

# Projekt Buffered-HLL: Ladestation mit Schwungmassenspeicher in Bensheim

von Stefan Göbel, Breisach



**15. November 2023, offizielle Inbetriebnahme der Ladestation am ZOB Bensheim (v.l.n.r): Dr. Hendrik Schaeede-Bodenschatz, Geschäftsführer der Adaptive Balancing Power GmbH, Martin Wissmüller, Verkehrsgesellschaft Gersprenzthal mbH, Michael Wißbach, Geschäftsführer CuroCon GmbH, Dr. Jan Marien, Leiter Forschung und Entwicklung der Isabellenhütte Heusler GmbH & Co. KG, Julian Brendel, Reiner Lemoine Institut, und Nicole Rauber-Jung, Erste Stadträtin der Stadt Bensheim**  
Sämtliche Aufnahmen: SG

Während die Elektrifizierung des ÖPNV in den großen Städten voranschreitet, gilt dies noch nicht für den ÖPNV in der Fläche. Der Einsatz von elektrisch angetriebenen Bussen bringt spezifische Anforderungen an die Ladeinfrastruktur mit sich, die in ländlichen Regionen teils noch schwerer zu erfüllen sind als in den Städten. Im Forschungs- und Entwicklungsprojekt Buffered-HLL (Zwischengespeichertes Hochleistungsladen für Busse) wird ein praxistaugliches Ladeinfrastruktur-Konzept erarbeitet, das eine Hochleistungsladestation zur Streckenladung von Elektrobussen (sowie eine netzorientierte Ladestation für Busdepots) beinhaltet. Das BHLL-System besteht aus einem Pufferspeicher, der Energie in einer Schwungmasse (Flywheel) speichert und wieder abgibt, einer Ladehaube und einem busmontierten Pantografen. Gerade für mittelständische Busunternehmen soll so der Einsatz von elektrifizierten Busflotten auch in Gebieten mit nur schwach ausgebauten Netzen attraktiver und wirtschaftlicher werden. Am 15. November 2023 wurde die im Zuge des Projekts Buffered-HLL am ZOB in hessischen Bensheim (Kreis Bergstraße) errichtete Ladestation offiziell in Betrieb genommen.

Die Ausgangslage des Projekts wird wie folgt beschrieben: „Anders als in Großstädten, wo Stadtwerke schon aufgrund der notwendigen Reduzierung von Luftschadstoff-Emissionen die Elektromobilität vorantreiben und fördern, haben Busunternehmen in ländlichen Gebieten meist weniger Anreize dazu und sind zudem einer größeren Kostensensibilität ausgesetzt,

was die Anschaffung geeigneter Fahrzeuge erschwert. Zudem legen die Busse im ländlichen Raum für gewöhnlich größere Strecken zurück und haben kürzere Pausen zwischen den einzelnen Fahrten. Deshalb stehen die E-Busse meist nicht lang genug an den Ladestationen, um ausreichend aufzuladen, was die Ladeinfrastruktur in ländlichen Gebieten vor ganz besondere Herausforderungen stellt“ [1, S. 11].

Mit dem zwischengespeicherten bzw. gepufferten Hochleistungsladen soll eine vergleichsweise niedrige Anschlussleistung der Ladestation mit einer punktuell relativ hohen Leistungsabgabe kombiniert werden. Dazu setzt das Projektkonsortium auf Schwungmassen-Energiespeicher, denen Energie zeitlich gestreckt bei mäßiger Leistung aus dem Stromnetz zugeführt werden kann, während sie diese Energie beim Ladevorgang des Busses in kurzer Zeit bei hoher Leistung wieder abgeben.

Als energetisch optimierter Hohlzylinder ist der Kreisel gefertigt aus hoch speicherfähigem Kohlenstoff-Material und rotiert mit bis zu 18.000 Umdrehungen pro Minute berührungsfrei in einer Magnetlagerung im Hochvakuum. Das System arbeitet mit einem Niederspannungsanschluss mit einem Eingang von 400 V AC, 50 Hz (Drehstrom) und zieht Ströme von 63 bis 250 A. Abgegeben werden 150 bis 1000 V DC, bis zu 500 A. Die zur Verfügung stehende Ladeleistung beträgt nominell 60 kW, in der Spitze („boost“) 300 kW. Bei der Bensheimer Pilotanlage wird dieses Spektrum sowohl beim Eingang wie beim Ausgang nicht voll ausgereizt. So wurden verschiedene Elemente zwischen dem Zeitpunkt der Fixierung von Zielwerten im Projektkontext und dem im Datenblatt dokumentierten aktuellen Stand weiterentwickelt. Auch gehört es zur Strategie eines Pilotprojekts, bestimmte Ziele im Sinne einer erweiterten Inbetriebnahme schrittweise zu erreichen.

