



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Verkehr BAV
Programm Umsetzung der Energiestrategie 2050
im öffentlichen Verkehr (ESöV 2050)

Elektrifizierung des MS HEIMAT

Ein Projekt der Schifffahrts-Genossenschaft Greifensee

Schlussbericht

Allen Fuchs, Projektleiter Elektrifizierung e-MS HEIMAT

Schifffahrts-Genossenschaft Greifensee

Seestrasse 35, 8124 Maur, allen.fuchs@afuchs.ch, www.sgg-greifensee.ch



e-MS HEIMAT nach dem Umbau des Antriebs

Auftragnehmer und Lieferanten

Martin Einsiedler, Shiptec AG, Mitglied der Geschäftsleitung, Lieferant Umbau des Antriebes
Florian Räber, Shiptec AG, Projektleiter Umbau des Antriebes
Sebastian Wang-Hansen ZEM, Zero Emission Maritim, Norwegen, Projektleiter Systemunterlieferant
www.shiptec.ch ; www.zemenergy.com

Impressum

Herausgeberin:
Bundesamt für Verkehr BAV
Programm Umsetzung der Energiestrategie 2050 im öffentlichen Verkehr (ESöV 2050)
CH-3003 Bern

Programmleiter
Tristan Chevroulet, BAV

Projektnummer: 240_Elektrifizierung MS HEIMAT
Bezugsquelle
Kostenlos zu beziehen über das Internet
www.bav.admin.ch/energie2050

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor –in oder sind ausschliesslich die Autoren –
innen dieses Berichts verantwortlich.

Bern, den 30.8.2022

Inhalt

Executive Summary in Deutsch	2
Executive Summary en Français.....	2
Executive Summary in english	3
Zusammenfassung in Deutsch.....	3
Zusammenfassung in einer zweiten Landessprache	7
1. Ausgangslage	10
2. Ziele der Arbeit	10
3. Forschungsansatz und aktueller Wissensstand	11
4. Ergebnisse.....	13
4.1 Machbarkeitsstudie II	13
4.2 Ausschreibung und Offerten	14
4.3 Planung und Plangenehmigung	14
4.4 Umbau des Schiffes.....	17
4.5 Inbetriebsetzung, Abnahme durch das BAV und Schulung	18
4.6 Bau einer Photovoltaikanlage	18
4.7 Projektkosten	18
4.7 Finanzierung	19
4.8 Leuchtturmprojekt und mediale Begleitung	20
5. Diskussion	20
5.1 Nachweis der Machbarkeit	20
5.2. Spezifikation für die Ausschreibung	21
5.3 Ausschreibung	21
5.4 Speichergösse	21
5.5 Bestellungsumfang	21
5.6. Engineering.....	21
5.7 Unvorhergesehenes	22
5.8 Plangenehmigung und Schiffsausweis.....	22
5.9 Schulung	22
5.10 Betrieb und Technik.....	23
5.11 Energie-Verbrauch.....	24
5.12 Wartung	24
5.13 Systemleistungen und Verfügbarkeit.....	24
5.14 Projektkosten	25
5.15 mediale Begleitung - Leuchtturmprojekt.....	25
6. Schlussfolgerungen, Empfehlungen und Dank	25
Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	26
Anhang	26

Executive Summary in Deutsch

Ausgangslage für die Elektrifizierung des MS HEIMAT waren die besonders geeigneten Einsatzverhältnisse auf der ZVV-Strecke Maur-Uster-Maur und die Möglichkeit, nur noch die Hälfte der Energie und zudem erneuerbare Energie einzusetzen. Der Umbau des Schiffes von 1933 ermöglicht eine nachhaltige Weiterverwendung des im Jahre 2017 totalrevidierten Schiffes. Die Schifffahrts-Genossenschaft Greifensee ist eine Genossenschaft mit 1800 Genossenschafterinnen und Genossenschafte rn. Sie betreibt seit 1890 die Schifffahrt auf dem naturgeschützten Greifensee.

Ziel war es, die Umrüstung auf Elektroantrieb als Leuchtturmprojekt zu realisieren und dabei eine schlüsselfertige Lösung durch erfahrene Schiffsbauunternehmen zu realisieren.

Die Machbarkeitsanalyse zeigte, dass ein Tagesbedarf von 85 kWh Energie und eine Batteriegrösse von rund 70 kWh mit Nachladungen während des Tages oder eine Batterie mit rund 135 kWh mit nur Nachladung möglich war. Es war neben dieser Auslegung auch auf die Einhaltung der hydrostatischen Stabilität zu achten, da das Schiff schon vor dem Umbau keine wesentlichen Reserven an Freibord und Krängung aufwies.

Die öffentliche Ausschreibung führte aufgrund von günstigeren und einfacheren Offerten von anderen Lieferanten zu einem bisher in den Machbarkeitsstudien nicht verfolgten System von ZEM, Norwegen, als Unterlieferant von Shiptec AG, Luzern. Es sind drei Batterien mit Lithium-Ionen-Zellen (NMC), Akazem mit insgesamt 99 kWh Kapazität und maritimer Zulassung verbaut. Der industrielle Elektromotor weist eine Leistung von 40 kW und ein Drehmoment von 620 Nm aus und ist ebenfalls wie die übrigen Komponenten des Systems maritim zertifiziert. Es wurde eine schlüsselfertige Lieferung mit guter Qualität bestellt.

Das Plangenehmigungsverfahren verlief ohne wesentliche Probleme. Die Planung dauerte 3,5 Monate, die Realisierung ebenfalls 3,5 Monate.

Die Kosten für die Elektrifizierung inkl. einer nachträglich beschlossenen Photovoltaikanlage betragen rund CHF 865'000.- inkl. MWSt. Neben Eigenleistungen trugen finanzielle Beiträge des Programmes Energiestrategie 2050 öV des Bundes, des Gemeinnützigen Fonds des Kantons Zürich, Beiträge von Städten und Gemeinden des Bezirkes Uster und private Spenden und Sponsorenleistungen zum Projekt bei. Die für die Amortisationen zu beachtende technische Lebensdauer liegt für die Hauptbatterien inkl Batteriemangement bei 10 Jahren, für das Steuerungssystem bei 20 Jahren und für die übrigen Leistungen inkl. Anpassungen des Schiffes bei 30 Jahren.

Das Projekt konnte in der geplanten Zeit, im Rahmen des Kostenvoranschlages realisiert werden und erfüllt die Aufgabe nach den üblichen Anfangsschwierigkeiten ohne Einschränkung vollumfänglich.

Executive Summary en Français

Le point de départ de l'électrification du MS HEIMAT a été les conditions d'exploitation particulièrement adaptées sur le trajet ZVV de Maur-Uster-Maur et la possibilité d'utiliser seulement la moitié de l'énergie et aussi des énergies renouvelables. La transformation du bateau datant de 1933 permet une réutilisation durable du bateau, qui a été complètement restauré en 2017. La Schifffahrts-Genossenschaft Greifensee est une coopérative de 1800 membres. Depuis 1890, elle exploite la navigation sur le lac protégé du Greifensee.

L'objectif était de convertir le bateau à la propulsion électrique en tant que projet phare et d'installer une solution clé en main par des entreprises de construction navale expérimentées.

L'analyse de faisabilité a montré qu'un besoin quotidien de 85 kWh d'énergie et une taille de batterie d'environ 70 kWh avec des recharges pendant la journée ou une batterie d'environ 135 kWh avec seulement une recharge de nuit était possible. En plus de cette conception, il était également nécessaire de s'assurer du respect de la stabilité hydrostatique, car le bateau ne disposait pas de réserves significatives de franc-bord et de talon avant la conversion.

En raison d'offres moins chères et plus simples d'autres fournisseurs, l'appel d'offres public a conduit à un système de ZEM, Norvège, en tant que sous-traitant de Shiptec AG, Lucerne, qui n'avait pas encore été poursuivi dans les études de faisabilité. Trois batteries ont été installées avec cellules au lithium-ion (NMC), Akazem d'une capacité totale de 99 kWh et homologuées pour le secteur maritime. Le moteur électrique industriel a une puissance de 40 kW et un couple de 620 Nm et est également homologué pour le secteur maritime.. Une livraison clé en main a été commandée.

Le processus d'approbation de la planification s'est déroulé sans problèmes importants. La planification a pris 3,5 mois, la réalisation 3,5 mois.

Les coûts de l'électrification, y compris un système photovoltaïque décidé par la suite, se sont élevés à CHF 865'000.- incl. TVA. Outre les contributions propres, des contributions financières du Programme de stratégie énergétique 2050 de la Confédération, du Fonds à but non lucratif du canton de Zurich, des contributions de communes du district d'Uster et des dons et parrainages privés ont contribué au projet.

Le projet a pu être réalisé dans les délais prévus, dans le cadre du devis, et remplit pleinement sa mission, sans restriction, après les difficultés initiales habituelles. .

Executive Summary in english

The starting point for the electrification of the MS HEIMAT was the particularly suitable operating conditions on the ZVV-route Maur-Uster-Maur and the possibility of using only half of the energy and also renewable energy. The conversion of the ship from 1933 enables a sustainable use of the ship, which was completely revised in 2017, in the long term. The Schiffahrts-Genossenschaft Greifensee is a cooperative with 1800 cooperative members. Since 1890, it has been engaged in the shipping on the protected Greifensee.

The aim of the project was to implement the conversion to electric propulsion as a lighthouse project and to install a turnkey solution by experienced shipbuilding companies.

The feasibility analysis showed that a daily requirement of 85 kWh of energy and a battery size of around 70 kWh with recharges during the day or a battery with around 135 kWh with only night charging was possible. In addition to this design, it was also necessary to ensure compliance with the hydrostatic stability, as the ship did not have any significant reserves of freeboard and heel even before the conversion.

Due to cheaper and simpler offers from other suppliers, the public tender led to a system of ZEM, Norway, as a subcontractor of Shiptec AG, Lucerne, which had not yet been pursued in the feasibility studies. There are three batteries with lithium-ion cells (NMC), Akazem, with a total capacity of 99 kWh and maritime approval. The industrial electric motor has an output of 40 kW and a torque of 620 Nm and is also, as all the other components of the system maritime certified. A turnkey delivery was ordered.

The planning approval process proceeded without significant problems. The planning took 3.5 months, the realization 3.5 months.

The costs for the electrification including a subsequently decided photovoltaic system amounted to CHF 865'000.- incl. VAT. In addition to own contributions, financial contributions from the Federal Government Energy Strategy Programme 2050, the Non-Profit Fund of the Canton of Zurich, contributions from municipalities in the district of Uster and private donations and sponsorships contributed.

The project could be realized in the planned time, within the framework of the cost estimate and fulfills the task after the usual initial difficulties without any restriction.

Zusammenfassung in Deutsch

Das Projekt der Elektrifizierung des MS HEIMAT hat früh den Charakter eines Leuchtturmprojektes mit entsprechender Medienaufmerksamkeit gewonnen und konnte bis zur Realisierung des Projektes von regionaler bis auf nationale Ebene SRF (Radio) begeistern.

Ausgangslage war, dass der Kurs für den Zürcher Verkehrsverbund auf der kurzen Strecke Maur-Uster-Maur gute Rahmenbedingungen für den Einsatz von elektrischen Batterien bot und im Rahmen der Strategie 2050 im öffentlichen Verkehr die Möglichkeiten der Energieeffizienz, der Dekarbonisierung und des nachhaltigen Umweltschutzes gesucht wurde. Das Schiff stammt aus dem Jahre 1933 und wurde im Jahre 2017 gründlich restauriert. Die SCHIFFFAHRTS-GENOSSENSCHAFT GREIFENSEE ist eine Genossenschaft gemäss dem Obligationenrecht und somit privatrechtlich organisiert. Sie verfügt über rund 1800 aktive Genossenschafterinnen und Genossenschafter aus der Region. Sie hat u.a. mit dem ZVV eine Transportvereinbarung für den öffentlichen Verkehr auf der Strecke Maur-Uster und zurück für das ganze Jahr mit stündlichen Kursen. Eine eigentliche Verdichtung des Fahrplanes ist nach Auskunft des ZVV nicht geplant.

Das Projekt hatte **zum Ziel**, das MS HEIMAT aus dem Jahre 1933 von Diesel- auf Elektroantrieb umzurüsten, dies im Sinne der Ressourcenschonung und im Hinblick auf Klimaneutralität. Es galt die Kosten zu optimieren und die Anpassungen am Schiff auf ein Minimum zu beschränken, die Gewichtsauslegung und weitere Faktoren zu optimieren, den Einsatzbedarf mit der Grösse der Batterien und die

Ladezyklen in Einklang zu bringen und die Bedienbarkeit durch die Teilzeit-Schiffsführerinnen und Schiffsführer sicherzustellen und zu optimieren. Die Verlässlichkeit im Einsatz, insbesondere der Kursstrecke zwischen Maur und Uster, ist eine wichtige Voraussetzung für die Realisierung. Schlussendlich soll der elektrische Antrieb eine nachhaltige Lösung mit Verbesserung der Gesamtbilanz im Naturschutzgebiet des Greifensee ermöglichen.

Einstieg in das Projekt war eine kleine Machbarkeitsstudie in welcher mit Drehmomentmessungen die erforderliche Antriebskraft während der Fahrt und beim Notstopp ermittelt wurde. Anhand eines Tagesfahrprofils wurde die Energiebilanz gebildet. Es waren, inkl. Reserve von 10 kWh, 85 kWh pro Tag bereitzustellen. Auf dieser Basis gab es zwei Varianten: eine Lösung mit Nachladung während des Tages und kleinerem Energiespeicher und eine Lösung mit grösserer Batterie und dementsprechend nur Nachladung. Die Möglichkeit mit Nachladungen während des Tages war insbesondere möglich, da der Kurs während dem ganzen Jahr im Stundentakt sichergestellt wird. Es waren Zusatzfahrten im üblichen Ausmass miteinzubeziehen. Zwingende Anforderung war, dass das bisherige Tempo von 15 km/h auf Dauer und ein Transport von 60 Personen weiterhin möglich sind. Kritische Grenze war die Hydrostabilität, da die Reserven gegenüber dem gesetzlichen Mindestmass schon vor dem Umbau gering waren. In dieser Phase wurde dennoch bewusst auf ein Engineering verzichtet und anhand der auszubauenden Gewichte und dem Gewicht des neuen Systems durch Fachleute eine Beurteilung gemacht. In der Machbarkeitsstudie wurden drei Systeme als Varianten dargelegt. Hätte man eine Engineeringphase eingeschaltet, wäre es notwendig gewesen, das System zu präjudizieren, weil die Komponenten aufeinander abgestimmt sein sollten. Damit wäre der Wettbewerb in der Ausschreibung nicht mehr möglich gewesen.

