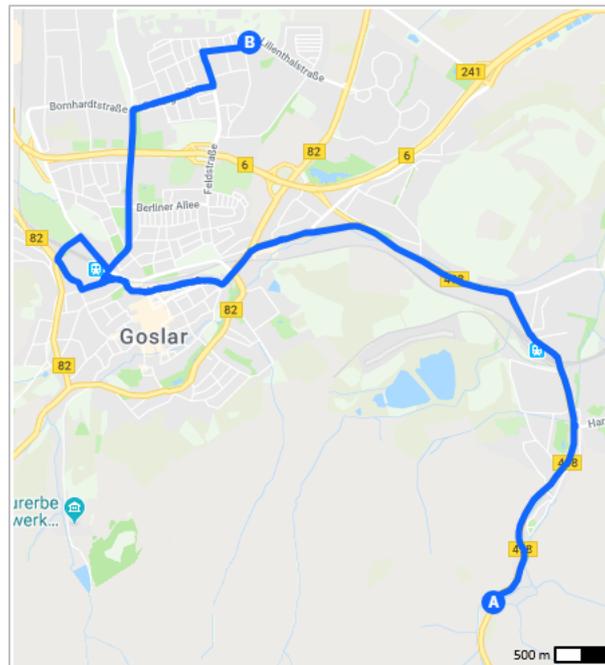


Abbildung 11: Streckenverlauf der Buslinie 801 der Stadtbus Goslar GmbH (Waldhaus→Krankenhaus)
(Quelle: <https://www.google.de/maps>)

Die Rückfahrt vom Haupteingang des Krankenhauses zum Hotel Waldhaus sieht, wie in Abbildung 12 dargestellt, der Hinfahrt sehr ähnlich. Der Unterschied besteht darin, dass nach dem Bahnhof nicht über das Hotel Der Achtermann gefahren wird, sondern über den Jakobikirchhof, welcher sich direkt in der Innenstadt befindet. Aus diesem Grund finden an dieser Haltestelle viele Ein- und Ausstiege statt. Besonders an Dienstagen und Freitagen ist aufgrund des stattfindenden Wochenmarktes mit einem erhöhten Personenaufkommen zu rechnen. Vom Jakobikirchhof geht es bis zur Kirchenbrücke in Oker hauptsächlich bergab, wobei über eine Strecke von 5,2km etwa 60 Höhenmeter zurückgelegt werden. Anschließend geht es bis zur Endstation Waldhaus 2km talaufwärts. Die Strecke vom Haupteingang des Krankenhauses zum Hotel Waldhaus hat eine Gesamtlänge von etwa 12,6km. Aufgrund der Fahrt durch die Innenstadt und der damit verbundenen geringeren Geschwindigkeit, ergibt sich trotz weniger zurückgelegter Kilometer eine längere Fahrzeit von circa 37 Minuten.

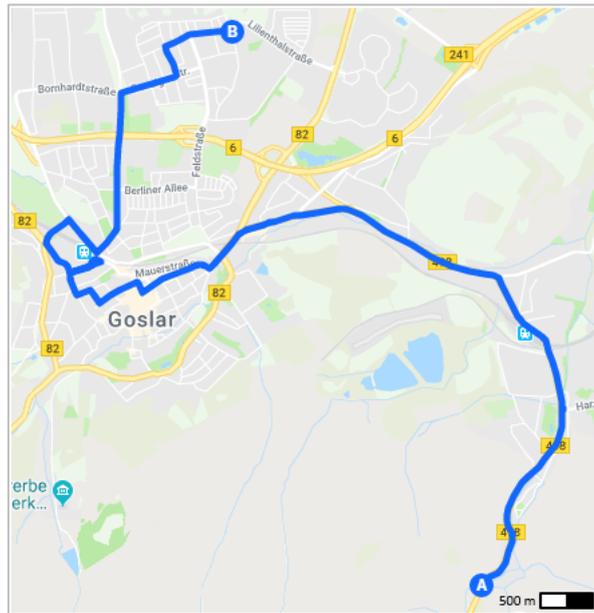


Abbildung 12: Streckenverlauf der Buslinie 801 der Stadtbus Goslar GmbH (Krankenhaus→Waldhaus)
(Quelle: <https://www.google.de/maps>)

