

Lithium-Ionen Fahrbatterien

Ein neuer Antrieb für das zweite Jahrhundert der Ubootfahrerei

Raimund Wallner, 7. November 2018

Am 4. Oktober diesen Jahres lief in Kobe/Japan bei der Werft Mitsubishi Heavy Industries (MHI) die 11. Einheit der SORYU-Klasse vom Stapel und wurde auf den Namen ORYU (zu deutsch "Phönix-Drache") getauft. Das Besondere daran: ORYU beendet eine über hundert-jährige technische Tradition, weil es das erste Uboot der Welt ist, dessen Fahrbatterie nicht mehr aus Blei-Säure- sondern aus Lithium-Ionen-Zellen (Li-Ion) besteht. Soviel Vertrauen haben die Maritimen Selbstverteidigungskräfte (MSDF) in die neue Technologie, dass sie zudem vollständig auf die vier Stirling-Motoren schwedischer Provenienz verzichteten, die bei den zehn Vorgängerbooten als außenluftunabhängiger Antrieb (AIP) dienten. Dies gilt auch für die verbliebenen Baunummern 12 bis 14 der Klasse.



Wenig später, am 19. Oktober, kündigte thyssenkrupp Marine Systems (tkMS) in einer Presseerklärung an, dass Ende Oktober auf der internationalen Rüstungsmesse EURONAVAL bei Paris erstmals der Prototyp eines neuen Li-Ion-Batteriesystems des Typs LFP¹ der Öffentlichkeit präsentiert wird. Das mit der französischen Firma Saft zusammen entwickelte System sei Teil einer Studie im Auftrag des deutschen BAaINBw "um die Integration in neue Ubootprojekte der HDW-Klasse 212 und auch Nachrüstlösungen für bestehende Plattformen zu unterstützen". Daraus kann geschlossen werden: Die Li-Ion Fahrbatterie-Entwicklung hat das deutsch-norwegische Gemeinschaftsprojekt 212CD zum Ziel und könnte bei erfolgreichem Ausgang die Blei-Säure-Technik auf den deutschen und italienischen Booten der Klasse 212A ersetzen. Außerdem seien "Konzepte für ein adaptiertes Design zur Integration in die HDW-Klasse 214 geplant" heißt es weiter in der Erklärung.

¹Lithium-Eisen-Phosphat. Typisierung erfolgt nach dem Material der Kathode (Plus-Pol)

Natürlich zauberten weder die Japaner noch tkMS ihre Li-Ion-Lösungen aus dem Hut. Das damalige BWB finanzierte schon in den Jahren 2007 bis 2009 Forschungen mit einem beträchtlichen Haushaltsmittelansatz in einem eigenen Technologiefeld "*Neue Batterietechnologien für Uboote*". Die Untersuchungen wurden von HDW in Kooperation mit der inzwischen insolventen Thüringer Batterie-Firma GAIA durchgeführt. Die amtlichen Vorgaben umrissen bereits die Vorteile der Li-Ion-Technik: Im Vergleich zu Blei-Säure-Batterien deutlich höhere Kapazität, Wartungsfreiheit, reduzierte periphere Technik (Wegfall von Kühlung, Säureumwälzung), längere Lebensdauer, Gasungsfreiheit, unempfindliches Ladeverhalten, Reduzierung der Lebenswegkosten. Hinzu kommt: Kein "Memory-Effekt", d.h. aus jedem Ladezustand heraus kann geladen werden, keine Ladestufen, Laden mit hohem Strom und bis nahezu 100% in See, was bei Blei-Säure-Technik nur mit einer Voll-Ladung im Hafen möglich ist.