Aufgrund der verhältnismässig hohen Beiträge der öffentlichen Hand wurde das Projekt als schlüsselfertige Lieferung gemäss löVB ausgeschrieben. Wir haben in Unkenntnis der wirklichen Marktpreise die kleine Version mit Nachladungen am Tag und mit einem Motor ausgeschrieben und dabei Optionen für weitere Batterien offerieren lassen. Im Rahmen der Ausschreibung meldete sich der Mitinhaber von ZEM aus Norwegen. Er entschied sich, nicht selbst zu offerieren und suchte die Kooperation mit Shiptec AG in Luzern. Diese wiederum offerierte mit Priorität das von ZEM als Unterlieferant zu liefernde System, welches mit Ausnahme der Ladestation an Bord in einem nur leicht grösseren Boot in Norwegen schon mit Erfolg im Einsatz stand. ZEM ist heute mehrheitlich im Besitz von Volvo. Damit hat ZEM einen besseren Zugang zu Akasol als Batterielieferanten, was sich im Preis und den Lieferfristen ausgewirkt hat. Auch ist das System einfacher, weil die Batterien direkt mit dem DC-Link verbunden sind und die Steuerung etwas weniger umfassend, für unsere System aber völlig ausreichend ausgelegt ist.

In der Ausschreibung obsiegte Shiptec AG mit dem Unterlieferanten ZEM aus Norwegen, insbesondere dank der wettbewerbsfähigen Preise, aber auch dank der Zertifizierung des ganzen Systems nach DNV und den Erfahrungen im Schiffbau und in der Abwicklung des Plangenehmigungsverfahrens mit dem BAV, Sektion Schifffahrt. Grossen Wert haben wir auch auf Verlässlichkeit im Einsatz und daher auch auf die Redundanz gelegt. Nach Vorliegen der Offerten hat die SGG sich entschieden, nicht die kleine oder grosse Version der Batterien zu bestellen, sondern eine Lösung mit drei Batterien und damit 99 kWh Kapazität. Dies im Interesse einer erhöhten Flexibilität im Betrieb, einer erhöhten Redundanz, weil man dann auch noch mit zwei Batterien fahren kann und dem Erhalt einer möglichst grossen Lebensdauer der Batterien. Der Zuschlag für die Bestellung erfolgte am 3. September 2021.

Der Aufbau des bestellten Systems stellt sich vereinfacht wie folgt dar:

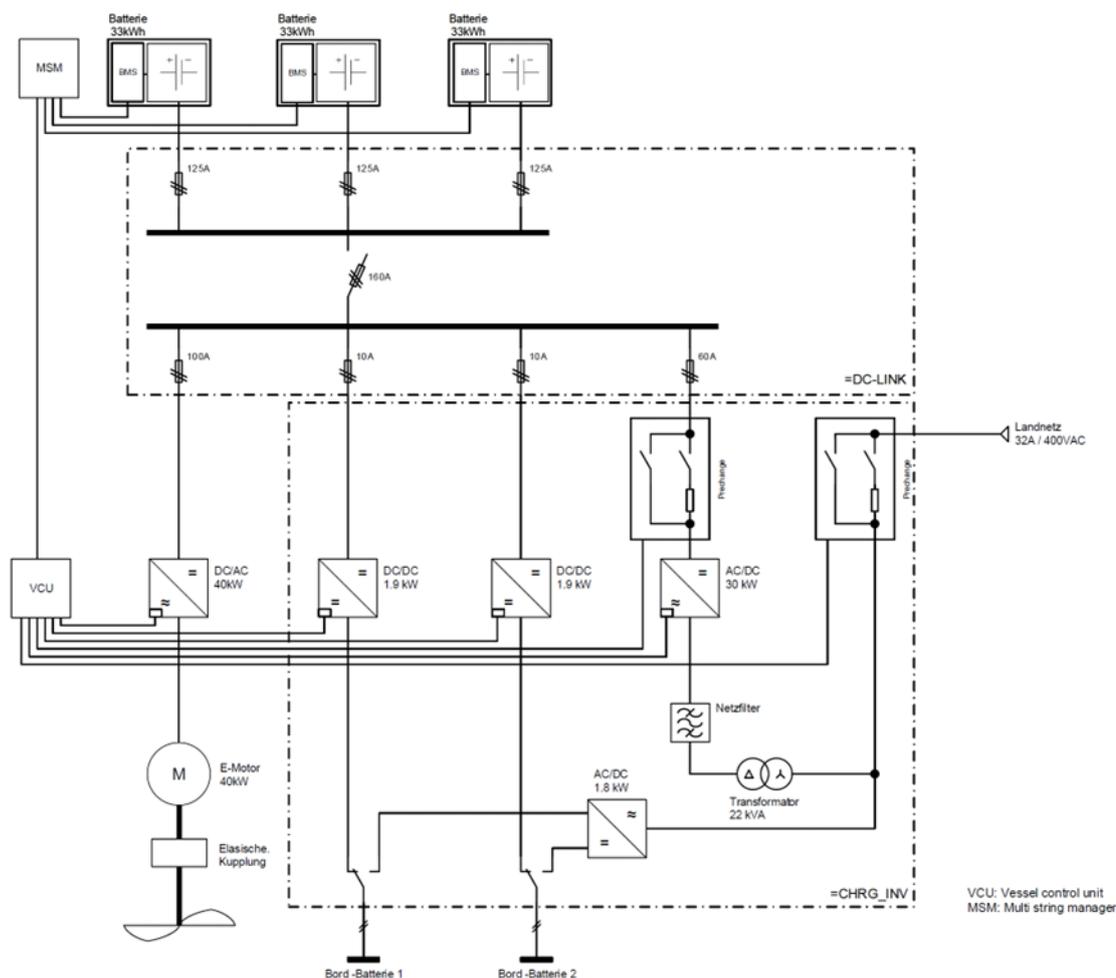


Abbildung 1 : Das Bild zeigt rechts den Link zum Landnetz, den Transformator als Netzfilter, den Inverter mit einer Leistung von max. 30 kW, den DC-Link und die drei Batterien inkl. BMS (Batteriemanagementsystem), den Motor und die Lademöglichkeiten der Bordbatterien 1 und 2 sowie die Steuerung des Systems.

Die Ladestation (Inverter) haben wir «on bord» gewählt, weil das Schiff insbesondere in Maur, im Heimathafen, an verschiedenen Stegen in Einsatz bzw. zum Laden kommt.

Den Terminplan konnten wir mit dem BAV, Sektion Schifffahrt, schrittweise konkretisieren. Die Planungsgrundlagen konnten rechtzeitig eingereicht werden, sodass plangemäss mit dem Umbau Mitte Januar 2022 begonnen werden konnte. Um spätere Verzögerungen zu verhindern, wurden die kritischen Komponenten wie Motor mit Inverter und die Batterien sehr früh und vor Fertigstellung des Engineerings bestellt.

Im **Plangenehmigungsverfahren** zeigten sich mit einer Ausnahme keine Besonderheiten. Eine besondere Herausforderung war der Gegensatz zwischen den technischen Anforderungen und den gesetzlichen Vorgaben im Bereich des Brandschutzes bzw. der Kühlung der Batterien im Batterieraum. Dort ergeben sich Leistungen von mehr als 50 kW, weshalb nach den gesetzlichen Vorgaben eine Feuerlöschanlage installiert werden muss. Die Batterien hingegen entfachen auch bei einem «runaway» kein Feuer, sondern «vergasen». Somit muss bei einem «runaway» das Gas abgeführt und nicht dicht gemacht werden und die Batterien müssen gekühlt werden. Die Lösung war dann eine «Wassersprühlöschanlage». Damit kann gekühlt und gleichzeitig ausreichend Wasser zugeführt werden, dass auch eine Feuerlöschung möglich wäre. Ein explosionsgeschützter Ventilator führt die entstehenden Gase ab. Die Luken werden geöffnet anstatt geschlossen.

Obwohl die Shiptec AG einen **Umbau** in der Werft der SGG in Maur offeriert hatte, zog sie es schlussendlich vor, den Umbau im Wesentlichen in Luzern durchzuführen. Das gab der SGG wiederum die Gelegenheit, den Aussenanstrich des Schiffes inkl. Unterwasser zu erneuern.

Der Motor wurde noch in Maur ausgebaut und direkt verkauft. Nach dem Strassentransport von Maur nach Luzern begann der Umbau mit dem Ausbau des bisherigen Dieselsystems. Insgesamt wurden

Einrichtungen von rund 2 t Gewicht entfernt¹. Es folgte die Aufhebung der bisherigen Luke für den Dieseltank und die Schaffung einer neuen, grösseren Luke für das Einbringen der Batterien und den Zugang zum Batterieraum. Schottdurchführungen für Leitungen mussten verlegt und neue Fundamente geschaffen und neue Schränke eingebracht werden. Um Gewicht einzusparen, wurde die Ankeranlage ebenfalls auf elektrischen Antrieb umgestellt.

Leider hatten die Lieferungen von Kabeln rund 2 Wochen Verzögerung. Die daraus entstehende Verzögerung wurde durch Erhöhung der Anzahl Fachkräfte für Elektrik schlussendlich wettgemacht.

Der Rücktransport erfolgte gegen Ende März. Es folgten **Hydrostabilitätstests** im Beisein des BAV, Sektion Schifffahrt. **Die Inbetriebsetzung** startete mit der Kontrolle der durch Shiptec vorgenommenen Verkabelungen. Es folgte das Aufstarten des 24 Volt Systems und schlussendlich das Laden der Hauptbatterien auf 650 bis 712 Volt sowie Testfahrten. Die Abnahme durch das BAV erfolgte ohne nennenswerte Friktionen am 12. April und am 27. April lag der provisorische Schiffsausweis und eine weitere Verfügung vor. Am 29. April 2022 nahmen wir den Betrieb auf, nachdem alle Auflagen erfüllt waren. Während drei Tagen, vom 18.-20.4. schulten wir 18 Schiffsführerinnen und Schiffsführer. Alle nahmen zuerst an einer halbtägigen Theorie teil, bei welcher wir die Grundlagen und die Funktionsweise des Systems vermittelten. Danach folgten bis zu 4 Stunden praktische Ausbildung auf dem Schiff. Die Ausbildung wurde gut verstanden und im Fahrbetrieb zeigen sich kaum Unterschiede gegenüber dem bisherigen Betrieb mit dem Dieselmotor. Erst mit der Zeit hatten wir den Eindruck, dass eine Ausbildungsauffrischung sinnvoll wäre, weil das Verständnis für das System schon bald wieder in Vergessenheit geriet.

Im Verlaufe des Projektes zeigten sich Anzeichen für weltweit bevorstehende Energieknappheiten, auch im Elektrizitätsbereich². Der Verwaltungsrat hat daher beschlossen, eine Photovoltaikanlage mit 26 kWp zu bauen. Diese sollte trotz den teilweisen Beschattungen und der Schutzzone doch gegen 21'000 kWh im Jahr produzieren, was voraussichtlich etwa 140 % des Jahresverbrauches des e-MS HEIMAT entspricht. Sie speist an der Hausinstallation der Schiffstege ein und kann so bei ausreichendem Sonnenschein die Ladeleistung für das e-MS HEIMAT auf dem eigenen Dach produzieren.

Die Gesamtkosten des Projektes inkl. PVA und inkl. den Malerarbeiten belaufen sich inkl. MWST auf rund CHF 865'000.-. Diese Summe gliedert sich wie folgt:

Machbarkeiten und Vorbereitung und Auswertung Ausschreibung	4 %
Auftrag Shiptec AG (ZEM als teilweiser Unterlieferant)	66 %
Unvorhergesehenes	5 %
Plangenehmigungsverfahren BAV	2 %
Malerarbeiten	4 %
PVA	6 %
Projektleitung (inkl. Finanzierung)	13 %
Diverses	1 %

Die **Medien** auf lokaler, regionaler und nationaler Ebene fanden grosses Interesse an diesem Projekt. Es ist gelungen, die wichtigsten Eckpunkte wie Versuche, Ausschreibung, Beschlussfassung, Transport nach Luzern, Umbau, Rücktransport Luzern – Maur, Inbetriebnahme, Ausbildung und erste Fahrt als schrittweise Botschaften, verbunden mit dem Hauptziel der Energieeffizienz und der erneuerbaren Energien im öffentlichen Verkehr, zu vermitteln.

¹ Das Gewicht des neuen Systems ist 230 kg schwerer als das ausgebaute Material. Das frühere Trimmgewicht lag bei 1315 kg, das neue liegt bei 612 kg (Raum 2: 312 kg, Raum 5: 300 kg)

² Dazu gehörte nicht nur das Risiko eines Ausfalls der Stromversorgung, sondern auch eine horrende Preisentwicklung für elektrische Energie mit Faktor bis zu 10 und mehr. Wir erwarten eine Preiserhöhung für das Jahr 2023 von durchschnittlich 25 % auf 25 Rp/kWh bei Tarifen in der Grundversorgung von 20 Rp/kWh für Energie, Netz und Abgaben im Jahre 2022 seitens der EKZ. Ursache waren einerseits der Krieg in der Ukraine und andererseits der längere Ausfall in etwa der Hälfte der Kernkraftwerke in Frankreich aufgrund eines systematischen Defekts, welcher sich vor allem im Winterhalbjahr auswirken könnte.

Das Projekt war nur dank grosszügigen Beiträgen von Bund Energiestrategie 2050 im öV, dem Gemeinnützigen Fonds des Kantons Zürich und den Städten und Gemeinden des Bezirks Uster und privaten Spendern und Sponsoren möglich. Ihnen gebührt ein grosser Dank.

Zusammenfassung in einer zweiten Landessprache

Le projet d'électrification du MS HEIMAT a acquis très tôt le caractère d'un projet phare avec l'attention médiatique correspondante et a pu enthousiasmer tant au niveau régional qu'au niveau national la SRF (radio) jusqu'à la réalisation du projet.

Le point de départ était que le trajet de l'Association des transports de Zurich sur la courte route Maur-Uster-Maur offrait de bonnes conditions-cadres pour l'utilisation de batteries électriques et que les possibilités d'efficacité énergétique, de décarbonisation et de protection durable de l'environnement étaient recherchées dans les transports publics dans le cadre de la Stratégie 2050. Le bateau date de 1933 et a été entièrement restauré en 2017. La SCHIFFFAHRTS-GENOSSENSCHAFT GREIFENSEE est une coopérative organisée conformément au Code des Obligations et donc de droit privé. Elle compte environ 1800 membres actifs de la région. Entre autres choses, il a un accord de transport avec la ZVV pour les transports publics sur le trajet Maur - Uster et retour pour toute l'année avec des courses toutes les heures. Une densification de l'horaire n'est pas prévue.

L'objectif du projet était de convertir le MS HEIMAT de 1933 du diesel à l'entraînement électrique, ceci dans le but de préserver les ressources et d'atteindre la neutralité climatique. Il était nécessaire d'optimiser les coûts et de réduire au minimum les ajustements apportés au bateau, d'optimiser la conception du poids et d'autres facteurs, d'harmoniser les exigences opérationnelles avec la taille des batteries et les cycles de charge et d'assurer et d'optimiser l'opérabilité des skippers engagées à temps partiel. La fiabilité d'utilisation, en particulier sur l'itinéraire du parcours entre Maur et Uster, est une condition préalable importante à la réalisation. A terme, l'entraînement électrique devrait permettre une solution durable avec une amélioration de l'équilibre global dans la réserve naturelle du Greifensee.