Bewertung der Ergebnisse des Auslegungstools

Um Ergebnisse für die Linie 801 der Stadtbus Goslar GmbH zu erhalten, muss die Eingangsmaske des Tools ausgefüllt werden. Wie oben bereits deutlich gemacht, muss hier der Hinweg als 801 und der Rückweg als 802 angegeben werden. Auch in diesem Abschnitt werden die Daten eines Solaris Urbino 12 electric verwendet.

Auslegung nach Batteriegröße

Nach korrekter Eingabe aller notwendigen Daten und der Auswahl der 2D-Plotdarstellung, berechnet das Software-Tool, für den kritischen SOC sowie für die Anzahl kompletter Umläufe, die in Abbildung 13 dargestellten Ergebnisse.

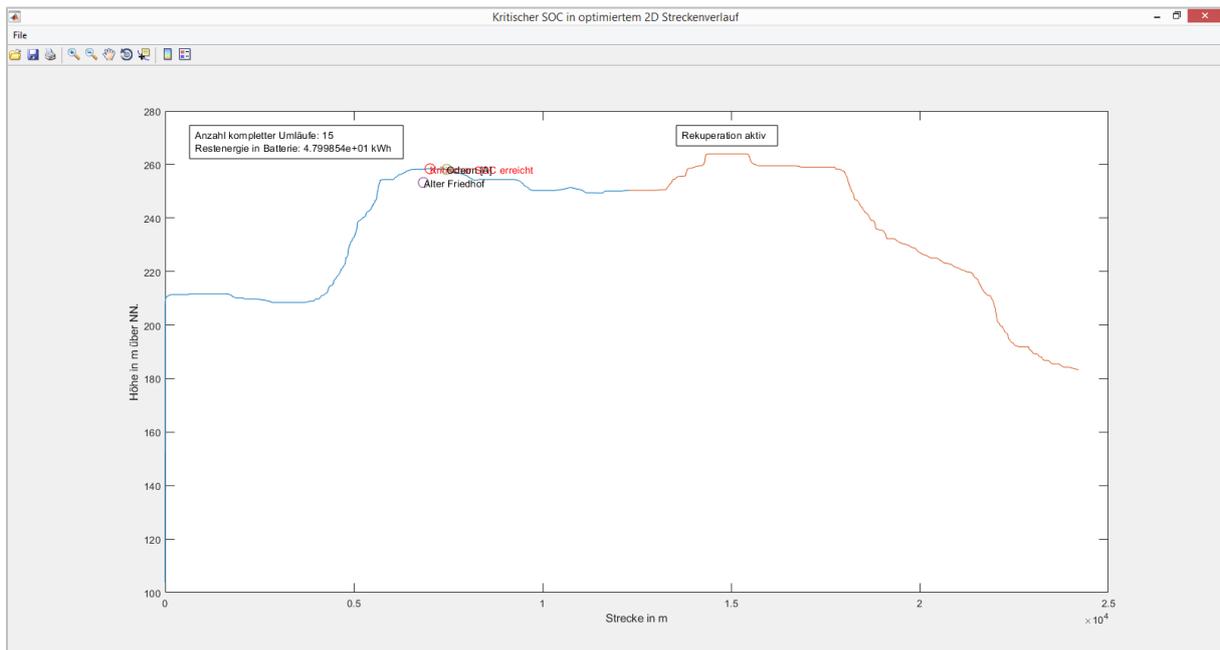


Abbildung 13: Markierung des kritischen SOC im 2D Streckenverlauf der Linie 801 der Stadtbus Goslar GmbH
(Quelle: eigene Darstellung)