Am 19. Juli 2023 wurde der erste ADAPTIVE Pantograph Booster zur Aufstellung in Bensheim ausgeliefert. Der Energiespeicher wiegt 5,5 t und misst 1,2 m x 2,4 m x 2,9 m (Breite x Länge x Höhe). Er wurde voll montiert angeliefert und auf ein vorbereitetes Betonfundament gesetzt.

Die maximale Distanz zwischen dem Container mit dem Schwungmassenspeicher und der Ladehaube (bis zu zwei sind möglich) beträgt 100 m. Das Schwungmassenspeicher-Ladesystem hat eine nominelle Leistung von 200 kW und speichert eine nutzbare Energie von 20 kWh. Der Wirkungsgrad des Systems wird mit 92 % angegeben. Man rechnet mit einer Lebensdauer von mehr als 1 Mio. Zyklen bzw. 25 Jahren. Die Betriebsgeräusche liegen unter 65 dB(A). Geliefert wurde das Speichersystem von der Adaptive Balancing Power GmbH (ABP). Der Hersteller hebt hervor, dass es sich um einen physikalischen Speicher handelt, der auf Batterie-Chemie verzichtet. Über 95 % der Bauteile seien frei von seltenen Erden, um die es scharfen internationalen Wettbewerb gebe. ABP-Geschäftsführer Dr. Hendrik Schaeede-Bodenschatz sagte, die Systeme können von den etablierten Maschinenbauunternehmen mit ihren vorhandenen Beschaffungsketten gebaut und nach Ende der Nutzungsdauer fast vollständig recycelt werden.

Laut Datenblatt wird der Energiespeicher laufend fernüberwacht. Wartungsaktivitäten am Einbauort können so auf einmal pro Jahr



**Als energetisch optimierter Hohlzylinder ist der Kreisel gefertigt aus hoch speicherfähigem Kohlenstoff-Material und rotiert mit bis zu 18.000 Umdrehungen pro Minute berührungsfrei in einer Magnetlagerung im Hochvakuum.**  
Abbildung: ABP GmbH



**Container des Rotationspeichers auf Betonfundament, platziert im Seitenbereich des ZOB abseits der Bussteige**

durch geschultes Personal begrenzt werden. Das Betriebstemperaturband wird mit  $-20\text{ °C}$  bis  $40\text{ °C}$  angegeben, bei einer Luftfeuchtigkeit  $< 85\%$ .

Das 2016 in Darmstadt gegründete Unternehmen ABP entwickelt und baut nachhaltige Hochleistungs-Speicherlösungen für den schnellen und flächendeckenden Ausbau der Ladeinfrastruktur, zum Ausgleich von Netzschwankungen und für die effiziente Nutzung von erneuerbaren Energien. Mit einer Leistung von bis zu 300 kW sind die skalierbaren Pufferspeicher geeignet für das schnelle Laden von elektrisch angetriebenen Pkw, Bussen und Lkw und dabei auch an Standorten installierbar, die nicht an für Schnellladevorgänge ausgelegte Stromleitungen angeschlossen sind. Neben ABP setzen vier weitere Konsortialpartner das BHLL-Projekt um. Konsortialführer ist das Unternehmen Isabellenhütte Heusler aus Dillenburger (Hessen), ein Hersteller von Messtechnikprodukten mit besonders langer Traditionslinie. Die Isabellenhütte gilt als das älteste Industrieunternehmen in Hessen und geht auf das 15. Jahrhundert (1482) zurück. Heute umfasst die Belegschaft über 1100 Menschen. Mit einer neuen Generation von Gleichstromzählern ermöglicht der Messspezialist eine eichrechtskonforme Erfassung der Energiemengen sowie eine cloudbasierte Bereitstellung aller gesammelten Daten, was eine intelligente und sichere Abrechnung gewährleistet. Die CuroCon GmbH aus Zwingenberg realisiert die gesamte Leistungselektronik sowie die Kommunikation zwischen Ladeinfrastruktur und Bus. Der Ingenieurdienstleister verfügt über viel Erfahrung im Bereich von Ladeinfrastruktur und bei der High-Tech-Automation industrieller Anlagen und Anwendungen im stationären, mobilen und energetischen Bereich.