Le projet a commencé par une petite étude de faisabilité dans laquelle des mesures de couple ont été utilisées pour déterminer la force motrice requise pendant le trajet et pendant l'arrêt d'urgence. Sur la base d'un profil de conduite journalier, le bilan énergétique a été établi. En incluant une réserve de 10 kWh, 85 kWh par jour devaient être mis à disposition. Sur cette base, il y avait deux variantes: une solution avec recharge pendant la journée et un stockage d'énergie plus petit et une solution avec une batterie plus grande et donc seulement une recharge de nuit. La possibilité de recharger pendant la journée était ici possible, car le parcours est assuré toutes les heures tout au long de l'année. Des trajets supplémentaires dans la mesure habituelle devaient être inclus. L'exigence obligatoire était que la vitesse de 15 km/h soit maintenue sur la durée et un transport de 60 personnes soit toujours possible. La limite critique était l'hydrostabilité, car la marge de manœuvre était faible par rapport au minimum légal avant même la conversion. Dans cette phase, on a délibérément renoncé à une ingénierie et une évaluation a été effectuée par des spécialistes sur la base des poids à supprimer et du poids du nouveau système. Dans l'étude de faisabilité, trois systèmes ont été présentés comme des variantes. Si une phase d'ingénierie avait été activée, il aurait été nécessaire de préjuger du système car les composants devaient être coordonnés les uns avec les autres. En conséquence, la concurrence dans l'appel d'offres n'aurait plus été possible.

En raison des contributions relativement élevées du secteur public, le projet a fait l'objet d'un appel d'offres clé en main conformément à l'AIMP. Dans l'ignorance des prix réels du marché, nous avons demandé des offres pour la petite version avec des recharges pendant la journée et avec un moteur et avons demandé des offres avec des options pour d'autres batteries. Dans le cadre de l'appel d'offres, le copropriétaire norvégien de ZEM s'est manifesté. Il a décidé de ne pas offrir lui-même et a cherché à coopérer avec Shiptec AG à Lucerne. Celui-ci offrait à son tour en priorité le système fourni par ZEM en tant que sous-traitant, qui, à l'exception de la station de recharge à bord, était déjà utilisé avec succès sur un bateau légèrement plus grand en Norvège. ZEM est désormais détenue majoritairement par Volvo. Cela donne à ZEM un meilleur accès à Akasol en tant que fournisseur de batteries, ce qui a eu un impact sur les prix et les délais de livraison. Le système est également plus simple car les batteries sont directement connectées au DC-Link et la commande est un peu moins compliquée, mais tout à fait suffisante pour notre système.

Shiptec a remporté l'appel d'offres avec le sous-traitant norvégien ZEM, notamment grâce aux prix compétitifs, mais aussi grâce à la certification de l'ensemble du système selon DNV et à l'expérience dans la construction navale et dans la gestion de la procédure d'approbation de planification avec l'OFT,

d'eau ». Cela permet de refroidir et en même temps d'alimenter suffisamment d'eau pour qu'une extinction d'incendie soit aussi possible. Un ventilateur antidéflagrant dissipe les gaz résultants. Les trappes sont ouvertes au lieu d'être fermées.

Bien que Shiptec AG ait proposé la **transformation** dans le chantier naval du SGG à Maur, elle a finalement préféré effectuer les travaux de conversion principalement à Lucerne. Cela a donné à la SGG l'occasion de renouveler la peinture extérieure du bateau, y compris pour la partie sous l'eau.

Le moteur a été retiré à Maur et vendu directement. Après le transport routier de Maur à Lucerne, les travaux de transformation ont commencé avec le démontage du système diesel. Au total, les installations pesant environ 2 t ont été enlevées³. Cela a été suivi par le retrait de la trappe pour le réservoir de diesel et la création d'une nouvelle trappe plus grande pour l'insertion des batteries et l'accès au compartiment des batteries. Des passages de cloison pour les conduites ont dû être posés, de nouvelles fondations ont dû être créées et de nouvelles armoires installées. Afin d'économiser du poids, le système d'ancrage a également été converti en entraînement électrique.

Malheureusement, les livraisons de câbles ont eu environ 2 semaines de retard. Le retard qui en a résulté a finalement été compensé par une augmentation du nombre d'électriciens engagés.

Le transport de retour a eu lieu vers la fin du mois de mars. Cela a été suivi par **des essais d'hydrostabilité** en présence de représentants de l'OFT, section de la navigation. **La mise en service** a commencé par le contrôle du câblage effectué par Shiptec SA. Cela a été suivi par le démarrage du système 24 volts et enfin la charge des batteries principales à 650 – 712 Volts et des essais routiniers. L'acceptation par l'OFT s'est déroulée sans frictions significatives le 12 avril et le 27 avril la carte grise provisoire et une autre décision étaient disponibles. Le 29 avril 2022, nous avons commencé nos activités de transport public une fois que toutes les exigences aient été satisfaites. Pendant trois jours, du 18.-20.4., nous avons formé 18 chefs de bord. Tout le monde a d'abord participé à une théorie d'une demi-journée au cours de laquelle nous avons enseigné les bases et le fonctionnement du système. Cela a été suivi de quelques heures de formation pratique sur le bateau. La formation a été bien comprise et il n'y a pratiquement aucune différence dans l'exploitation par rapport à l'exploitation avec le diesel. Ce n'est qu'avec le temps que nous avons eu l'impression qu'une remise à niveau de la formation aurait du sens, car la compréhension du système a rapidement été oubliée à nouveau.

Au cours de l'achèvement du projet, des pénuries d'énergie à venir sont apparues, y compris dans le secteur de l'électricité⁴. Le Conseil d'administration a donc décidé de construire une installation photovoltaïque de 26 kWc. Malgré l'ombrage partiel et la zone de protection, celle-ci devrait produire environ 21 000 kWh par an. Elle alimente l'installation domestique des jetées et, par conséquent, la puissance de charge de l'e-MS HEIMAT peut être produite sur son propre toit en cas d'ensoleillement suffisant.

Le coût total du projet, y compris le PVA et les travaux de peinture, s'élève TVA incluse à environ CHF 865'000. Cette somme se décompose comme suit :

Faisabilité et préparation et évaluation des offres	4 %
Commande Shiptec AG / (ZEM en tant que sous-traitant partiel)	66 %
Imprévus	5 %
Plangenehmigungsverfahren BAV Procédure d'approbation de l'OFT	2 %
Peinture	4 %
Pva	6 %
Gestion de projet (y compris le financement)	13 %
Diverses	1 %

Les **médias** aux niveaux local, régional et national ont été très intéressés par ce projet. Il a été possible de transmettre les étapes les plus importantes telles que les essais, les appels d'offres, la prise de

³ Le poids du nouveau système est 230 kg plus lourd que le matériau enlevé. L'ancien poids d'équilibre était de 1315 kg, le nouveau est de 612 kg (salle 2: 312 kg, salle 5: 300 kg)

⁴ Cela comprenait non seulement le risque d'une panne de l'alimentation électrique, mais aussi une augmentation orbitante des prix de l'énergie électrique avec un facteur allant jusqu'à 10 et plus. La cause en est d'une part la guerre en Ukraine et d'autre part l'arrêt prolongé d'environ la moitié des centrales nucléaires en France en raison d'un défaut systématique, ce qui pourrait avoir un effet surtout dans le semestre d'hiver.

décision, le transport vers Lucerne, la conversion, le transport de retour Lucerne – Maur, la mise en service, la formation et le premier voyage en tant que messages étape par étape, combinés à l'objectif principal de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables dans les transports public.

Le projet n'a été possible que grâce aux généreuses contributions du Programme de stratégie énergétique 2050 de la Confédération dans les transports publics, du fonds à but non lucratif du canton de Zurich, des communes du district d'Uster et de donateurs et sponsors privés. Ils méritent un grand merci.

1. Ausgangslage

Das Projekt der Schifffahrts-Genossenschaft Greifensee (nachfolgend SGG) hat die Vollelektrifizierung des Motorschiffes MS HEIMAT zum Gegenstand und somit die Ummotorisierung eines bestehenden Schiffes zur nachhaltigen Nutzung und gleichzeitiger Ökologisierung des Antriebes im öffentlichen Verkehr. Anlass zur Realisierung des Projektes waren gute Rahmenbedingungen des Schiffes, des Einsatzes des Schiffes und die Tatsache, dass mit dem Projekt ein Beitrag an die Umweltverträglichkeit des Schiffseinsatzes im öffentlichen Verkehr an vorderster Front als Leuchtturmprojekt geleistet werden konnte. Der Dieselmotor wäre noch einige Jahre einsatzfähig gewesen. Das Projekt erlaubt dank höheren Wirkungsgraden eine Einsparung von rund 50 % des Energieverbrauches⁵. Das MS HEIMAT ist zur Hauptsache auf der Strecke des ZVV im öV zwischen Maur und Uster im Einsatz. Es rundet zudem die Rundfahrten (mit Fahrplan der SGG) zwischen Maur und Greifensee ab und dient für Dienstfahrten und Ausflüge im Rahmen von Schiffsmieten. Das Schiff transportiert jährlich gegen 55'000 Personen mit leicht steigender Tendenz.

Das Motor-Schiff HEIMAT wurde im Jahre 2016/17 totalrestauriert mit Sandstrahlung innen und aussen. Der Dieselmotor war ebenfalls repariert und totalrevidiert worden. Die Schiffschale ist weitgehend in der ursprünglichen Originalform mit genieteten Blechstreifen (Klinkerbauweise) und ist in einem guten Zustand. Das erlaubte eine Elektrifizierung an die Hand zu nehmen und damit das Kulturgut des MS HEIMAT auf dem Greifensee längerfristig im Betrieb zu erhalten.

Die SCHIFFFAHRTS-GENOSSENSCHAFT GREIFENSEE ist eine Genossenschaft gemäss dem Obligationenrecht und somit privatrechtlich organisiert. Sie verfügt über rund 1800 aktive Genossenschafterinnen und Genossenschafter aus der Region. Sie hat mit dem ZVV eine Transportvereinbarung für die Strecke Maur – Uster und zurück für das ganze Jahr mit stündlichen Kursen. Eine Verdichtung des Fahrplanes ist seitens des ZVV nicht angedacht. Die SGG erbringt auch Rundfahrten auf dem Greifensee, kulinarische Fahrten und vermietet Schiffe für Anlässe inkl. Bewirtung. Die Genossenschaft nahm den Betrieb im Jahre 1890 auf und verfügt heute über 3 Motorschiffe, eines davon das e-MS HEIMAT.⁶

2. Ziele der Arbeit

Es geht um den Umbau des Antriebes eines bestehenden Schiffes der SGG im Sinne der Ressourcenschonung und im Hinblick auf Klimaneutralität. Das Projekt soll ein Leuchtturmprojekt werden. Es gilt die Kosten zu optimieren und die Anpassungen am Schiff auf ein Minimum zu beschränken, die Gewichtsauslegung und weitere Faktoren zu optimieren, den Einsatzbedarf mit der Grösse der Batterien und die Ladezyklen in Einklang zu bringen und die Bedienbarkeit durch die Teilzeit-Schiffsführerinnen und Schiffsführer zu optimieren. Die Verlässlichkeit im Einsatz im Rahmen der heutigen Aktivitäten der SGG, insbesondere der Kursstrecke zwischen Maur und Uster, ist eine wichtige Voraussetzung für die Realisierung. Das BAV ist zurzeit daran, die Anforderungen an Plangenehmigungen für Elektrifizierungen zu konkretisieren. Das Projekt kann hierzu einen Beitrag für kleinere Schiffe leisten. Schlussendlich soll der elektrische Antrieb eine nachhaltige Lösung mit Verbesserung der Gesamtbilanz im Naturschutzgebiet des Greifensee ermöglichen. Dabei geniessen die Kunden das leisere Fahren und das Fehlen des Dieselrauches. Beim Betrieb sind die Risiken für das Seewasser beim Tanken von Diesel eliminiert. Die CO₂-Einsparung liegt bei 10 t p.a. Auf 20 Jahre (minimale Systemlebenszeit) ergibt das 200 t weniger CO₂.

Die Projektziele wurden wie nachfolgend dargelegt wird, allesamt erreicht.

⁵ Bisheriger durchschnittlicher Jahresverbrauch an Diesel: 3600 lt; 3600 lt * 9.79 kWh / lt (Empa) = 35'244 kWh; heutiger Verbrauch bei durchschnittlich rund 40 kWh/Tag * 365 = 15'000 kWh. (Tageszahlen elektrischer Antrieb gemessen und liegen mit durchschnittlich bei knapp 30 kWh/t deutlich tiefer, Jahreszahlen noch nicht belegt.)

⁶ www.sgg-greifensee.ch

3. Forschungsansatz und aktueller Wissensstand

Wichtige Punkte für das elektrische Antriebssystem waren einerseits die Frage nach dem typischen täglichen Einsatzprofil des Schiffes auf den Strecken des öffentlichen Verkehrs und anderen, weiteren Einsätzen, dann die Frage der erforderlichen Leistung auf Dauer und als Spitzenleistung für den Notstopp und damit die Energiebilanz. Auf diesen Grundlagen war die zentrale Frage des Energiespeichers zu bestimmen.

Beim e-MS HEIMAT war das typische Einsatzprofil ein Sonntag im Frühsommer mit sehr hohen Frequenzen und damit mindestens zwei ausserordentlichen, zusätzlichen Kursen zwischen den ordentlichen Kursen, zwei Transfers von Maur nach Greifensee sowie einer anschliessenden, privaten Rundfahrt. Es geht dabei auch darum, den Umfang der Handlungs- und Einsatzflexibilitäten abzustecken. Der Energiebedarf berechnete sich damit auf rund 85 kWh im Tag mit einer Reserve von 10 kWh.

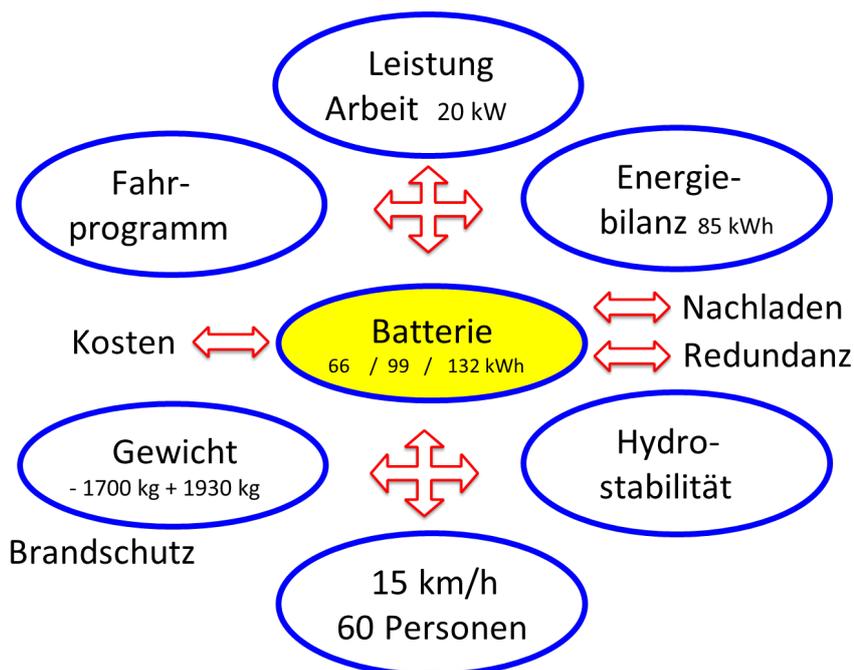


Abbildung 3: Das Bild zeigt die Abhängigkeit der Leistung und dem Fahrprogramm sowie der daraus resultierenden Energiebilanz, die entsprechende Batterie als zentrale Frage, abhängig von Kosten, dem Bedarf des Nachladens und der Flexibilität sowie Redundanz und schlussendlich die Grenzen des Gewichts des alten und neuen Systems, der Einhaltung der Grenzen der Hydrostabilität und die Einhaltung der geforderten maximalen Geschwindigkeit und Transportkapazität.