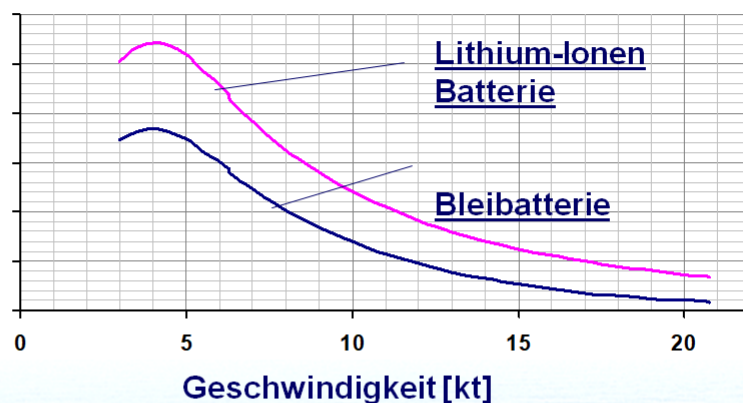


Als Prototyp entstand ein 23-Zellen-Modul mit 485 Ah, das die Größe einer herkömmlichen Blei-Säurezelle hatte (aber erheblich leichter war) und somit in die bestehenden Batterieräume passte. Eine solche Batterie vom Typ NCA², wie sie die Werft MHI in Kooperation mit dem Batteriehersteller Yuasa nun auch auf ORYU implementiert hat, verspricht Leistungsparameter, die erklären, warum die Japaner sogar auf ihre Stirling-AIP verzichten: Eine 1,5fach höhere Reichweite gegenüber Blei-Säurebatterien bei niedrigen Geschwindigkeiten und eine um das 4fache verbesserte Reichweite im Höchstfahrtbereich!

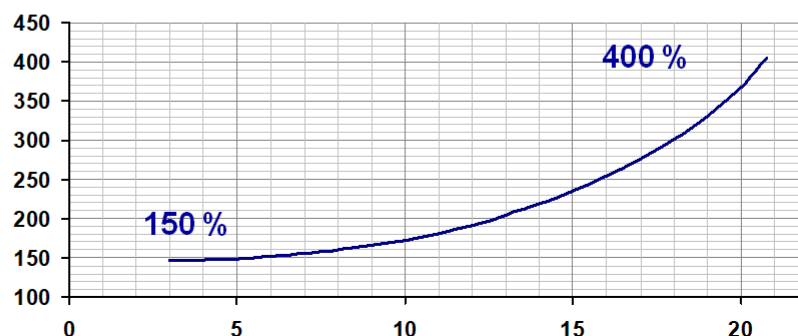
Unterwasserfahrbereich

Quelle: HDW

Unterwasserfahrbereich

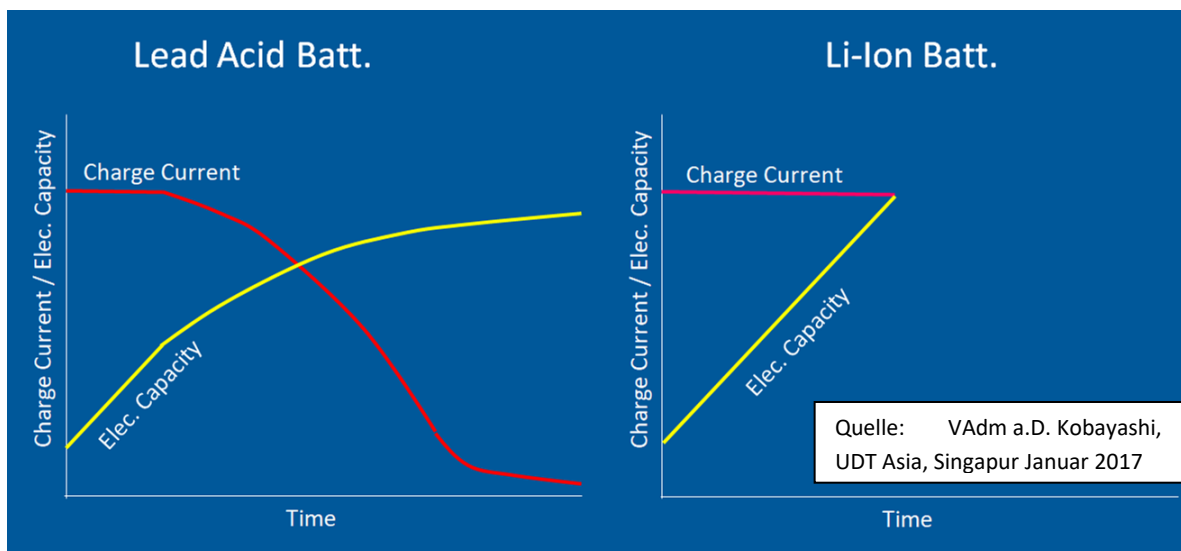


Fahrbereich im Vergleich zur Bleibatterie



² Nickel-Cobalt-Aluminium-Oxid. Typisierung erfolgt nach dem Material der Kathode (Plus-Pol)