Der Busbetrieb wird durch die Verkehrsgesellschaft Gersprenzthal mbH (VGG) mit Sitz in Reichelsheim (Odw.) und Bensheim realisiert. Die VGG wurde 1999 von den Unternehmen Sauter und Wißmüller gegründet, die beide noch heute bestehen und teils Reise- und Linienverkehr betreiben. Das Tochterunternehmen VGG wurde mit Blick auf den damals aufkommenden Wettbewerb aufgestellt. Das mittelständische Unternehmen betreibt derzeit sieben Linienbündel, die normalerweise zehn Jahre laufen. Die VGG hat 135 eigene Busse und Konzessionen für 200, d.h. fünf Kooperationspartner stellen zusammen weitere 65 Busse. Somit ist die VGG größer als ihre beiden Gründungsunternehmen, die heute etwa 40 plus 70 Busse betreiben.

Martin Wissmüller von der VGG sagte zur Motivation des Unternehmens, an dem Forschungs- und Entwicklungsprojekt Buffered-HLL teilzunehmen, dass es derzeit offen sei, wie der Verkehrsverbund Rhein-Neckar, der als Vergabestelle im Auftrag der Aufgabenträger (Landkreise und Städte) die Ausschreibungen durchführt, mit dem Thema Elektrifizierung umgeht; für ein in diesem Jahr zu vergebendes Linienbündel stehe die Brennstoffzelle im Raum. Trotz der Fördermittel musste sich die VGG bei der Beschaffung des Batteriebusse auch mit eigenen Mitteln engagieren, kann da-



**Ladehaube und Container für die Kommunikation zwischen Ladeinfrastruktur und Bus**



**Midi-Elektrobus VDL Citea LLE-99 Electric der VGG**

mit aber nun auch konkrete Erfahrungen mit dem Elektrobus sammeln. Während einige VGG-Regionalbus-Umläufe Laufleistungen von über 300 km/Tag haben, sind es bei den Bensheimer Stadtbuslinien weniger. Neben dem im Projektkontext beschafften Batteriebus gibt es fünf Diesel-Midibusse (10 m), die überwiegend auf den Stadtbuslinien fahren.

Das im Rahmen des Projekts eingesetzte Fahrzeug ist ein VDL Citea LLE-99 Electric. Der Bus wurde im Juni 2022 geliefert und ist seit September 2022 im Einsatz. Mitte 2023 hatte er rund 24.000 km auf dem Tacho. Die Verfügbarkeit ist gut. Aktuell wird der Bus vorrangig auf den Stadtbuslinien 671, 672 und 673 in Bensheim eingesetzt. Dabei kommt das Fahrzeug rund alle 30 Minuten am Bensheimer Bahnhof vorbei. Ein Ladehalt beim Ein- und Aussteigen von rund 150 Sekunden reicht für eine komplette Tour. Bisher beträgt der Verbrauch des VDL im Schnitt  $0,8\text{ kWh/km}$ . Der VDL hat nominell 180 kWh Batteriespeicher, von denen 140 kWh genutzt werden können. Bei dem in Bensheim demonstrierten Ladevorgang hieß es, der VDL lade nur nominell mit 240 kW (laut Bus-Datenblatt 260 kW); das wäre nur unter rundherum optimalen Bedingungen der Fall. Tatsächlich sind es meist eher 180 kW, wie im vorliegenden Fall. Diese lieferte der Speicher zu einem Drittel aus seiner direkten Anschlussleistung von 60 kW und zu zwei Dritteln aus der gespeicherten Rotationsenergie. In 2,5 Minuten wären bei 180 kW ca. 7,5 kWh zu übertragen, mit denen der Bus rechnerisch beim angegebenen Durchschnittsverbrauch gut 9 km fahren könnte. Danach



**Der VDL-Elektro-Midibus der VGG kann 66 Fahrgäste befördern; es gibt (laut Aufkleber) 28 Sitzplätze, einen Rollstuhlplatz und bis zu 40 Stehplätze.**



VDL beim Laden am ZOB Bensheim

dürfte der Rotationsspeicher etwas über fünf Minuten benötigen, um wieder auf das vorherige Niveau zu gelangen.