Die Batterie war nicht nur aufgrund der Tagesbilanz von 85 kWh festzulegen. Es spielten auch die Möglichkeiten der Redundanz und des Nachladens eine Rolle. Die Kosten, aber vor allem das Batteriegewicht und die Grenzen der Hydrostabilität waren entscheidend, dass wir uns früh im Grundsatz für ein Nachladen zwischen den Fahrten entschieden. Die in der Regel verfügbaren Nachladezeiten hätten auch eine Batterie von 66 kWh zugelassen. Mit 99 kWh erreichten wir eine höhere Flexibilität und eine erhöhte Redundanz, weil auch bei Ausfall einer Batterie das Schiff mit zwei Batterien weiter betrieben werden darf. Auch rechnen wir mit einer längeren Lebensdauer der Batterie, da wir ein sog. «Mikroladen» betreiben können. Eine Kursfahrt von Maur nach Uster und zurück erfordert bis zu 3 kWh. Nach der Kursfahrt ergibt sich eine Wartezeit von rund 40 Minuten. Die Tatsache, dass die Reserven in der Hydrostabilität klein waren und die erhöhten Kosten führten zum Ausschluss der Variante mit 4 Batterien und einer Kapazität von etwa 132 kWh. Damit hätte man sich auf das Nachladen ausschliesslich in der Nacht konzentrieren können. Oberstes Ziel war es, das Fahrprogramm einhalten zu können und dabei die Geschwindigkeit von 15 km/h und die Transportkapazität von 60 Personen zu erhalten. Daher mussten die Grenzen der Hydrostabilität eingehalten sein. Dabei musste ausreichend Drehmoment verfügbar sein, um einen Notstopp innert den Limiten des BAV durchführen zu können. Da das Schiff 365 Tage im Jahr den Kurs zwischen Maur und Uster sicherstellt und die weiteren verfügbaren Schiffe bei anderen Fahrten eine wichtige Ertragsgrundlage für die SGG bedeuten, ist hohe Verlässlichkeit und damit Redundanz des e-MS HEIMAT bzw. die SGG von grosser Bedeutung.

Aufgrund der Machbarkeitsstudie Stufe I und Stufe II (letztere nachträgliche Vertiefung in einzelnen Fragen auf Wunsch des BAV erstellt) wollten wir in der Lage sein, eine funktionale Spezifikation für eine Ausschreibung zu definieren und entsprechende finanzielle Beiträge zu mobilisieren. Wir konnten diese anhand von konkreten Beispielen in der Schweiz und im nahen Ausland mit Besichtigungen vor Ort⁷ sowie persönlichen Erfahrungen im Bereich der Elektrifizierung mit Batterien vertiefen. Die Spezifikation wurde im Rahmen einer öffentlichen Ausschreibung gemäss der IVöB erfahrenen Werften im In- und Ausland vorgelegt, um von ihnen ein System als Ganzes schlüsselfertig gemäss der Spezifikation offeriert zu erhalten. Dabei legten wir uns noch nicht auf eine bestimmte Anzahl Batterien bzw. eine bestimmte Kapazität fest. Für alle Offerenten war der Energiebedarf der Masstab, wobei Basis der Ausschreibung die Variante mit 2 Batterien mit der Grössenordnung von 60 kWh war, ergänzt mit einer Option für weitere Batterien. Unter aus finanziellen Gründen begrenzter Mitwirkung von Fachpersonen mit Erfahrung im Fachhochschulbereich und El Ing ETH haben wir die Spezifikation hinterfragt. Es ging in der Folge darum, die eingereichten Angebote zu analysieren und zu evaluieren und dann das System aufgrund der obigen Konzeptüberlegungen und den Ausschreibungsbedingungen festzulegen. Wichtigste Parameter waren somit das maximale Fahrprogramm, die Antriebsleistung und der tägliche Energiebedarf mit Möglichkeiten des Nachladens. Voraussetzung waren ferner, dass die Limiten der Hydrostabilität eingehalten waren und die Auflagen des BAV im Plangenehmigungsverfahren erfüllt wurden. Auch die elektrische Leistung für das Nachladen hält sich in Grenzen. Wir laden mit 12 kW Leistung und einer Spannung von 400 Volt nach. Die Energie für einen Kurs von Maur nach Uster und zurück ist somit in rund 15 Minuten nachgeladen.

Wir waren überzeugt, dass ein System als Ganzes beschafft werden musste, da die Steuerungselemente und die Batterien, deren Managementsysteme, die Inverter bzw. Motoren nach dem heutigen Stand der Technik noch zu weiten Teilen ein Ganzes bilden und als System optimiert und aufeinander abgestimmt sind. Das gilt nach Erfahrungen Dritter ganz besonders für Motor und den vorgelagerten Inverter DC/AC, welche vom gleichen Lieferanten stammen sollten. Aufgrund der Kontakte zu Fachpersonen, der Ausschreibung und den Besichtigungen vor Ort erwarteten wir, dass aufgrund der Offerten der Stand der Technik noch besser beurteilt, gleichzeitig die Kosteneffizienz und die Verlässlichkeit für den öV festgestellt und beurteilt werden kann. Ein besonderes Augenmerk legten wir darauf, dass die funktionale Spezifikation keine Vorwegnahme von bestimmten Systemen bewirkte und damit der Wettbewerb zu weit eingeschränkt wurde. Andererseits war darauf zu achten, dass ein Systemlieferant Erfahrung vom Schiffbau, der Elektrotechnik und dem Umgang mit behördlichen Plangenehmigungen auf Stufe Bund hatte.

Wir verzichteten somit auf ein eigenes Engineering bzw. auf eine solche Projektphase. Wir stützten uns auf die Erfahrung von Schiffsbauunternehmen im Engineering solcher Systeme.

Grossen Wert legten wir auf die Möglichkeit, die Daten des Schiffes über eine Internetwebseite nachverfolgen zu können. Ein einfacher Zugang, auch über ein Handy, ermöglicht so u.a. die Verbindung mit dem Landnetz, das Laden, den aktuellen Stand des gesamten Systems inkl. Alarmer, die für das Laden verbrauchte Energie, den SoC, das Fahrverhalten und die Leistungen sowie die Spannung der Batterien über eine längere oder kürzere Dauer zu verfolgen.

Das BAV, Sektion Schifffahrt, hat auf unsere Anfrage bestätigt, dass für den Umbau nur ein einziger Elektromotor vorzusehen war, dies im Unterschied zu einem Neubau, wo zwei Motoren gefordert sind. Somit konnten wir die Variante mit zwei Motoren auf oder neben einer Welle in der weiteren Bearbeitung von vornherein ausschliessen.

Im Vorfeld zur Ausarbeitung der Spezifikationen stellten wir uns auch die Frage nach der Spannung des Gleichstroms. Es gibt Systeme, welche eher bei 48 Volt bei zwei Motoren à 20 KW, über 96 Volt zu 144 Volt bis zu 650 Volt. Der Vorteil der niedrigeren Spannungen liegt v.a. darin, dass die Vorschriften weniger einschränkend sind und der Zugang weniger gefährlich. Bei den hohen Spannungen ist guter Verschluss sehr wichtig und der Zugang nur speziell ausgebildeten Spezialisten erlaubt. Bei niedrigeren Spannungen entsteht aufgrund der höheren Ampèrezahlen auch etwas mehr Wärme. Für höhere Spannungen spricht, dass zugehörige Geräte im Markt eher für hohe Spannungen angeboten werden bzw. eher am Markt verfügbar sind. Eine Ausnahme bilden die Geräte von Elektrostaplern, welche eine

⁷ Dazu gehörten insbesondere Besuche und Kontakte bei Bielerseeschifffahrt BSG (EMS Mobicat), Società Navigazione del Lago di Lugano (MNE Ceresio), Bieri, Pfäffikon, Pfäffikersee ZH, (e-MS Tödi), Oesweg in Linz A, Luxwerft in Niederkassel-Mondorf D, Baumüller Anlagen-Systemtechnik GmbH & Co KG in Nürnberg D, Kräutler Elektromaschinen GmbH in Lustenau A, Zürichsee Schifffahrtsgesellschaft ZSG in Zürich, Litium Systems AG in Illnau, ZH, Mosway Electronics GmbH in Wald ZH, Chantier Naval Franco-Suisse in Viller le lac, F, Shiptec AG in Luzern.

lange Erfahrung haben, jedoch kaum je nach Klassifizierungen für die Schifffahrt zertifiziert sind. Wir beschlossen, in den Spezifikationen keine Vorgaben zu machen. Interessanterweise lagen alle eingereichten Offerten schlussendlich im Hochspannungsbereich.

Die seitens der SGG erarbeiteten Spezifikationen wurden durch zwei Professoren von Fachhochschulen durchgesehen und mit einigen Anregungen ergänzt. Bei der Beurteilung der Offerten hat die SGG Stefan Schneider, Geschäftsführer des ETH-Startups Suncar HK AG in Zürich sowie Andreas Kindlimann, Schiffbauingenieur, Bern, beigezogen um eine fachkompetente Zweitmeinung für den Entscheid über die Wahl des Systems und den Zuschlag einfließen zu lassen.

Im Rahmen der Projektabwicklung hat sich die SGG in der ersten Stufe auf den reinen Umbau des Antriebes konzentriert. Nachdem klar war, dass das Projekt Erfolg haben würde, hat der Verwaltungsrat auf Antrag des Projektleiters beschlossen, auf dem Dach des eigenen Bürogebäudes und der Werft eine Photovoltaikanlage zu bauen. Dies ermöglicht, dass die für den Betrieb des e-MS HEIMAT erforderliche Energie aus der eigenen Anlage grundsätzlich selbst produziert werden kann.

4. Ergebnisse

4.1 MACHBARKEITSSTUDIE II

Auf der Basis der Machbarkeitsstudie I vom Herbst 2020 wurde diese aufgrund ergänzender Fragstellungen seitens des BAV und der SGG vertieft. In der ersten Machbarkeitsstudie I wurden mittels Drehmomentmessungen die entsprechenden Energie- und Leistungsbedürfnisse geklärt. Es resultierte aus der ersten Studie, dass aufgrund der Gewichtsverhältnisse und der Kosten ein konsequentes Nachladen während des Tages eine optimale Lösung wäre. Daher wurde der Fahrplan in der zweiten Studie präziser gefasst und auch mit den möglichen Nachladezeiten ergänzt. Zu den Überprüfungen der Energiebilanz wurden auch die statistischen Energieverbrauchsdaten beim Dieselbetrieb beigezogen. Zudem wurden die eigenen Erkenntnisse der SGG aus den Schleppversuchen und das ergänzte Fahrprofil in die Machbarkeitsstudie II einbezogen und überprüft.

In der Machbarkeitsstudie II behielten wir die Variante A. mit kleiner Batterie und Nachladungen während des Tages und die Variante B mit einer grösseren Batterie und ausschliesslich Nachladungen in der Nacht bei. Auch wurden weiterhin verschiedene Systeme mit unterschiedlichen Batteriegrössen einbezogen, um erste Anhaltspunkte zu haben. Gegenstand der Machbarkeitsstudie waren die Systeme von Siemens AG, Litium Systems AG und Kräutler, je hier dargestellt mit kleiner und grosser Batterie bzw. SoC in %.

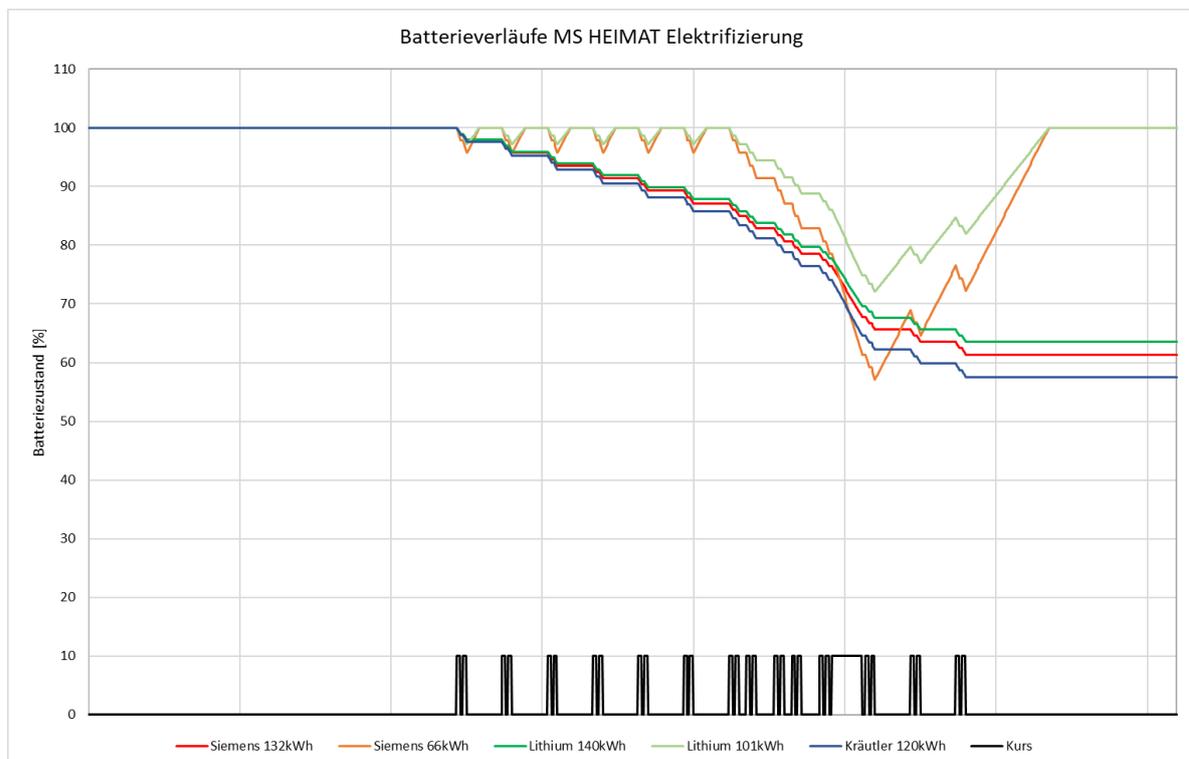


Abbildung 4: Die Graphik zeigt den Batterieladezustand in Prozenten im Verhältnis zum geforderten maximalen Fahrprogramm (unten) für drei Systeme mit unterschiedlichen Kapazitäten von Batterien (Siemens, Lithiums Systems und Kräutler)

Aufgrund der erheblichen Differenzen der Leistung des bisher installierten Dieselmotors mit 83 kW und den Anforderungen an die Leistung des Elektromotors von rund 40 kW wurden die Zwischenergebnisse erneut hinterfragt. Die Bestätigung der Ergebnisse der Drehmomentmessungen wurden mit einer zusätzlichen Verifizierung der Antriebsleistung bei 15 km/h über eine CFD2 Analyse durchgeführt. Die Resultate zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit den gemessenen Daten. Eine Bestätigung ergab sich auch aus einer getrennt durchgeführten Analyse mittels Schleppversuchen der SGG mit Mosway Eletronics GmbH. Bei der Inbetriebsetzung bestätigten sich diese Werte.