Der kritische SOC wird laut Berechnung nach 15 Umläufen in Goslar zwischen den Haltestellen Alter Friedhof und Odeon [A] erreicht. Bei dieser Betrachtungsweise ist jedoch zu beachten, dass der Bus keinen kompletten Umlauf macht, also von Waldhaus zu Waldhaus, sondern die Strecke an der Haltestelle Am Müllerkamp endet. Das heißt, dass das Tool dann für den nächsten Umlauf wieder am Waldhaus startet und somit die Rückfahrt (Am Müllerkamp → Waldhaus) nicht in die Berechnung mit einbezogen wird. Dies hängt unweigerlich damit zusammen, dass in dem Software-Tool nur zwei Streckenabschnitte eingelesen werden können und jede Fahrt einzeln getrackt wurde. Die Auswertung ist somit unzulänglich, gibt allerdings einen guten Überblick über den Streckenverlauf und dessen Herausforderungen. Diesem Problem könnte mit mehreren möglichen Implementierungen oder dem Tracking der gesamten Strecke entgegengewirkt werden. Dies kann Aufgabe eines weiteren Entwicklungsschrittes des Tools nach Projektende sein.

Auf der Fahrt der Linie 801 vom Waldhaus zum Haupteingang des Krankenhauses wurden von 24 Haltestellen 18 angefahren, wobei der Bus immer wieder anhalten und anfahren muss, was zu einem erhöhten Verbrauch führt, welcher sich auf die Auswertung auswirkt. Aufgrund der Vielzahl an Fahrgästen ist in dem Bereich, in dem etwa 50 Höhenmeter überwunden werden müssen, der Energieverbrauch am höchsten. Aus diesem Grund ist die Berechnung des Software-Tools als plausibel einzustufen, da der kritische SOC direkt nach diesem Streckenabschnitt eintritt.

Die Berechnung des Software-Tools ergibt somit einen durchschnittlichen Energieverbrauch von 12,8 kWh pro Umlauf (etwa 25km), was einen Energieverbrauch von 51,2 kWh auf 100km bedeutet.

Auslegung nach Ladeinfrastruktur

Aufgrund längerer Verweilzeiten und der Verfügbarkeit einer hohen Anschlussleistung, wurden für die Auslegung nach Ladeinfrastruktur folgende Werte und Haltestellen als Ladepunkte gewählt:

- Bahnhof: 50 kW
- Harzkliniken/Haupteingang: 50 kW
- Bahnhof: 50 kW

Die sich daraus ergebende Mindestbatteriegröße, um die Strecke Waldhaus → Am Müllerkamp zu überwinden, beträgt somit rund 16 kWh.

Da die Rückfahrt hauptsächlich bergab geht und daher ein Teil der Energie durch die Rekuperation zurückgewonnen werden kann, wird die berechnete Energiemenge wahrscheinlich für die Überwindung der Hinfahrt benötigt. Der erste Ladepunkt (Bahnhof) befindet sich bei etwa 257m ü. NN.

Vergleich der beiden Auslegungsvarianten

Wie bereits schon bei Linie 830 beschrieben, ist auch hier der Unterschied beider Ladetechniken bei einer Auswahl von fünf Fahrzeugen sehr gering. Nach Abbildung 14 lohnt sich unter reinen ökonomischen Gesichtspunkten ein Wechsel von Overnight zu Opportunity Charging bereits ab einer Anzahl von etwa 3,2 Fahrzeugen.