Das in Berlin ansässige unabhängige Reiner Lemoine Institut (RLI) leistet die wissenschaftliche Begleitung des Projekts und hat bereits in Berlin Studien zur Elektrifizierung von Bussen durchgeführt. Das Team hat sich der anwendungsorientierten Forschung für die Energie- und Verkehrswende in Deutschland verschrieben. Es untersucht, welche Auswirkungen die Schnellladungen auf das Stromnetz haben und wie eine wirtschaftliche Nutzung der Busse und Schnellladesäulen aussehen könnte. Die Übertragbarkeit des Konzepts auf andere Nutzungsszenarien ist ebenfalls Gegenstand der Untersuchungen.

Für das Projekt wurde im RLI die umfassende Umstellung des Betriebs der VGG auf batterieelektrische Antriebe (hier: ca. 100 Busse) untersucht. Aus betrieblicher Sicht ist eine Umstellung auf geeignete Elektrofahrzeuge mit Depotladung erstrebenswert. Wie Simulationen zeigen, ist dies aber mit der aktuellen Bustechnologie bei etwa 30 % der Umläufe nicht möglich. Deshalb müsste die VGG an 21 Endhaltestellen Ladeinfrastruktur für eine Zwischenladung aufbauen. „Für bis zu 16 dieser Haltestellen ist eine Zwischenladung an einer Schnellladestation mit Schwungrad-Pufferspeicher möglich. Dort wird dann nur ein Niederspannungsanschluss anstelle eines Mittelspannungsanschlusses benötigt. So muss kein Trans-

formator installiert werden, das System ist platzsparender und die Planung wird vereinfacht. Für diesen Fall reduzieren sich die Investitionskosten um knapp 2 Mio. Euro“, sagt RLI-Projektleiter Julian Brendel aus dem Bereich Mobilität mit Erneuerbaren Energien.

Wie eingangs erwähnt gehört auch eine „netzdienliche“ Ladestation im Busdepot zum Projektumfang. Diese besteht aus einer bidirektionalen Ladestation mit 80 kW DC-Leistung, die über ein Standard-CCS2-Ladekabel den Bus lädt. Die Ladestation enthält zusätzlich ein netzdienliches Energiemanagement, das über ein Smart-Meter-Gateway mit dem Energieversorger kommunizieren kann. Das Energiemanagement kontrolliert auch weitere AC-Wallboxen für die Ladung der vorhandenen batterieelektrischen Pkw. Durch das Energiemanagement können Lastspitzen im Versorgungsnetz oder eine Überlastung des Netzanschlusses vermieden werden, Fahrzeuge dann geladen werden, wenn im Netz günstiger Strom zur Verfügung steht, und durch das bidirektionale Laden des Busses kann auch Energie aus der Fahrzeugbatterie entnommen werden und weiteren Verbrauchern im Betriebshof zur Verfügung gestellt werden, wenn z.B. der Strom aus dem Netz teuer ist. Gleichzeitig stellt das Energiemanagement sicher, dass die Batterie des elektrischen Busses für den nächsten geplanten Umlauf genügend geladen ist.

Laut der Programmbroschüre „Elektro-Mobil“ fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsprojekte. „Um sowohl die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie zu stärken als auch die energie- und klimapolitischen Potenziale der Elektromobilität zu erschließen“, heißt es darin, „fördert das BMWK mit dem Programm „Elektro-Mobil“ 58 Forschungs- und Entwicklungsprojekte mit rund 321 Millionen Euro.“ Nach Angaben des Ministeriums tragen die geförderten Projekte dazu bei, die Gesamtsystemkosten der Elektromobilität zu senken, die industrielle Produktion weiterzuentwickeln und Innovationen zu realisieren [1, S. 1]. Das Projekt Buffered-HLL wird durch das BMWK mit 2,3 Mio. EUR gefördert. ■ ■

[1] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (Hg.): Elektro-Mobil Programmbroschüre, Redaktion: Begleit- und Wirkungsforschung „Elektro-Mobil“, TÜV Rheinland Consulting GmbH, Stand Mai 2022