Das Motorschiff HEIMAT verfügte schon vor dem Umbau nicht über grosse Stabilitätsreserven an Freibord und Krängung gegenüber den gesetzlichen Vorgaben. Im Rahmen der Machbarkeit konnte ohne Detailengineering des Gesamtsystems keine abschliessende Detailaussage gemacht werden über die Möglichkeit des Einhaltens der gesetzlichen Anforderungen. Hingegen zeigte sich, dass das Gewicht des untersuchten Systems der Variante mit den 2 Batterien und entsprechender Nachladungen während des Tages unter dem Gewicht der ausgebauten Elemente (Motor, Getriebe etc.) lag und dank tiefem Schwerpunkt somit keine Mehrbelastung der Stabilität entstehen sollte.

4.2 AUSSCHREIBUNG UND OFFERTEN

Die SGG ist eine private Genossenschaft. Aufgrund der grossen Beiträge der öffentlichen Hand im Inland zu diesem Projekt war die SGG verpflichtet, den Auftrag im offenen Verfahren gemäss IVöB auszuschreiben.

Die Spezifikation konzentrierte sich auf die schlüsselfertige Lieferung des vollelektrischen Antriebssystems. Wir haben das System mit kleiner Batterie mit Nachladungen während des Tages ausgeschrieben, aber eine Option für die Lieferung einer oder zwei weiteren Batterien und der für eine hohe Verfügbarkeit erforderlichen Ersatzteile an Lager verlangt.

Das Pflichtenheft konzentrierte sich auf die schlüsselfertige Lieferung des vollelektrischen Antriebssystems im bestehenden Schiff unter möglichst wenig Anpassungen desselben. Die Spezifikation umriss die Eckpunkte des für den Betrieb massgeblichen Fahrplanes inkl. Standzeiten, die Geschwindigkeit von 15 km/h auf Dauer, die Transportfähigkeit von 60 Personen inkl. Kinderlösung, die einfache Bedienbarkeit, die Einhaltung der gesetzlichen Auflagen, die Erfüllung der Anforderungen des BAV, Sektion Schifffahrt, sowie die Anforderungen an Redundanz. Von Vorteil waren Nachweise von Klassifizierungsgesellschaften wie DNV. Hierfür war ein schlüsselfertiges Antriebssystem von guter Qualität zu liefern. Ein provisorischer Zeitplan war enthalten. Es wurde eine Garantie für die Einsatzdauer des Batteriesatzes der Hauptbatterien von 10 Jahren verlangt. Der abzuschliessende Werkvertrag lag im Wortlaut der Ausschreibung bereits bei.

Die Ausschreibung nach der interkantonalen Vereinbarung für öffentliche Ausschreibungen wurde am 10. Juni 2021 publiziert und bis am darauffolgenden 6. August waren die Offerten einzureichen. Eine Besprechung vor Ort in Maur war Voraussetzung. Es interessierten sich so 8 Unternehmen. Eine Unternehmung war im angrenzenden Ausland, eine war in Norwegen ansässig.

Es gingen schlussendlich 3 Offerten ein.

Dank grösserer Erfahrung im Schiffbau, im Ablauf der Plangenehmigungsverfahren und dem Ausmass der Klassifizierung des zu liefernden Systems obsiegte bei praktisch gleichem Preis die Shiptec AG in Luzern mit der ZEM Zero Emission Maritim in Norwegen als Unterlieferantin für das ganze System inkl. Software und Kabel.

Die Shiptec AG welche in den Machbarkeitsstudien andere Systeme vorgeschlagen hatte, entschloss sich, in Abweichung von der Machbarkeitsstudie das System von ZEM zu übernehmen, da sich einige Preisvorteile ergaben und das System in einem anderen, ähnlichen Schiff in Norwegen von DNV klassifiziert worden war und dort im erfolgreichen Einsatz stand. Eigentliche Aufgabe der Shiptec AG war das Engineering der Implementation des neuen Systems in das Schiff und der eigentliche Umbau wie auch die Führung des Plangenehmigungsverfahrens mit dem BAV.

Am 3. September stellte der Verwaltungsrat der SGG fest, dass die Finanzierung für die Realisierung des Projektes zustande kam und er entschied, der Shiptec AG den Zuschlag aus der Ausschreibung zu erteilen. Unmittelbar nach Ablauf der Beschwerdefrist von 10 Tagen wurde der Liefervertrag gemäss Ausschreibung unterzeichnet.

4.3 PLANUNG UND PLANGENEHMIGUNG

Unmittelbar nach Auftragserteilung wurde die Planung aufgenommen und das Plangenehmigungsverfahren in Abstimmung mit dem BAV, Sektion Schifffahrt, koordiniert. Shiptec AG stellte die Planung, bis am 11.11. fertig und reichte diese dem BAV ein. Die SGG beauftragte die Shiptec AG das Plangenehmigungsverfahren (PGV) direkt mit dem BAV zu führen. Damit ermöglichten wir einen direkten Kontakt

der Shiptec mit dem BAV, was den Ablauf für alle Seiten erleichterte. Dieses wiederum erliess am 20. Dezember 2021 seine erste Verfügung. Diese enthielt zwar zahlreiche, aber keine unüberwindbaren Auflagen, womit die geplante Stilllegung des MS HEIMAT auf den 13. Januar 2022 definitiv festgelegt wurde.

Die Eckpunkte des neuen Systems sind im Anhang 1 umschreiben.

Der Aufbau des Systems stellt sich vereinfacht wie folgt dar:

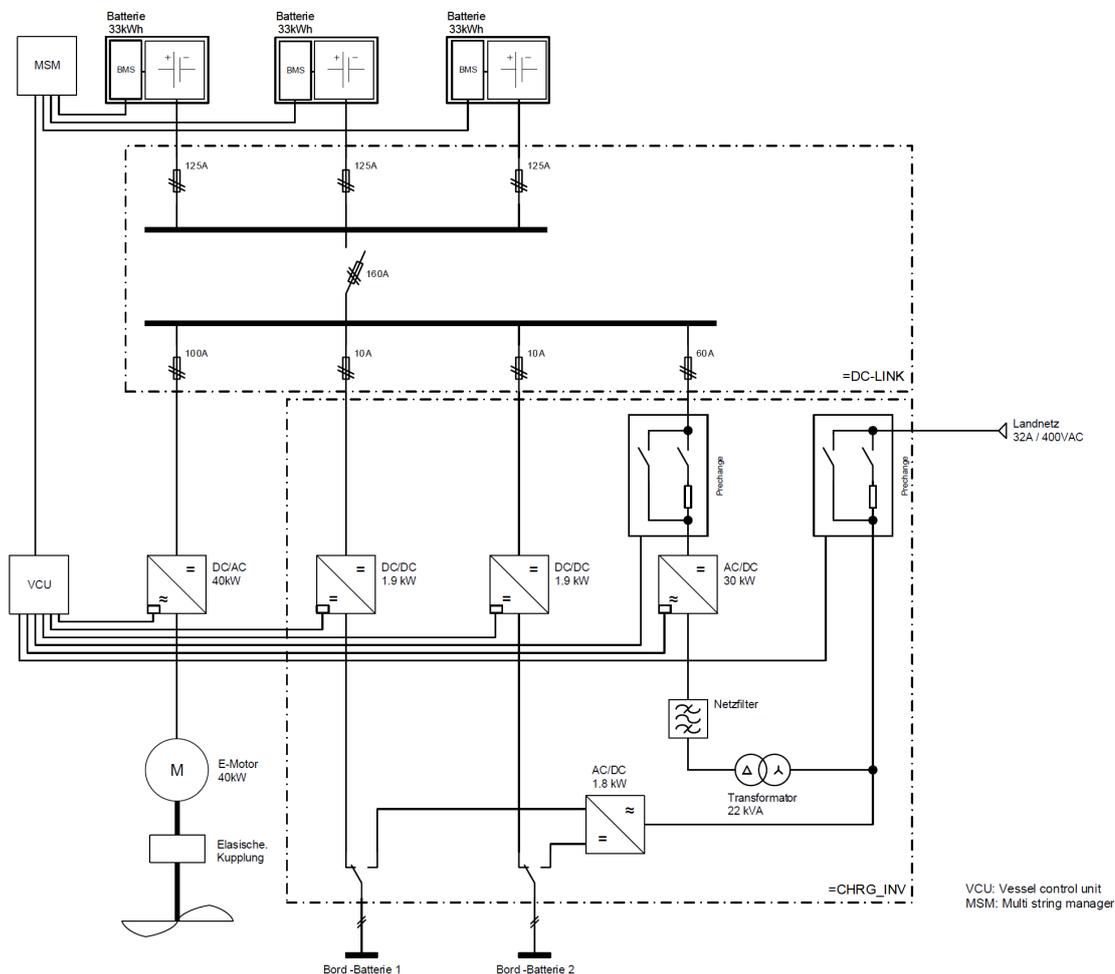


Abbildung 5: Das Bild zeigt rechts den Link zum Landnetz, den Transformator als Netzfilter, den Inverter mit einer Leistung von max. 30 kW, den DC-Link und die drei Batterien inkl. BMS (Batteriemanagementsystem), den Motor und die Lademöglichkeiten der Bordbatterien 1 und 2 unten sowie die Steuerung des Systems links (VCU/MSM).

Die Herausforderungen in der Planung lagen primär in der Problematik, die doch recht zahlreichen Komponenten im Schiff unter gleichzeitiger Ausbalancierung des Gewichtes unterzubringen. Da bei der DC-Schiene als Verbindungsstück zwischen den Batterien, dem Motor und anderen Komponenten eine Leistung von mehr als 50 kW auftritt, wurden die Batterien und die DC Schiene in verschlossenem Kasten in einem Schotraum, dem Nr. 4, untergebracht. Hier wurden auch die Sensoren für Gas, Wärme und Feuer installiert und mit einer Wassersprühlöschanlage ausgestattet. Die Hydraulikpumpe für das Handsteuer wurde vom Heck ebenfalls in den Schotraum 4 verlegt. Die bisherige Hydraulikpumpe für den Anker und die bisherige Ankerwinde wurden durch eine rein elektrische Lösung ersetzt. Es wurde damit Platz und Gewicht eingespart.

Eine besondere Herausforderung lag im Gegensatz der Anforderungen für den Schotraum mit mehr als 50 kW Leistung. Das Gesetz verlangt eine Feuerlöschanlage und die Anforderungen seitens des Batterieherstellers verlangen nach einer Kühlung der Batterien im «runaway»-Fall. Nach entsprechenden Versuchen, brennen die Batterien nicht, sondern gasen aus. Die Gase müssen ausgeblasen und die Batterien gekühlt werden. Die Lösung lag schlussendlich in einer «Wassersprühlöschanlage», welche auch ausreichend Wasser führt zur Löschung eines Feuers und welche aber auch der erforderlichen Kühlung entspricht. Das Problem entstand, weil die technische Entwicklung und die gesetzlichen Anforderungen unterschiedliche Entwicklungen in zeitlicher Hinsicht aufweisen.

Es stellt sich daher die Frage, ob im Rahmen der Gesetzgebung nicht mittels einer Delegation stärker auf die Entwicklungen der Klassifizierungen abgestellt werden sollte.

Das PGV zeigte mit Ausnahme des Themas der «Wassersprühlöschanlage» und der typischen Problematik der vollständigen Zeichnungen keine weiteren Schwierigkeiten. Der Generalplan des umgebauten Schiffes ist im Anhang 2.

Bei dieser Gelegenheit wurde die Anzahl der Umdrehungen des Hand Steuers von 8 Umdrehungen auf 6 reduziert und damit ein wesentlich direkteres Steuern ermöglicht. Der deshalb etwas grössere Kraftaufwand hält sich in engen Grenzen und entspricht der Steuerung vor der Totalrestaurierung von 2017.

Um eine ausgewogene Belastung sicherzustellen, wurden die einzelnen Komponenten im Schiff schwergewichtig zwischen den Schoträumen 2 und 4 verteilt. Die Übersicht des Bauplanes zeigt sich wie folgt:

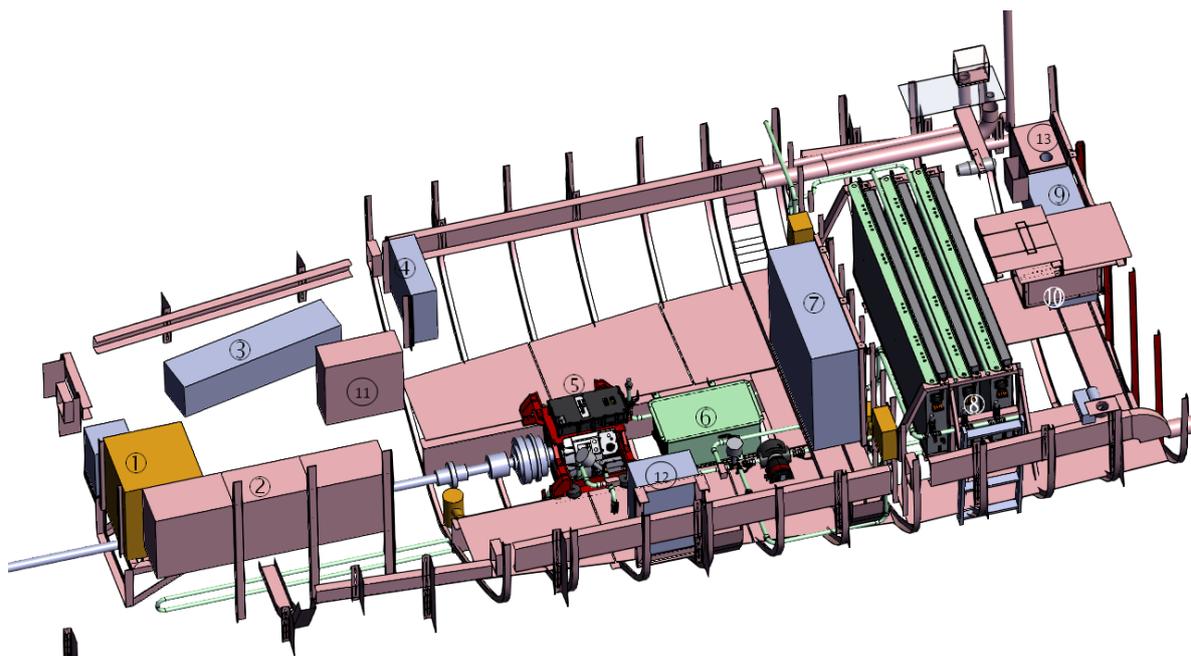


Abbildung 6: die dreidimensionale Zeichnung des Rumpfes zeigt die eingebauten Komponenten des Systems:

1. Trenntransformator
2. Inverterschrank
3. Bordbatterie 1 (bisher)
4. Brandmeldeanlage
5. Motor mit Inverter
6. Bordbatterie 2
7. Systemsteuerschrank
8. Systembatterien
9. Gleichstromverteiler
10. Orbitrolpumpe für Handruder
11. Landanschlussverteilung
12. 230VAC Aufbereitung ab 24VDC
13. Lüfter Batterieraum

Am 2.3.2022 erliess das BAV eine provisorische Fahrbewilligung für die Inbetriebnahme und die Schulung der Schiffsführer. Sie genehmigte inzwischen eingesandte Stellungnahmen, Berichte und Pläne oder verweigerte deren Genehmigung mit neuen Auflagen.