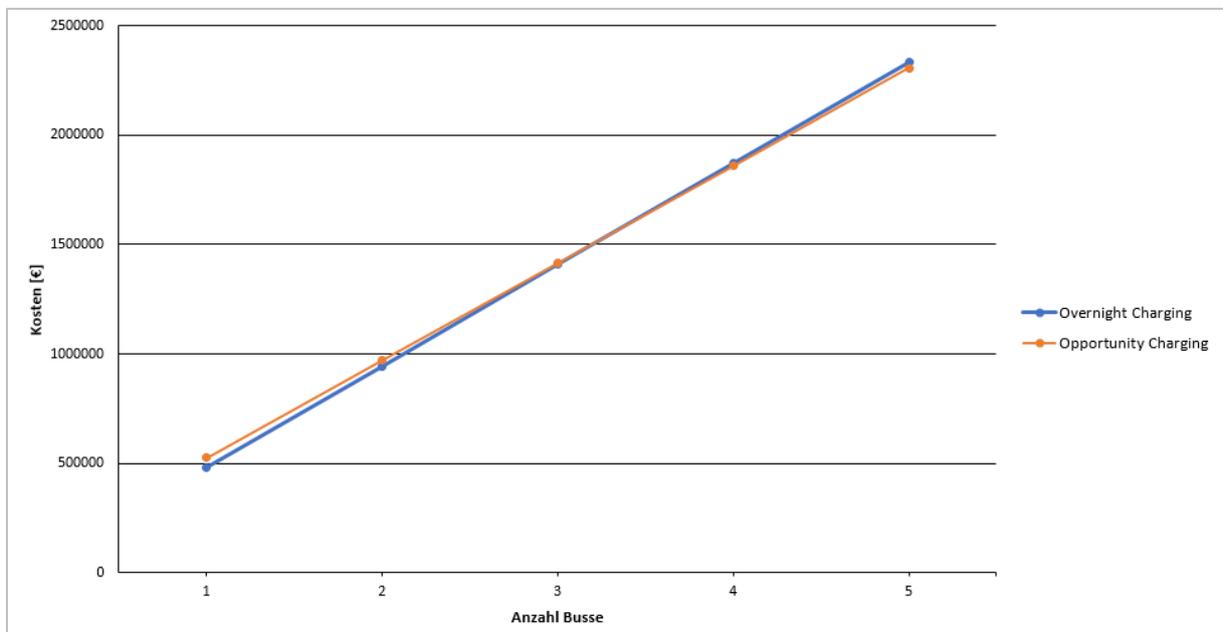


Abbildung 14: Gegenüberstellung von Overnight und Opportunity Charging der Linie 801
(Quelle: eigene Darstellung)

Analog erfolgte ebenso die Auslegung der Strecke der Buslinie 802 der Stadtbus Goslar GmbH.

Die Untersuchung zeigt, dass sich Elektrobusse im Stadtverkehr besser nutzen lassen als im Überlandverkehr. Jedoch bietet auch hier die Installation von Schnellladetechnologie eine höhere Flexibilität und gefühlte Sicherheit bzw. Reichweitenerweiterung.

1.4 Bewertung der Ergebnisse

Das im Projekt MoBat entwickelte Auslegungstool bietet eine erste Abschätzung zur Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Schnellladeinfrastruktur im Busverkehr. Bei einer Mindestreichweite von 200 km ohne Nachladung sollten E-Busse wirtschaftlich einsetzbar sein. Unberücksichtigt bleiben in der Betrachtung die zusätzlichen Verbraucher wie die Beheizung und/oder die Klimatisierung der Fahrzeuge. Eine rein elektrische Heizung ist mit einem hohen Verlust der Reichweite verbunden.

Es ist also fahrzeugseitig notwendig, Busse mit einer Reichweite von mindestens 250 km anzubieten. Die eingesetzte Batterie sollte so gestaltet sein (möglichst modular), dass Anforderungen der Busunternehmen wie geringere Reichweiten oder keine Möglichkeit für Gelegenheitsladung, abgedeckt sind.

Betrachtet man die Optionen in der Ladeinfrastruktur bei eBussen im Allgemeinen, so kann man zusammenfassend sagen, dass

- Dauerladen (z.B. über Oberleitungen) kostspielig und unflexibel ist
- Overnight Charging ein hohes Fahrzeuggewicht durch die entsprechende Batteriegröße und damit eine reduzierte Fahrgastkapazität verursacht
- Induktives Zwischenladen zu teuren Fahrzeugen führt, eine magnetische Abschirmung erfordert, kostspielig in der Montage ist und einen geringen Wirkungsgrad bei der Energieübertragung aufweist
- Konduktives (Zwischen-)Laden zu Fahrzeugkomponenten mit geringerem Gewicht führt, eine bewährte und sichere Technologie ist, geringe Fahrzeugkosten und Fahrzeugkomplexität verursacht, ein Schnellladen mit hoher Leistung (bis zu 450 kW) und eine effiziente Energieübertragung bietet