Besonders für ein so großes Uboot wie die SORYU-Klasse (ca. 4.000 t getaucht) mit einem relativ hohen Zielmaß (Target Echo Strength) ist durchhaltefähige Sprintfähigkeit überlebenswichtig, um aus dem Ortungsradius einer U-Jagd-Plattform entweichen zu können. Die Japaner halten das auf Grund ihrer Erfahrungen mit den bisherigen Booten für so wichtig, dass sie demgegenüber AIP als nachrangig und deshalb für verzichtbar beurteilten. Das dadurch gewonnene Volumen wird nun ab dem 11. Boot stattdessen für die Installation von umso mehr Li-Ion Batteriezellen verwendet. In der MSDF spricht man von (mit Dieselmotoren) "wieder aufladbarer AIP" im Unterschied zu Stirling oder Brennstoffzelle (BZ), deren Gewicht und Volumen nutzlos wird, wenn die Reaktanten verbraucht sind. Darüber hinaus werden neue, leistungsstärkere Dieselmotoren (einschließlich größeren Luftzufuhr- und Abgasleitungen sowie Anpassungen der gesamten Bordelektrik) installiert um einen der Hauptvorteile der neuen Technologie voll nutzen zu können: Den kontinuierlich hohen Ladestrom. Jeder Ubootfahrer weiß, dass bei Erreichen der Gasungsspannung der Blei-Säurebatterien der Ladestrom stetig reduziert werden muss (bis hin zum Weiterladen mit nur einem statt zwei Dieseln), um das Entstehen von Wasserstoff über ein gefährliches Maß hinaus zu verhindern. Vizeadmiral a.D. Masao Kobayashi - ehemals KdU der MSDF - trug im Januar 2017 auf der UDT-Asia in Singapur zum Thema vor und erlaubte mir, Inhalte seiner Präsentation für diesen Artikel zu nutzen. Die Abbildung zeigt deutlich den Zeit- und Kapazitätsgewinn von Li-Ion gegenüber Bleisäure:



Während mit der alten Technik im Seebetrieb selbst bei Ausnutzung des geringstmöglichen Ladestroms und entsprechend langer Ladezeit (was im taktischen Schnorchelbetrieb ohnehin unmöglich ist) nur bis zu maximal 80% der vollen Kapazität erreicht wird, erlaubt die Li-Ion-Technik nahezu 100% und zwar in einem Bruchteil der Zeit. Die so um ein Mehrfaches verbesserte Schnorchelrate kann im Krieg den Unterschied zwischen Leben und Tod ausmachen!

In Japan begannen die Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Li-Ion-Technik für Uboote 2005, also etwa zur selben Zeit wie in Deutschland. 2015 wurde der Mittelansatz im Verteidigungshaushalt für die Implementierung auf der SORYU-Klasse ab Baunummer 11 bewilligt, Im März 2020 wird ORYU der Flotte übergeben. Eine Vorstellung davon, wie teuer diese ganze Maßnahme kommt - Umkonstruktion des Basisentwurfs SORYU plus Hardware - ergibt sich aus der Höhe des Mittelansatzes: Umgerechnet ca. 100 Mio Euro für 4 Boote. Die MSDF entschied sich wegen seiner extrem hohen Energiedichte für den Li-Ion-Typ NCA, der in vielen Industrieanwendungen erfolgreich eingeführt ist, aber auch zahlreiche Unfälle,

(Brände bis hin zu Explosionen) zu verzeichnen hat. Mit entsprechend aufwändigem Batteriemangement-System und tausenden von Betriebsstunden an Tests ist die MSDF jedoch überzeugt, die Technologie sicher beherrschen zu können.

Dennoch wird parallel zum Typ NCA der Typ LTO³ der Firma Toshiba verfolgt, der heute in Elektroautos überwiegend genutzten Technik, die eine geringere Energiedichte aufweist. LTO wurde im Rahmen des Wettbewerbs um das australische Ubootprojekt SEA 1000 als Fahrbatterie des japanischen Entwurfs angeboten. Der Hauptvorteil gegenüber dem Typ NCA ist die Sicherheit. Die im Zusammenhang mit Li-Ion-Technik latente Gefahr eines "thermal runaway"⁴ (allgemein bekannt z.B. bei Handy-Überhitzungen) kann bei LTO praktisch ausgeschlossen werden und die Technik wird von Experten sogar als sicherer eingeschätzt als die Blei-Säurebatterie mit ihrem Risiko einer Wasserstoffexplosion. Weitere Vorteile des Typs LTO sind kürzere Ladezeiten als NCA (leistungsgesteigerte Diesel vorausgesetzt), erheblich geringere Kosten, die höchste Anzahl an Ladezyklen (mehr als 15.000) und er besitzt auch bei niedrigsten Temperaturen die besten Entladecharakteristiken.