Am 25.3.2022 erliess das BAV die zweite Verfügung und genehmigte oder wies eingereichte Unterlagen zurück. Es erteilt auf dieser Basis einen provisorischen Schiffsausweis für Inbetriebnahme und Schulung mit der zeitlich begrenzten Auflage für die Inbetriebsetzung neben dem Schiffsführer einen Matrosen an Bord zu haben (offene Luken etc.).

Nach dem Rücktransport von Luzern nach Maur fand am 4.4.2022 der Krängungsversuch im umgebauten Zustand im Beisein eines Vertreters des BAV statt.

Am 13.4.2022 fand die Abnahme des Umbaus durch den Vertreter des BAV statt.

Am 27.4.2022 erliess das BAV die dritte Verfügung betr. Plangenehmigung und stellte den Schiffsausweis aus, vorerst befristet bis zum 29.6.2022 mit Auflagen für Beschriftungen, Nachweisen und Ergänzungen von Unterlagen.

Am 29.6.2022 wurde mit Verfügung der definitive Schiffsausweis ausgestellt.

4.4 UMBAU DES SCHIFFES

Unmittelbar nach dem rechtskräftigen Zuschlag des Auftrages an Shiptec AG wurden die Komponenten mit kritischen Lieferfristen wie Batterien, Inverter und Elektromotor bei den Herstellern bestellt. Damit sollten spätere Verzögerungen vermieden und sichergestellt werden, dass der anspruchsvolle Zeitplan eingehalten werden konnte.

Der Umbau des Schiffes startete mit dem Ausbau des Dieselmotors in Maur am 13./14.1.2022. Shiptec AG entschied, den Umbau doch in Luzern ohne Kostenfolge für die SGG durchzuführen, obwohl sie in der Offerte von einem Umbau in Maur ausgegangen war.

Am 17.1.2022 erfolgte der Transport des Schiffes mit einem Schwertransportanhänger auf der Strasse nach Luzern. Das gab der SGG die Möglichkeit in dieser Zeit mit eigenen Mitarbeitenden und Freiwilligen das Unterwasser und die Aussenanstriche in eigener Regie zu erneuern. Damit wurde auch dem Charakter des Leuchtturmprojektes mit erneuertem Erscheinungsbild entsprochen. Das Farbkonzept ist unverändert. Auch die periodische Schalenkontrolle wurde durchgeführt. Es waren keine Massnahmen erforderlich.

Der Umbau begann mit dem Ausbau aller Teile, welche für den Dieselantrieb erforderlich waren wie Auspuff und Tank sowie die ganze, bestehende Verkabelung. Ebenfalls ausgebaut wurde die Stange für die Übertragung der Steuerung des Handruders und die Hydraulikpumpe für den Anker. Die Ausbauten wurden allesamt gewogen. Der Ausbau wog 2.100 t. Zudem waren Trimmgewichte mit dem Gewicht von 1315 kg eingebracht gewesen.

Es folgte der Umbau des Schiffes im Innern: Verlegung der Kabeldurchführungen von Schotraum 3 und 4, Zuschweissen der Luke für den Dieseltank in Schotraum 4, Schaffung einer neuen, grossen Luke für das Einbringen der Hauptbatterien im Deck inkl. Decksluke für den Zugang zum Batterieraum im Schotraum 4. Der Ausgang für den Auspuff in der Schale wurde verschlossen.

Als nächster Schritt wurden die Fundamente für den Transformator, den Inverterkasten, den Motor, den Steuerungsschrank, die DC-DC-Link etc. eingebaut. Die neuen Teile wurden grundiert und gestrichen.

Diese Hauptarbeiten wurden im Schiff im Wesentlichen von zwei Mitarbeitenden, einem Bauleiter und einer Hilfsperson der Shiptec AG unter Zulieferung durch weitere Spezialdienste sowie den Projektleiter Florian Räber der Shiptec AG geleistet. Das war in Anbetracht der engen Platzverhältnisse ausreichend. Shiptec hielt nachträglich fest, dass sie den Aufwand für die Anpassungen am Schiff etwas unterschätzt hatte.

Der Fortschritt auf der Baustelle wurde durch den Projektleiter der SGG mindestens 1 mal wöchentlich vor Ort beurteilt. Details in der Ausführung wurden laufend besprochen und konnten so direkt einfließen. Der Umbau stellte keine besonderen Probleme. Zweimal wurde das Projekt mit dem Vertreter des BAV vor Ort besprochen und Lösungen evaluiert und auch gefunden.

Bei dieser Gelegenheit wurde auch die Anzahl der Umdrehungen des Handsteuers von 8 Umdrehungen auf 6 reduziert und damit ein wesentlich direkteres Steuern ermöglicht. Der deshalb etwas grössere Kraftaufwand hält sich in engen Grenzen und entspricht der Steuerung vor der Totalrestaurierung von 2017.

Die Brandmeldeanlage wurde ersetzt, nachdem sich herausgestellt hatte, dass die bisherige schon einige Jahre alt war und als Produkt nicht mehr in der Schweiz vertrieben und gewartet werden konnte. Auch gab es bereits Nachfolgeprodukte.

Die Kabel wurden auch von ZEM aus Norwegen bzw. einem Unterlieferanten derselben geliefert und hatten allerdings gegen 14 Tage Verspätung in der Lieferung. Die Verdrahtung startete deshalb verspätet, was allerdings dazu führte, dass Shiptec drei Elektroinstallateure einsetzte. Nach dem Abschluss des Gros der Arbeiten erfolgte der Rücktransport nach Maur am 29. März 2022. Die Arbeiten der Verdrahtung und weitere Pendenzen wurden dann in Maur fortgesetzt.

4.5 INBETRIEBSETZUNG, ABNAHME DURCH DAS BAV UND SCHULUNG

Ab dem 31.3.2022 begann die Inbetriebsetzungsphase im Beisein von zwei Mitarbeitenden der Firma ZEM in Maur, welche vorab die vorhandene Installation überprüften und ergänzende Verkabelungen vornahmen. Man startet mit der Ebene 24 Volt der Bordbatterien, welche die Hilfsfunktionen ansteuern. Bei der Anzeige im Display für den Schiffsführer während der Fahrt wurden Anpassungen vorgenommen. Die Schrift wurde vergrössert und die Angaben auf die Bedürfnisse der Schiffsführer während der Fahrt ausgerichtet.

Am 4.4.2022 wurde der Krängungsversuch im Beisein des BAV durchgeführt. Die Resultate stellen fest, dass die gesetzlichen Anforderungen erfüllt sind. Es bestehen darüber hinaus praktisch keine Reserven mehr.

Am 6.4.2022 erfolgte das Laden der Hauptbatterien und erste Fahrt auf dem See mit elektrischem Antrieb. Es werden verschiedene Tests durchgeführt und es zeigten sich keine Probleme.

Am 12.4. erfolgte während rund 6 Stunden die Abnahme durch den Vertreter des BAV, Sektion Schifffahrt.

Ab dem 19. bis 21.4.2022 werden die Schiffsführerinnen und Schiffsführer während einem halben Tag theoretisch und während einem halben Tag praktisch am Schiff durch die Projektleiter der Shiptec AG ausgebildet.

Der Schiffsausweis wurde am 27.4. der SGG mit Verfügung per Mail zugestellt. Diese nahm nach letzten Arbeiten der Shiptec AG am 29.4. den ordentlichen Kurs Maur-Uster-Maur wieder auf.

Das entsprach exakt dem mit dem Lieferanten des Systems, Shiptec AG, vertraglich vereinbarten Zeitplan. Vertragsstrafen wegen Verzug hätten erst 14 Tage später eingesetzt.

Am 9.6.22 wurde im Beisein der Shiptec festgestellt, dass das Schiff in den 30 vorangehenden Tagen alle erwünschten Kurse fahren konnte und nie ausgefallen ist. Damit und weil keine grossen Mängel vorlagen, ist die vertraglich vereinbarte Probezeit erfolgreich abgelaufen. Das Schiff wurde unter Vorbehalt einer Liste von Pendenzen und zu erledigenden Arbeiten vertraglich abgenommen. Mit dieser Abnahme beginnt die Gewährleistungsfrist von 2 Jahren zu laufen. Die Hauptbatterien unterliegen einer Gewährleistungsfrist von 10 Jahren, unter dem Vorbehalt der Einhaltung der Auflagen des Batterielieferanten für den Betrieb.

4.6 BAU EINER PHOTOVOLTAIKANLAGE

Zu Beginn des Projektes konzentrierten wir uns auf die Elektrifizierung und damit allein auf den Umbau des Schiffes, zumal in Maur der ortsansässige Stromverteiler in der Grundversorgung zu 100 % erneuerbaren Strom aus Wasserkraft liefert. Mit Fertigstellung des Umbaus des Schiffes klärten wir die Möglichkeiten des Baus einer Photovoltaikanlage, obwohl aufgrund von Wald und Baumverhältnissen die Voraussetzungen gegeben aber etwas eingeschränkt sind. Immerhin konnte eine PVA mit 26 kWp bestellt werden. Die Installation ist allerdings aufgrund der aktuellen Marktverhältnisse im Energiemarkt erst im Frühjahr 2023 möglich. Es wird damit gerechnet, dass wir einen Ertrag von rund 21'000 kWh pro Jahr produzieren können und damit auch an den Betrieb des e-MS HEIMAT beitragen können. Die Kosten für die Anlage auf dem Bürodach und der Werft unter Beachtung der Schutzziele des Greifensee liegen pauschal bei CHF 60'400, wobei der Unterstützungsbeitrag seitens des Bundes bei CHF 10'400 liegen wird. Die Anlage wird noch ohne Batterie gebaut. Diese könnten allenfalls später ergänzt werden, wenn die Batterien im Schiff zu ersetzen sind.

4.7 PROJEKTKOSTEN

Die Projektkosten des gesamten Projektes von der Machbarkeit über die Bereitstellung der Finanzierung bis und mit Umbau belaufen sich auf rund CHF 865'000.-. Zieht man Kosten für Erneuerung des Aussenanstriches, diverse kleinere Auflagen des BAV und den Bau einer PVA-Anlage ab, so belief sich der Aufwand für die Elektrifizierung auf CHF 725'000.-. Das entsprach dem Betrag, welcher die Projektanmeldung mit CHF 730'000 enthielt. Das Projekt konnte so im Rahmen der geplanten Kosten realisiert werden. Es waren dabei rund CHF 75'000.- Reserven für Unvorhergesehenes enthalten (ca. 8 % der Projektsumme). Diese wurden für technische Massnahmen im Umfange von CHF 41'000.- im Projekt

und für die Erneuerung des Aussenanstriches im Umfang von knapp CHF 30'000.- schlussendlich auch aufgewendet.

Die Projektkosten gliedern sich im Wesentlichen wie folgt:

Kosten inkl. MWSt			Anteil in %
Machbarkeitsstudien I und II			
Vorbereitungen und Auswertung Ausschreibung	CHF	32'999	4%
Auftrag Shiptec AG	CHF	538'328	62%
Zusatzbestellungen	CHF	21'971	3%
Unvorhergesehenes	CHF	42'114	5%
Schulungskosten	CHF	7'210	1%
Plangenehmigungsverfahren Gebühr BAV	CHF	18'830	2%
Malerarbeiten	CHF	30'020	3%
Photovoltaikanlage netto	CHF	50'264	6%
Projektleitung Umbau und Finanzierung	CHF	113'134	13%
Finanzierung, Festakt und Diverses	CHF	9'442	1%
Total Projekt	CHF	864'312	100%

4.7 FINANZIERUNG

Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie zeigten, dass wir gut CHF 600'000.- an Mitteln für den Umbau allein (Werkvertrag) benötigen würden. Der genauere Betrag war abhängig von den Ergebnissen der Ausschreibung. Hinzu kamen Anpassungen der Hausinstallation, Verfahrenskosten, Projektleitungsaufwand usw.

Erste Besprechungen mit den Vertretern des Gemeinnützigen Fonds des Kantons Zürich zeigten rasch, dass auch eine Unterstützung der Städte und Gemeinden im Bezirk Uster (um den Greifensee) erforderlich war. Wir stellten das Projekt den Städte- und Gemeindepräsidenten bzw. Stadtpräsidentinnen und Gemeindepräsidentinnen vor und diese bewirkten, dass wir innert 5 Wochen im Frühjahr 2021 Beschlüsse über Beitragszusagen von 9 der 10 angefragten Städte und Gemeinden entgegennehmen durften. Das befeuerte die Finanzierung des Projektes und erlaubte auch weitere, erfolgreiche Medienmitteilungen.

Etwas problematisch war, dass wir auf Stufe Bund und Kanton lange Zeit nicht mit Sicherheit wussten, ob und wie dem Gesuch entsprochen werden würde. Wir mussten daher zweigleisig vorgehen. Die eine Variante ging davon aus, dass der Kanton aus dem gemeinnützigen Fonds einen Beitrag von CHF 500'000.- sprechen würde und die Gemeinden im Verhältnis 1:5 beitragen würden. Die andere Variante ging davon aus, dass auch der Bund einen Beitrag von max. CHF 240'000 beitragen würde und damit der gemeinnützige Fonds des Kantons Zürich den Betrag von 345'000.- und die Gemeinden wiederum im Verhältnis 1:5 beitragen würden.

Der Bund finanzierte schlussendlich die Machbarkeitsstudie II bis zu einem Aufwand von CHF 20'000.- Der effektive Aufwand belief sich aber nur auf rund CHF 16'000.-. Nach Abnahme der Machbarkeitsstudie II wurde ein Beitrag von insgesamt 44 % der Projektkosten maximal aber CHF 240'000.- für die Phase II in Aussicht gestellt. Diese Maximalsumme wurde erreicht.

Schlussendlich folgten auch Privatpersonen dem Aufruf zu Spenden und zwei Firmen, die Energie Uster AG, Uster, und Gossweiler Ingenieure AG, Dübendorf, unterstützten im Rahmen eines Sponsoringbeitrages.