In Zusammenarbeit im Projektkonsortium wird schnelles Laden mittels Pantographen untersucht. Der technische Aufbau ist im Vergleich zu einer Ladesäule aufwendig, da verschiedenste Komponenten erforderlich sind:

- Umhausung der Anlage mit Netzanschluss und Schaltgeräten, Transformator, Ladestation und Systemcontroller
- Aufnahmemaß mit Abdeckungen für Pantograph, der invers montierte Pantograph sowie die drahtlose Kommunikation zwischen Bus und Ladestation

Die Ladung ist dabei bei einem Hochleistungsladen (HPC) mit 450 kW möglich. Bei einer Batteriekapazität von 240kWh hat der in der Beispielrechnung eingesetzte Solaris E-Bus eine Reichweite von ca. 190km. Bei Ladezeiten von ca. fünf Minuten erhält der Bus einen Reichweitzuwachs von ca. 30km. Dabei fährt der Bus an die Ladestation unter den Pantographen. Die Kommunikation (WLAN) zwischen Bus und Ladestation wird hergestellt. Der Busfahrer stoppt den Bus am Referenzpunkt und aktiviert die Handbremse. Nach einer Systemüberprüfung wird der Ladevorgang initiiert. Hierbei senkt sich der Pantograph auf die auf dem Bus montierten Kontaktschienen und nach Systemüberprüfungen ein kontinuierlich überwachter Ladevorgang gestartet. Je nach Wunsch kann der Ladevorgang durch Lösen der Handbremse beendet werden, anschließend hebt sich der Pantograph und der Bus kann die Ladestation verlassen.

Eingesetzt wird ein solches System unter anderem in Hamburg bei der Hochbahn Hamburg AG.



Abbildung 15: Konduktives Laden mittels Pantograph in Hamburg
(Quelle: eigenes Foto)

Zusammenfassend ist anzumerken, dass es notwendig ist individuelle Betriebskonzepte zu entwickeln, um den E-Bus bei gewohnten Einsatzbedingungen zu betreiben. Dabei gilt es, die vorhandene (Lade-)Infrastruktur entsprechend zu nutzen. Bei der Beschaffung der Busse sollte auf die geeignete Batteriegröße geachtet werden, damit diese praxistauglich und bezahlbar sind.

2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Im Rahmen des Projektes entstanden wie geplant hauptsächlich Personalkosten in Höhe von 231.585,71 Euro, Reisekosten zur Präsentation des Projektes, zu Projekttreffen des Konsortiums sowie zu Bewertung und Begutachtung der ausgewählten Strecken in Höhe von 248,40 Euro.

3 Darstellung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Entsprechend der Antragsstellung konnten die umfangreichen Arbeiten in der geplanten Zeit geleistet werden. Vielmehr wäre das Projekt ohne Förderung gar nicht oder erst zu einem späteren Zeitpunkt möglich gewesen. Für die von der Bundesregierung angestrebte Technologieführerschaft im Bereich der Elektromobilität ist es jedoch notwendig, durch Forschung und Entwicklung mittels innovativer Konzepte den Unterschied im Wettbewerb zur internationalen Konkurrenz schon heute herzustellen. Im Bereich der räumlich begrenzten Anwendungen wie der liniengebundene ÖPNV

besteht die Möglichkeit, kleine und hochleistungsfähige Batteriesysteme als Traktionsbatterien zu verwenden. Busse bieten aufgrund ihrer Fahrprofile und der klar definierten Einsatzorte hervorragende Voraussetzungen für einen erfolgreichen Einsatz batterieelektrischer Antriebsstränge in Kombination mit Schnellladungen. Voraussetzung hierfür sind jedoch Batteriesysteme hoher Leistungsdichte mit kompatibler Ladetechnik, welche Schnellladungen im Minutenbereich ermöglichen. Ziel des Arbeitspaketes der Wolfsburg AG war Entwicklung eines einfach anwendbaren Auslegungssystem, das die Wirtschaftlichkeit verschiedener Auslegungsvarianten gegenüberstellt.