Nach Admiral Kobayashis Einschätzung werden sich in naher Zukunft folgende Antriebsvarianten bei nichtnuklearen Ubooten, abhängig von Einsatzcharakteristika bzw. verfügbaren Haushaltsmitteln, ergeben:

Entscheidungs-Kriterium	Antriebsvariante (Li-Ion-Typ)
Hohe Mobilität, große Transitstrecken	NCA ohne AIP + Diesel
Patrouillen- und Randmeeroperationen	BZ + LTO + Diesel
Einsparungen als Treiber	LTO + Diesel

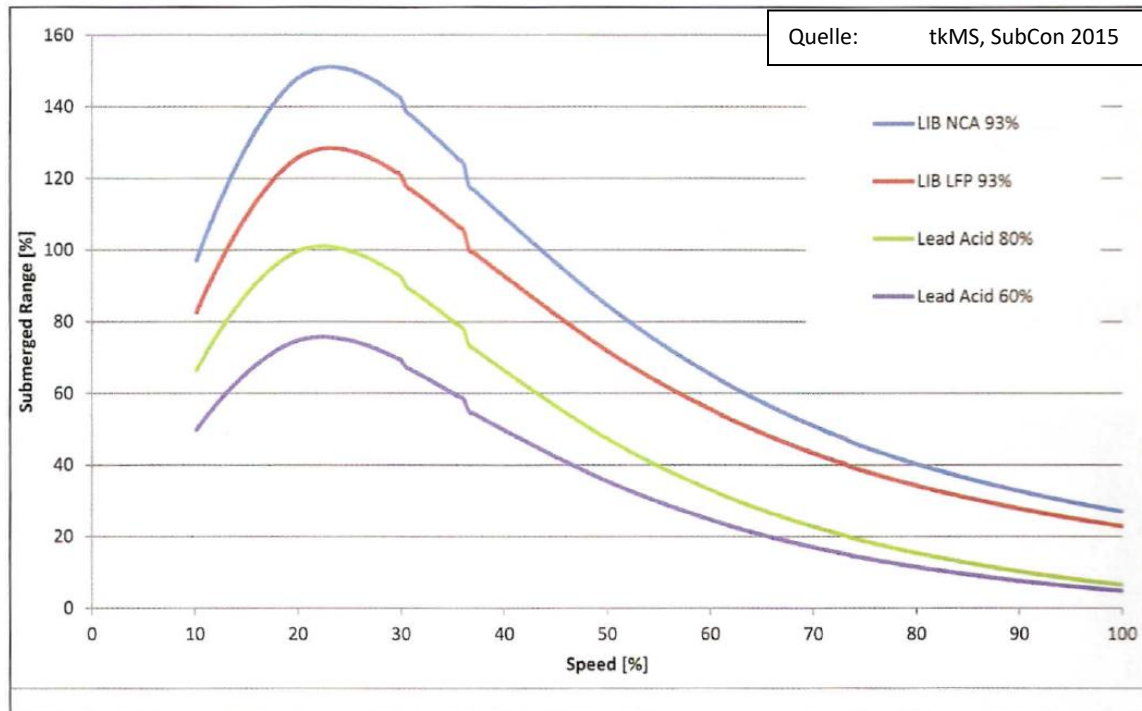
Für die deutsche Zukunft im Ubootantrieb wird der Typ LTO nicht ins Auge gefasst, sie fokussiert sich stattdessen auf den Typ LFP. Der Aspekt "Sicherheit" ist wohl - genauso wie bei LTO - der Grund, warum tkMS (entgegen des ursprünglich mit Firma GAIA verfolgten Typs NCA) nun in der Zusammenarbeit mit der französischen Firma Saft zum Typ LFP übergegangen ist. Die eingangs vorgestellte Entwicklung mit GAIA basierte auf einer für das Uboot maßgeschneiderten Lösung mit einem großen 23-Zellen-Modul des Typs NCA von 485 Ah Kapazität, die dann wie eine herkömmliche Blei-Säurebatterie zu Teilbatterien zusammengesaltet werden sollten. Der "Saft-Ansatz" dagegen greift als kleinstes Batterieelement auf eine relativ kleine, zylindrische 40 Ah Standardzelle aus kommerziellen Anwendungen des Typs LFP zurück. Die Zellen sollen dann in Reihenschaltung zu Ketten zusammengefasst werden, die Ketten wiederum in Parallelschaltung zu Teilbatterien⁵.