Die Sicherstellung der Finanzierung dauerte rund ein Jahr. Voraussetzung war ein klares Konzept des Vorgehens und der angestrebten Ziele. Im Budget wurde vorsorglich ein Betrag von 8 % der Projektkosten an Unvohergesehenem (CHF 75'000) vorbehalten. Angefallen sind rund CHF 42'000.-. Die Hälfte davon entfiel auf den Ausbau der Hausinstallation. Der Rest wurde für Malerarbeiten reserviert. Die Mehr- und Minderkosten wurden während dem Projekt laufend mit den Lieferanten festgehalten, um laufend den Überblick über die noch möglichen Handlungsfreiheiten zu behalten und keine Überraschungen zu erleben.

4.8 LEUCHTTURMPROJEKT UND MEDIALE BEGLEITUNG

Schon früh im Rahmen der ersten Machbarkeitsstudie und der ersten Finanzierungsschritte fand das Projekt die Aufmerksamkeit der regionalen Medien, aber auch der NZZ. Die Zusammenarbeit mit regionalen Chefredaktoren von Medienhäusern für Zeitung, online und TV hat sich bewährt. Schon aufgrund der Resultate der Machbarkeitsstudien haben der Zürcher Oberländer (ZOL), insbesondere der Anzeiger von Uster sowie die NZZ über das Vorhaben berichtet. Die Vertiefung hat dazu geführt, dass die Ereignisse Beschlussfassung über die Realisierung des Projektes, Planung, Ausbau des Dieselmotors, Auswasserung des MS HEIMAT und Transport nach Luzern, Umbau in Luzern, Rücktransport des e-MS HEIMAT nach Maur, Inbetriebnahme, Ausbildung der Schiffsführerinnen und Schiffsführer sowie die Betriebsaufnahme am 29.4.2022 thematisiert werden konnten. Das führte bei den Medien zu wiederholten Berichterstattungen über ein beliebtes Thema und es wurde dabei kein Produkt beworben.

Involviert in diese Berichterstattung waren ZOL, Anzeiger von Uster, Radio Top, TV Top, TeleZüri, TeleZ, CH MEDIA mit den angeschlossenen Sendern, Nachrichten von Greifensee und Maurer Post und Radio SRF inkl. SRF.ch. Berichte fanden sich auch in Fachmedien der Schifffahrt und im VSE/Elektrosuisse Bulletin auf deutsch und französisch. Damit konnte dem Charakter Leuchtturmprojekt zum Durchbruch verholfen werden. Dies umso mehr als es der erste Umbau eines Schiffes auf Vollelektrifizierung im öffentlichen Verkehr in der Deutschschweiz war. Hingewiesen wurde dabei auch auf den im Jahre 2021 realisierten Umbau des MS CERESIO im Tessin, den seit längerem erfolgte Neubau Mobicat auf dem Bielersee und Schiffe auf dem Genfersee, Planungen am Bodensee und die Bestellungen der ZSG für die Limmatboote für das Jahr 2023.

Auch Organisationen wie die Plattform des Eigentümerclubs der Tesla sowie der Mobility Plattform von Volvo nahmen das Thema mit Besuchen auf der Baustelle und mit Berichten auf. Diverse Referate des Projektleiters in Serviceclubs wie Lions, Rotary oder in Gewerbeverbänden rundeten die Kommunikation ab.

Am 31. August 2022 findet ein Festakt zum Abschluss des Projektes mit dem Besuch von Regierungsrätin Carmen Walker Späh in Begleitung von Dominik Brühwiler, Direktor des ZVV, statt. Am 10. September besucht Regierungsrat Martin Neukomm das e-MS HEIMAT. Es ist der Tag der offenen Tür bei der SGG.

5. Diskussion

5.1 NACHWEIS DER MACHBARKEIT

Das e-MS HEIMAT verfügte vor dem Umbau auf Elektroantrieb nur über 3,4 cm Freibordreserve und über 1 Grad Reserve im Neigungswinkel. Im Stadium der Machbarkeitsanalysen beschränkte sich das Engineering auf Grundsätze. Dies umso mehr, als auf das Layout eines bestimmten Systems in diesem Stadium verzichtet werden musste, andernfalls man jeden Wettbewerb zwischen verschiedenen Systemen ausschliessen würde.

Wir haben daher den Ansatz gewählt, dass wir auf die Beurteilung des für die Machbarkeit verantwortlichen Schiffsbauers abstellten und auf ein konkretes Detailengineering in diesem Stadium bewusst verzichteten. Wir nahmen daher ein gewisses Risiko in Kauf und stellen auf die Beurteilung von Fachleuten ab. Dies war umso mehr möglich, als die Machbarkeitsstudie von zwei Systemvarianten ausging: kleiner Batteriesatz (zwei Batterien mit ca. 66 kWh) mit laufendem Nachladen und grosser Batteriesatz (vier Batterien mit ca. 132 kWh) Nachladen nur nachts. Das Gewicht des kleinen Batteriesatzes zeigte, dass damit gerechnet werden konnte, dass das Gewicht der gesamten Einbauten geringer werden sollte als das Gewicht aller Ausbauten. Zudem konnte das Trimmgewicht reduziert werden. Der definitive Entscheid konnte allerdings erst aufgrund der vorliegenden Offerten und den Offertgesprächen geführt werden. Schlussendlich zeigte erst die Ausmessung der hydrostatischen Verhältnisse im Wasser nach

dem Umbau, dass der Entscheid mit 3 Batterien unter gleichzeitiger Aufrechterhaltung der Anzahl zu transportierender Personen (60) und des Fahrtempos von 15 km/h nun wirklich machbar war.

5.2. SPEZIFIKATION FÜR DIE AUSSCHREIBUNG

Bei der Ausführung zeigte sich, dass es von Vorteil war, dass wir klare Schnittstellen der Verantwortung und die Redundanzen definiert und gleichzeitig ganz allgemein eine hohe Qualität verlangt hatten. Die Verantwortung des Unternehmers begann mit Schiff im Wasser in Maur und endete mit der Abnahme durch die SGG nach dem Probetrieb von 30 Tagen unter Personentransport wiederum eingewässert. Elektrisch betrachtet brachten wir 400 Volt am Steg seitens der SGG. Der Stecker und das Kabel waren Sache des Lieferanten. Die Kriterien für das schlüsselfertige System waren in den Spezifikationen und dem Vertrag festgehalten. Ein grober Zeitplan war in der Ausschreibung enthalten und im Vertrag wurden Pönalen für verspätete Lieferung nach einer Fristerstreckung von 14 Tagen vorgesehen.

5.3 AUSSCHREIBUNG

Bei der Ausschreibung zeigte sich rasch, dass die Anforderungen an Referenzen für erfolgreiche ähnliche Schiffsprojekte und die Führung des Plangenehmigungsverfahrens mit dem BAV den Kreis der Offerenten einschränkte. Einschränkend waren auch die aktuellen Lieferfristen für Batterien und Elektromotoren zu Pandemiezeiten. Eine Firma aus dem benachbarten Ausland versuchte eine Verlängerung der Ausschreibungszeit zu erreichen, weil sie erst spät bemerkte, dass die Resultate der Machbarkeitsstudie verlangten, dass Freibord und Krängung vertieft zu beurteilen waren. Die Dauer der Ausschreibung war schon von Anfang länger als die gesetzlichen Anforderungen und in Anbetracht des Zeitraumes für den Umbau sowie die gesetzlichen Vorgaben der Gleichbehandlung aller Offerenten konnten wir auf das Begehren der Fristerstreckung nicht eintreten.

Die Firma ZEM interessierte sich für eine Lieferung, suchte aber schlussendlich einen Schiffsbauer vor Ort in der Schweiz. ZEM hat vielfältige Erfahrung in der Elektrifizierung und hatte auch kürzlich ein ähnliches Schiff mit voller Zertifizierung gemäss DNV gebaut. Die Zusammenarbeit mit Shiptec AG führte schlussendlich dazu, dass die Bestellung der SGG bei Shiptec mit dem Unterlieferanten ZEM aufgrund des Preises, aber vor allem aufgrund der konkreten Zertifizierungsnachweise, der Erfahrung und Erprobung sowie den Erfahrungen im Umgang mit den zuständigen Behörden des BAV den Zuschlag erhielt. Beim nächstbesten Angebot mussten wir mit erheblichen Unsicherheiten betr. Zertifizierung, weniger Erfahrung in den Verfahren mit dem BAV und mit deutlich grösserem Entwicklungsrisiko rechnen, obwohl der Preis vergleichbar war.

5.4 SPEICHERGRÖSSE

Die erste Empfehlung des Schiffsbauers Shiptec AG lautete in der Machbarkeitsstudie und in der Offerte auf die Wahl des kleinen Batteriesatzes. Nach eingehendem Studium aller Unterlagen, der Gewichtsverhältnisse und der erneuten Bestätigung der Machbarkeit durch den Schiffsbauer entschieden wir uns für eine Mittellösung mit drei Batterien bzw. 99 kWh. Das Ziel war es, eine grössere Redundanz und eine längere Lebensdauer der Batterien zu ermöglichen. Man kann das Schiff auch mit zwei von drei Batterien betreiben. Das gibt grössere Flexibilität im Einsatz und es ist zudem zu erwarten, dass die Lebensdauer der Batterien infolge geringerer Belastung länger würde.

Hätte man die Freibordgrenze und die Neigungswinkel damit nicht erreichen können, hätten wir auf zwei Batterien zurückgehen müssen, aber auch können. Das hätte eine Entlastung gegeben, zumal eine Batterie allein ein Gewicht von 250 kg hat.

5.5 BESTELLUNGSUMFANG

Im Rahmen der Ausschreibung war auch eine Option für die dritte Batterie und die Lagerhaltung für kritische Elemente zu offerieren. Wir haben so zur Vermeidung von längeren Ausfallzeiten eine weitere Pumpe für den Kühlkreislauf, einen Inverter für die Wandlung des Gleichstroms in Wechselstrom für den Motor sowie einen Elektromotor an Lager genommen. Die dritte Batterie erhöht die Redundanz, da man auch mit zwei Batterien fahren kann. Bei Störungen einer Batterie fällt damit kein Kurs aus. Ein neuer Motor oder eine Reparatur desselben ist zeitkritisch, da die Bestellzeiten rasch ein halbes Jahr lang oder mehr sind. Die Kosten für diese Massnahmen stehen in einem guten Verhältnis zur gewonnenen Verfügbarkeit des Schiffes. Die dritte Batterie kostete CHF 24'500.- und der zweite Elektromotor kostete inkl. Inverter den Betrag von CHF 18'500.-.

5.6. ENGINEERING

Aufgrund der schlüsselfertigen Lösung hatte die SGG wenig Möglichkeiten auf bestimmte Dimensionen vorab Einfluss zu nehmen. Schon vor dem Beginn des Umbaus stellten wir aufgrund der Zeichnungen fest, dass das vorgesehene Display (HMI) mit 7 Zoll Diagonale zu klein war. Wir bestanden auf dem Einbau eines Displays mit 11 Zoll Diagonale. Dafür ergänzten wir mit einem kleinen 7 Zoll Display die

Informationen während der Fahrt, da das Haupt HMI während der Fahrt nicht direkt eingesehen werden kann, da das Haupt HMI auf Brusthöhe angebracht werden musste.

Schon bei Vertragsabschluss haben wir für die Überwachung und Auswertung der Daten einen Internetzugang bestellt. Das auf einem Browser basierende Websystem zeigt auch den Stromverbrauch zum Laden der Hauptbatterien und den Verbrauch der Heizung für das Kühlwasser im Winter an. Das Kühlwasser wird in einem Temperaturbereich von 25 Grad plus/minus 10 Grad Celsius gehalten. Nicht gemessen werden kann das Laden der Borbatterien bei Landnetzanschluss. Dann werden die Bordbatterien vom Landnetz geladen. Beim Fahrbetrieb werden die Bordbatterien durch die Hauptbatterien geladen. Dieser Verbrauch ist in der gemessenen Ladung aus dem Landnetz enthalten.

5.7 UNVORHERGESEHENES

Aufgrund von Anregungen des BAV haben wir auch 4 Opferanoden für Süsswasser/Brackwasser mit einem Gesamtgewicht von rund 3 kg am Rumpf aussenseitig angebracht. Ein Hahrriss im Kühlsystem, das weiterhin verwendet wird, musste behoben werden und die Brandmeldezentrale unterlag nicht mehr der Wartung in der Schweiz, weshalb wir sie durch eine neue ersetzen. Die neue Absicherung der Hausinstallation und die weiteren erforderlichen Kabelanschlüsse wurden den Kosten für Unvorhergesehenes belastet.

Die sorgfältige Abfassung der Spezifikationen und die sorgfältige Planung haben uns vor weiteren Überraschungen bewahrt.

5.8 PLANGENEHMIGUNG UND SCHIFFSAUSWEIS

Es war richtig, das Plangenehmigungsverfahren durch die beauftragte Shiptec AG führen zu lassen, dabei aber eng involviert zu bleiben. Mit den Vertretern des BAV konnte im Rahmen einer ersten Begegnung im September 2021 unter Vorbehalt ausserordentlicher oder späterer Umstände ein gemeinsam besprochener Zeitplan ins Auge gefasst werden. Falls bis am 11.11. die Unterlagen vollständig vorliegen sollten, durften wir mit einer Verfügung vor Weihnachten rechnen. Das war sehr konstruktiv und erlaubte allen Beteiligten zielgerichtet den Start des Umbaus auf den 13. Januar zu planen. Bei den Besuchen durch das BAV auf der Baustelle wurden wichtige Absprachen der Ausführung rechtzeitig besprochen. Bei den Krängungsversuchen war der Vertreter des BAV zugegen. Die Krängungsversuche zeigten, dass sowohl beim Freibord wie auch der Krängung die gesetzlichen Anforderungen erfüllt waren. Das Resultat zeigte, dass die Wahl von drei Hauptbatterien anstatt deren zwei verantwortet werden konnte. Es wurde aber auch klar, dass vermehrt Trimmgewicht eingesetzt werden musste und dass das Gewicht des neuen Antriebssystems etwas unterschätzt wurde. Schiffsanpassungen, Kabel und Kabelkanäle wurden auch im Gewicht eher unterschätzt. Die Variante mit 4 Batterien wäre voraussichtlich nur unter erschwerten Anpassungen des Layouts und unter Vermeidung von Trimmgewichten realisierbar gewesen.

Grundsätzlich stellt sich die Frage, ob die Dauer von 8,5 Arbeitstagen für die Ausstellung der Verfügung und den Schiffsausweis nicht verkürzt werden könnte, zumal die Abnahme im Detail ja stattgefunden hatte und die Fahrtüchtigkeit festgestellt worden war. Die erforderliche Zeit war uns allerdings transparent dargelegt worden.

Von der Auftragserteilung (Zuschlag am 3. September 2021) dauerte der Umbau rund 8 Monate, das Schiff wurde vom 13. Januar bis am 28. April, d.h. 3 ½ Monate aus dem Verkehr genommen. In dieser Zeit hat die SGG den ZVV-Kurs mit dem MS DAVID HERRLIBERGER durchgeführt. Eine Verzögerung des Umbaus hätte dazu geführt, dass die SGG bei Saisonbeginn ein Schiff weniger hätte einsetzen können. Der Umbau hätte daher ein Jahr später durchgeführt werden müssen. Geholfen hat bei dieser erfolgreichen, verhältnismässig kurzen Umbauzeit, die umsichtige Projektleitung der Shiptec AG wie auch dass die Lieferanten ZEM und Shiptec AG die kritischen Komponenten wie Elektromotor mit Inverter und Hauptbatterien sehr früh beim Zuschlag auf eigenes Risiko bestellt hatten und das BAV, Sektion Schifffahrt bereit war, in terminlich abgesprochener Zeit die erforderlichen Prüfungen durchzuführen und die notwendigen Verfügungen zu erlassen. Das BAV hatte auf unsere Anfrage die Gebühren auf CHF 25'000 für das Budget geschätzt, die Rechnung lautete auf CHF 18'830.-.