4 Abweichungen Zielerreichungen

4.1 Während des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf diesem Gebiet bei anderen Stellen

Zum Thema Vollkostenrechnung sind bereits mehrere Projekte durchgeführt, abgeschlossen und veröffentlicht worden. Dazu zählen:

- FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR VERKEHRS- UND INFRASTRUKTURSYSTEME IVI: Dr.-Ing. Thoralf Knotz
E-Bus-Standard, »Ansätze zur Standardisierung und Zielkosten für Elektrobusse« Gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
Förderkennzeichen: 16EM3103-1
- Alexander W. Kunith; Elektrifizierung des urbanen öffentlichen Busverkehrs
Technologiebewertung für den kosteneffizienten Betrieb emissionsfreier Bussysteme;
ISBN 978-3-658-19346-1

4.2 Notwendige Änderungen Zielsetzung

Von den Zielen wurde nicht abgewichen.

5 Fortschreibung Verwertungsplan

5.1 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte

Keine Änderungen im Berichtszeitraum

5.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Kurz- und mittelfristig werden die Erfahrungen aus den Ergebnissen der Arbeitspakete in die Konzeptentwicklung und Beratungskompetenz der Wolfsburg AG einfließen. Somit werden Kommunen und Busunternehmen an den Ergebnissen partizipieren. Die Akzeptanz und Verbreitung der Elektromobilität im Bereich der Busse kann somit gestärkt werden.

Langfristig profitieren von den verschiedensten Anwendungsfällen letztendlich die EndanwenderInnen, Städte und Kommunen, da Verkehr und Fortbewegung planbarer und einfacher werden. Der Trend zur Elektromobilität wird mit diesen Ergebnissen unterstützt. Zudem wirkt sich die daraus resultierende Veränderung der urbanen Mobilität positiv auf das Klima und die Lebensqualität aus.

5.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten

Kurz- und mittelfristig steht die Verwertung der erzielten Ergebnisse in Konzepten für Kommunen im Vordergrund. Dabei kann das entwickelte Tool Busunternehmen bei der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung unterstützen und erste Anhaltspunkte liefern. Die Wolfsburg AG arbeitet aufgrund ihrer Position in den verschiedensten Netzwerken und kann somit die Ergebnisse verwerten.

5.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Die Ergebnisse des Teilvorhabens der Wolfsburg AG lassen sich durch ihren hohen Grad der Transferierbarkeit auf bestehende Buslinien anwenden. Anschlusspotentiale liegen vor allem in der Einbindung der Projektergebnisse in bestehende Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen, die eine Vollkostenanalyse durchführen. Darüber hinaus liegt der Interessenschwerpunkt der Wolfsburg AG in dem Transfer der Analyseergebnisse zum ÖPNV nach Wolfsburg und die Region (Regionalverband). Hier stehen insbesondere Busunternehmen der Region im Fokus, um den städtischen und städteübergreifenden Verkehr zu optimieren, zu elektrifizieren und effizienter zu gestalten.

6 erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Monat/ Jahr	Veranstaltung
Juni/ August 2017 Oktober 2018	Projektvorstellung Volkswagen AG verschiedene Abteilungen, Ziel ist es, eine Linie des internen Werkshuttles zu untersuchen
August 2017	Projektvorstellung Stadtwerke Wolfsburg AG; Thema ist eine netzverträgliche Ausstattung der Ladeinfrastruktur; Einbeziehung der Wolfsburger Verkehrsbetriebe in die Planung von E-Buslinien
Januar 2018	Projektvorstellung RBB: Gewinnung einer regionalen Buslinie zur Streckenuntersuchung
Februar 2018	Projektvorstellung Stadtbus Goslar: Gewinnung einer Stadtbuslinie zur Streckenuntersuchung
April 2018	Projektvorstellung Hochbahn Hamburg: Erfahrungsaustausch, Information über Pantographen zur Ladung von Bussen
Mai 2018	Projektvorstellung Harzenergie: netzverträgliche Planung der Ladeinfrastruktur entlang der ausgewählten Streckenführung
Oktober 2019	Projektvorstellung Vorstand Wolfsburg AG

Darüber hinaus wurden die zentralen Ergebnisse des Projektes im kommunalen Elektromobilitätskonzept für die Stadt Zwickau verwertet.