LFP-Zellen sind feuerfest bei Überladung, sehr widerstandsfähig bei Kurzschlüssen und unempfindlich gegen Hitze; auch bei diesem Typ ist ein "thermal runaway" ausgeschlossen. Der einschlägigen Fachliteratur zufolge haben kommerzielle Zellen eine Lebensdauer von 1.000 bis 1.500 Ladezyklen. Es ist davon auszugehen bzw. zu hoffen, dass tkMS/Saft eine substantielle Erhöhung dieses Wertes gelungen ist.

³ Lithium-Titanat-Oxid; bei diesem Typ ist die Anode (Minus-Pol) statt aus Graphit, wie bei den meisten anderen Li-Ion-Typen, aus LTO

⁴ Kann auftreten bei äußerer Beschädigung der Zelle, bei Kurzschlüssen, bei Überladung oder Tiefentladung und führt zur Entwicklung von toxischen, entflammaren Gasen, gefolgt von Batteriebrand und ggf. Explosion

⁵ Für eine ausführliche Abhandlung s. "Lithium-Ion Batteries for Submarines" von A. Janke und B. Nagorny (bei de tkMS), NAVAL FORCES Conference Proceedings SubCon 2015, S. 45 ff



Auf der von tkMS im Vierjahresrhythmus veranstalteten "SubCon" wurde 2015 das Auditorium über Strategie und technische Lösungen für den deutschen Ubootbau informiert, u.a. mit einer vergleichenden Gegenüberstellung der Li-Ion-Typen NCA und LFP relativ zur herkömmlichen Blei-Säurebatterie. Die Grafik berücksichtigt das bei Li-Ion-Batterien auch in See in der Regel erreichbare hohe Ladeniveau von 93% und stellt die daraus resultierende, fahrtabhängige Leistungskurve der einer Blei-Säurebatterie mit 80% bzw. 60% in See erreichbarem Ladeniveau gegenüber. Aus der Grafik wird für den japanischen Typ NCA der bereits eingangs vorgestellte 1,5fache bzw. 4fache Reichweitengewinn bei Niedrigfahrt bzw. Höchstfahrt deutlich. Der deutsche Typ LFP weist eine geringfügig schwächere Leistungskurve auf.

Fazit

Japan wird als erste Ubootnation mit der Indienststellung des Li-Ion-Bootes ORYU im März 2020 ein neues Kapitel der Ubootfahrt aufschlagen. Jede andere Uboote betreibende und bauende Nation wird dem japanischen Vorbild folgen müssen, wenn sie ihre operative und rüstungsindustrielle Zukunft unter Wasser nicht aufs Spiel setzen will. Deutschland hat auf Basis der bisher öffentlich gemachten Planungen hinsichtlich der Li-Ion-Technik gute Aussichten, diesen Anschluss nicht zu verpassen. Vehikel und Katalysator dafür ist aus Sicht dieses Verfassers, dass die deutsch-norwegische Kooperation im Projekt 212CD konsequent und planmäßig zum Erfolg geführt wird.

Die Sicherstellung der personellen und materiellen Einsatzbereitschaft der eigenen Ubootwaffe - was nicht zuletzt auch die Nachrüstung mit Li-Ion-Batterien einschließen muss - ist dafür eine Grundvoraussetzung. Vernachlässigung dieser geradezu geschichtsträchtigen deutschen Kompetenz würde den Verlust der Kooperationsfähigkeit bedeuten. Erfahrungsgemäß sind darüber hinaus für das Projekt nicht nur ausreichend Haushaltsmittel unerlässlich, sondern auch ein gerüttelt Maß an Fachkompetenz bei Industrie, Marine und Amtsseite, flankiert durch Flexibilität, Verhandlungsgeschick und Kompromissbereitschaft mit einem selbstbewussten Partner.