Geplanten Veröffentlichung in der EFZN Schriftenreihe:

Arbeitstitel:

Abschlussbericht Hochleistungsbatteriesysteme in Verbindung mit sicherer Schnellladetechnik unter Berücksichtigung der Alterung

Hrsg.:

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck

Zuwendungsempfänger: Wolfsburg AG Ausführende Stelle: Digitalisierung und Mobilität	Förderkennzeichen: 03ET6107E
Vorhabenbezeichnung: Hochleistungsbatteriesysteme in Verbindung mit sicherer Schnellladetechnik (MoBat)	
Laufzeit des Vorhabens: 11/2016 bis 07/2020	
Berichtszeitraum: 01.11.2016 bis 31.07.2020	

-Kurzfassung-

-Die Verantwortung dieser Veröffentlichung liegt beim Autor-

Gefördert vom



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Zusammenfassende Darstellungen

Aufgabenstellung

Im Förderprojekt MoBat – Modulare Hochleistungsbatteriesysteme in Verbindung mit sicherer Schnellladetechnik hat die Wolfsburg AG zwei aufeinander aufbauende Arbeitspakete bearbeitet. Im Folgenden wird das Ergebnis vorgestellt.

Aufgabenstellung war die Untersuchung des Betriebes modularer Batteriesysteme im Kontext verschiedener Anwendungsfälle. Dafür wurden drei Buslinien identifiziert, wobei zwei Linien intensiver betrachtet wurden:

- die Regionalbuslinie 830 der Regionalbus Braunschweig GmbH (RBB),
- die Linie 801/802 der Stadtbus Goslar GmbH,
- der interne Werksverkehr im Volkswagen Werk Wolfsburg.

Die Tiguon Linie des internen Werkverkehrs wurde untersucht, die Auswertung konnte aber wegen fehlender, nicht freigegebener Daten nicht durchgeführt werden.

Neben der technischen Auslegung ist für die tatsächliche Umsetzung vor allem die Wirtschaftlichkeit des gewählten Ansatzes von ausschlaggebender Bedeutung. Die hierfür notwendigen Parameter wie Leistungsfähigkeit der Batterien, Lebensdauern, Energie- und Ladeinfrastrukturkosten usw. wurden im Rahmen des Projekts ermittelt, um sie im weiteren Projektverlauf zu nutzen. Ziel dieses Arbeitspakets war es, für eine Auslegung des Batteriesystems die nötigen Voraussetzungen zur Umsetzung des Konzepts für eine E-Buslinie mit Hochleistungsbatteriesystem und entsprechender Ladeinfrastruktur zu evaluieren. Entsprechend der nötigen oder möglichen technischen Parameter (wie z.B. Abstände zwischen Haltestellen, Energieverbräuche, mögliche Standorte für Ladestationen) wird anschließend empfohlen, das Batteriesystem auszulegen.

Die Auslegung des Batteriesystems und der Ladetechnik erfolgen iterativ und haben ihrerseits wieder Wirkung auf die Standortkonzeption und Routenführung einer oder mehrerer E-Buslinien.

Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Wolfsburg AG gemeinsam mit Stadt Wolfsburg und der Volkswagen AG seit mehreren Jahren im Bereich neuer und intelligenter Verkehrs- und Mobilitätskonzepte aktiv. Durch vielfältige Projekte verfügt die Wolfsburg AG über ein umfangreiches Netzwerk, dem u.a. kommunale Entscheidungsträger, Unternehmen, Energieversorger, wissenschaftliche Einrichtungen und Betreiber von ÖPNV angehören. Die Region Wolfsburg ist ein weltweit renommiertes

Kompetenzzentrum für Mobilität. Im Strategiefeld Digitale Mobilität begleitet die Wolfsburg AG den Transformationsprozess der Branche und der Angebote vor Ort hin zu modernen und digitalen Lösungen.

Durch verschiedene Vorarbeiten im Bereich Ladeinfrastruktur und Elektromobilität wurden die notwendigen Expertisen in das Projekt MoBat durch erfahrene Projektmanager eingebracht. Im Rahmen der strategischen Zielsetzung der Wolfsburg AG hat das Projekt einen Einfluss auf die Entwicklung der Wolfsburg AG und der Region Südostniedersachsen.

Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Ablauf des Projektvorhabens für die Wolfsburg AG wurde auf Basis von 2 Arbeitspaketen ausgeplant. Jedem Arbeitspaket wurden eine Bearbeitungsdauer (in Monaten), Leiter (Projektpartner) und Teilnehmer zugeordnet. Des Weiteren wurden die Arbeiten innerhalb der Arbeitspakete detailliert beschrieben und Teilaufgaben, samt Zuständigkeiten, definiert. Schließlich wurden Ergebnisse festgehalten, die im Rahmen des jeweiligen Arbeitspakets zu erbringen sind. Die sorgfältige Planung garantierte im Projektverlauf die zielgerichtete und planmäßige Bearbeitung der Aufgaben im Projektverbund. Darüber hinaus wurde zu Projektbeginn die Zusammenarbeit im Verbund abgestimmt, die in verschiedene Aktivitäten untergliedert wurde. Dazu zählen regelmäßige Verbundtreffen (abwechselnd bei jedem Projektpartner), Rücksprachen mit dem Konsortialführer und ein regelmäßiger Austausch innerhalb der Arbeitspakete.

Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn und Ende des Vorhabens

Die Bedeutung der Elektromobilität hat im Projektverlauf stark zugenommen. Gerade Busunternehmen suchen verstärkt nach Möglichkeiten, ihre Flotten zu elektrifizieren. Entsprechende Fördermöglichkeiten unterstützen diese Bestrebungen. Trotzdem bleibt es für die Betreiber der Flotten wichtig zu eruieren, neben Reichweiten auch Lademöglichkeiten zu optimieren.

Vor Beginn des Projektes gab es zum Thema Hochleistungsbatteriesysteme in Verbindung mit sicherer Schnellladetechnik (MoBat) keine Publikationen im Gesamtkontext. Im Zuge der durch die Bundesregierung geförderten Schaufensterprojekte konnten im Projektverlauf einige Veröffentlichungen identifiziert werden, die die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen bei Elektrobussen thematisierten. Abweichend zu diesen Veröffentlichungen bietet das in dem vorliegenden Projekt erarbeitete Auslegungstool die Möglichkeit, mit wenigen Faktoren einen

Überblick über Batteriegröße, Reichweite und Ladezyklen zu erlangen. Zusätzlich wurden im Teilprojekt Wirtschaftlichkeitsbetrachtung an konkreten Anwendungsfällen die Wirksamkeit des Auslegungstools durchgeführt.

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Wolfsburg AG hat von Beginn des Projektes an den Austausch zu weiteren Stakeholdern in Wolfsburg und der Region gesucht:

Volkswagen AG

Wolfsburg Verkehrsgesellschaft

Regionalbus Braunschweig GmbH

Stadtbus Goslar GmbH

Stadtwerke Goslar

Stadtwerke Clausthal-Zellerfeld

Stadtwerke Wolfsburg AG - LSW

Dabei spielten die verschiedenen Stakeholder relevante Rollen bei der Erforschung und Erprobung der Projektergebnisse und bei der Abschätzung der Integrations- und Adaptionfähigkeit der entwickelten Systeme in neue oder bereits vorhandene Dienstleistungsangebote.