5.9 SCHULUNG

Die Schulung erfolgte in einem theoretischen Teil über das System und die Konfiguration sowie in einem praktischen Teil in der Handhabung und dem Fahren mit dem Schiff. Es zeigte sich, dass der theoretische Teil gut verstanden wurde und das Fahren mit dem Schiff keine wesentlichen Besonderheiten zum Dieselantrieb zeigte. Es wurde einzig vermerkt, dass das Drehmoment des Antriebes sich stärker bemerkbar machte. Der praktische Teil benötigte in der Regel nicht einen ganzen halben Tag. Demonstriert wurde auch, dass das Fahren mit 10 km/h anstelle der maximalen Geschwindigkeit von 15 km/h rund 2/3 weniger Energie erfordert, also gerade im umgekehrten Verhältnis.

5.10 BETRIEB UND TECHNIK

Gemäss Vertrag fand die Abnahme gegenüber dem Lieferanten erst statt, wenn während 30 Tagen im öffentlichen Verkehr kein Ausfall eines Kurses zu verzeichnen war und wenn sich auch sonst keine gravierenden Mängel zeigten. Das Schiff ist nun seit dem 29. April 2022 über 100 Tage ohne Ausfall eines Kurses in Betrieb.

Das bedeutet nicht, dass es keine technischen Probleme gegeben hätte.

An Problemen ergaben sich im Wesentlichen folgende:

a. Ausfall der Kühlpumpe aufgrund der Konstruktionsvorgabe von ZEM.

Das zeigte sich in Form von Temperaturanstiegen im System mit entsprechenden Alarmen. Die Sicherstellung eines angemessenen Vordruckes für die Pumpe behob das Problem. Dabei lernten wir das Verhalten des Systems und die Grenzen der Betriebstemperaturen genauer kennen. Trotz Hitze (35 Grad Lufttemperatur) im Juli/August 2022 ergaben sich keine unzulässigen Temperaturen des Systems. Dabei kann insbesondere der Inverter für den Antrieb durchaus 60 Grad Celsius erreichen.

b. Ansprechen der FI-Sicherung oder der Leistungssicherung beim Start zum Laden aufgrund kurzer Spitzen beim Start.

Das Problem konnte mit leicht erhöhten Sicherungswerten und einem etwas trägeren FI-Schalter sowie Anpassung bei der Steuerung des Systems behoben werden.

c. Eine besondere Erfahrung machte die SGG mit dem Fahrhebel.

Dieser weist einen Knopf «warm snyc» auf, welcher bei Schiffen mit Aussenfahrständen zum Einsatz kommt. Beim Betätigen dieses Knopfes fällt der elektrische Antrieb aus, was bei einem rein elektrischen System zu Problemen insbesondere während des Anlegens durch zufällige Betätigung des Knopfes führen kann. Nach einiger Zeit wurde bestätigt, dass die Software ein Update erhält, welcher diese nicht benötigte Synchronisierungsfunktion aufhebt.

d. Abwerfen eines Batteriestranges der Hauptbatterie nach längerem Ladezustand aufgrund unveränderter Temperatur durch das BMS oder auch bald nach Ladebeginn.

Der auftretende Alarm kann mit einfacher Handhabung und Neustart des Systems ad hoc behoben werden. Es wird auf einen Softwarefehler des Batteriemangements der Akasol-Batterie geschlossen. Es wurde der Computer für die Systemsteuerung mit grösserem Arbeitsspeicher versehen und vorübergehend die Batterie 3, welche im Gegensatz zu den beiden anderen Batterien häufig ansprach, stillgelegt bis zur Behebung des Softwarefehlers im BMS durch Akasol.

e. Schlussendlich wurde festgestellt, dass der Antriebsstrang bis zu einer Geschwindigkeit von ca. 12 km/h sehr ruhig läuft. Bei höherer Geschwindigkeit zeigen sich verstärkte Vibrationen im Heckbereich. Die Welle hat seit jeher im hintersten Bereich gute 2 m ohne Lagerung. Es wird später geklärt, ob der Zustand des Gummilagers im Stevenrohr das fördert. Der Propeller wurde auf Unwucht und Ausrichtung überprüft. Geringfügige Anpassungen an der Ausrichtung führen nun dazu, dass bei einer Wellendrehzahl von 680 – 690 der Propeller leicht pfeift.

Es ist darauf hinzuweisen, dass Systemprobleme dort am ehesten auftauchen, wo Speziallösungen gefunden werden mussten. Zum Beispiel mussten wir dem HMI aus Sicherheitsgründen (jederzeit öffentlicher Zugang) einen Schlüssel vorschalten. Die Interaktion zwischen HMI und Schlüssel mit 3 Stellungen war für die Programmierung eine solche Spezialherausforderung. Auch war im norwegischen Boot keine Ladestation an Bord und dies hatte zusätzliche, noch nicht erprobte Herausforderungen zur Folge, welche aber identifiziert und gelöst wurden. Schlussfolgerung ist, dass individuelle Anpassungen in der Regel nach Möglichkeit vermieden werden sollten.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei Alarmen die Hilfe des Systemlieferanten recht rasch unerlässlich ist. Die SGG ist nicht in der Lage, die Systemalarne zu analysieren. Dank der Möglichkeit dass sich Systemspezialisten aus Norwegen sich per Ferndiagnose über das Internet jederzeit ins System einloggen können, konnten auftretende Fehlermeldungen rasch lokalisiert und dann auch behoben werden. So konnte die Distanz nach Norwegen ohne Probleme überbrückt werden. Die Tatsache, dass für elektrische Probleme nur ausgebildete Elektriker zum Einsatz kommen können, hat sich bisher nicht ausgewirkt.

Das System zeichnet sich durch eine hohe Qualität aus, ist fachgerecht verdrahtet und die Kabel sind fachgerecht verlegt. Der Ausbau zeichnet sich durch einen professionellen Standard aus. Die Schemata liegen vor, sodass die Abhängigkeit von bisherigen Lieferanten auf das Machbare begrenzt ist. Das System war nun im normalen Umfeld mit Durchschnittstemperaturen und mit sehr hohen Temperaturen (35 Grad Celsius) im Einsatz. Die kalten Jahreszeiten stehen noch aus.

Die Schiffsführerinnen und Schiffsführer waren zu Beginn des Betriebes vom neuen System begeistert. Das erhöhte Drehmoment wurde sofort wahrgenommen. Das Fahren mit dem Schiff verlief ohne Probleme und ist im Wesentlichen unverändert. Die Feststellungen b. und c. oben haben allerdings mit der Zeit - weil Lieferfristen die Behebung verhinderten oder auftretende Fehler nicht sofort klar eruiert werden konnten - zu etwas Verunsicherung bei den Schiffsführerinnen und Schiffsführern geführt, vor allem dort wo etwas weniger technisches Verständnis vorliegt. Dies, obwohl die festgestellten Mängel keine wesentlichen Systemfehler waren und der Antrieb im Übrigen einwandfrei und ohne Alarme funktionierte. Es brauchte daher auch Überzeugung der Lieferanten und Unterlieferanten, dass das Problem dennoch rasch behoben werden sollte.

Aufgrund des geringen Energiebedarfs von bis zu 3 kWh pro Kurs Maur-Uster-Maur ist die Versuchung der Schiffsführerinnen und Schiffsführer gross, auf das Nachladen auch mal zu verzichten. Hersteller und Lieferant empfehlen deutlich das sog. Mikroladen, das heisst, Nachladen nach jedem Kurs. Dies dient einerseits dem Erhalt der Flexibilität bzw. Einsatzbereitschaft und andererseits vor allem der Lebensdauer der Batterie. Es benötigt aber zusätzliche Überzeugungskraft gegenüber den Schiffsführerinnen und Schiffsführern.

Auch stellen wir fest, dass die Ausbildung vor allem im theoretischen Teil nach einer gewissen Zeit vertieft werden muss. Dies auch weil wir das System im Laufe der Zeit im Betrieb immer besser kennen gelernt haben und wir daher im Umgang mehr Sicherheit vermitteln können.

5.11 ENERGIE-VERBRAUCH

Die Auswertung des Stromverbrauchs zeigt deutlich, dass die Fahrweise und das Tempo einen erheblichen Einfluss auf den Verbrauch haben. Die im Rahmen der Machbarkeitsstudien getroffenen Berechnungen, dass wir für eine Kursfahrt Maur-Uster-Maur mit der durchschnittlichen Zahl an Passgieren 3 kWh benötigen, hat sich bei vollem Tempo bestätigt. Auch der Verbrauch bei einer Fahrt von Maur nach Greifensee und zurück mit rund 10 kWh ist bestätigt. Über den Heizungsverbrauch liegen noch aufgrund der aktuellen Temperaturen keine Angaben vor.

Gleichzeitig stellen wir fest, dass ein Kurs mit einer Volllast von 60 Personen effektiv zu rund 4 kWh führt und damit die Vorhersagen, dass das Gewicht nur zu wenig Mehrverbrauch führe, von einem leichteren System ausgingen. Da die Vollbeladung im Jahresrhythmus verhältnismässig selten auftritt, wirkt sich dieses Moment auf den Energiekonsum wenig aus.

Bisher waren für den Betrieb des Schiffes MS HEIMAT rund 3'600 Liter im Jahr erforderlich. Diese werden vollständig eingespart. Dank dem erhöhten Wirkungsgrad rechnen wir gegenüber dem bisherigen jährlichen Dieselvebrauch mit einer Energieeinsparung von gut 50 %. Den gesamten Jahresverbrauch an Elektrizität schätzen wir aufgrund der bisherigen Messungen auf rund 15 – 17'000 kWh. Für die Kursstrecke allein fallen rund 10'500 kWh p.a. an.⁸ Damit können pro Jahr etwa 10 t CO₂ eingespart werden. Auf 30 Jahre ergibt das rund 300 t CO₂.

Die Photovoltaikanlage auf den eigenen Dächern der SGG hat eine Leistung von 26 kWp. Aufgrund gewisser zeitweisen Beschattungen durch unter Schutz stehenden Waldbäumen können wir damit rund 21'000 kWh, etwas mehr als das e-MS HEIMAT benötigt, im Jahr produzieren. Der effektive Betrieb der PVA und dem Schiff wird zeigen, ob diese Rechnungen stimmen.

5.12 WARTUNG

Während der Unterhalt bei einem Dieselmotorantrieb mit rund 8 Ölwechseln im Jahr und weiteren Arbeiten verhältnismässig intensiv war, zeigt sich, dass sich die Wartung bei einem Elektroantrieb auf ein Minimum begrenzt ist. Wenige tägliche oder wöchentliche Sicht-Kontrollen und einmal im Jahr eine Inspektion auf Abnützungen von Kabeln und die Prüfung von Sensoren der Brandmeldeanlage sind wesentlich einfacher und benötigen einen deutlich reduzierten Aufwand. Der Elektromotor hat ein Wartungsintervall von rund 18'000 Betriebsstunden. Die Überwachung des Betriebs konzentriert sich auf die Einhaltung des SoC der Batterien und das konsequente Nachladen.

Die SGG sieht vor, dass sie jährlich eine angemessene Rückstellung bildet, um die Batterien nach Ablauf von 10 und mehr Jahren ersetzen zu können.

5.13 SYSTEMLEISTUNGEN UND VERFÜGBARKEIT

Es zeigte sich, dass die Auslegung des Motors mit 40 kW Leistung und einem Drehmoment von 620 Nm ausreichend ist. Der Notstopp wird gemäss den neuen Normen erreicht und der Antrieb weist ein stärkeres Drehmoment auf als vor dem Umbau.

⁸ 3500 Kursfahrten p.a. à 3 kWh.

Die Kapazität der 3 Hauptbatterien mit 99 kWh führt im Normalfall kaum zu einem SoC von weniger als 50 %. Das erlaubt eine erhöhte Flexibilität im Einsatz. Dies ist von Bedeutung, weil durch die Medienarbeit und das Novum der Elektrifizierung der Wunsch von Kunden auf Schiffsmieten gestiegen ist. Das Schiff ist zusätzlich über das Anforderungsprofil hinaus unterwegs.

Die Autonomie der Bordbatterien ist mit mehr als 2 Stunden bei einer Anforderung von 30 Minuten ausreichend gross. Die Verfügbarkeit wurde durch die Lagerhaltung der Kühlungspumpe, des Inverters und des Elektromotors erheblich gestärkt. Lange Ausfallzeiten können so aller Voraussicht nach bei Defekten vermieden werden. Das ist für die Einsatzbereitschaft der Flotte von erheblicher, für die SGG geradezu existentieller Bedeutung.

Das System wird zur optimalen Nutzung der Batterie mit einem SoC zwischen 80 und 20 % gefahren. Möglich wären 85 bis 15 %. Es zeigt sich, dass auch bei mehreren Fahrten infolge Vermietungen oder Zwischenkursen der SoC kaum je unter 60 % fällt. Die Einsatzbereitschaft ist damit ausreichend.

5.14 PROJEKTKOSTEN

Es zeigt sich, dass ein elektrischer Antrieb im Vergleich zu einem herkömmlichen neuen Dieselantrieb erhöhte Investitionskosten erfordert. Shiptec AG rechnet mit 4 bis 5 mal höheren Kosten. Mit der günstigeren Beschaffung von Batterien aufgrund von technischen Entwicklungen, neuen Vertriebswegen für Batterien und der Standardisierung und Industrialisierung von solchen Antrieben und Komponenten dürften die Kosten mit der Zeit sinken.

5.15 MEDIALE BEGLEITUNG - LEUCHTTURMPROJEKT

Es gelang, das Projekt der Elektrifizierung des e-MS HEIMAT in den regionalen Medien, bei SRF und Spezialfachzeitschriften zu verankern. Das Thema stiess auf grosses Interesse auch seitens der Medienschaffenden. Es gab keinerlei Opposition. Die frühe Aufnahme im Rahmen der Machbarkeitsstudien war auch für die Bereitstellung der Finanzierung ein wichtiger Erfolgsfaktor. Das Projekt wurde landesweit bekannt und wir wurden häufig angesprochen. Das Schiff wird häufiger als bisher auch für kleinere Anlässe bzw. mangels Toiletten jeweils für kurze Dauer gemietet.

6. Schlussfolgerungen, Empfehlungen und Dank

Insgesamt kann die SGG feststellen, dass das Projekt auf die gewählte Art und Weise erfolgreich umgesetzt werden konnte. Sowohl die ambitionierten Zeitverhältnisse, die Projektkosten wie die Verlässlichkeit des Systems und der Betrieb mit Schiffsführerinnen und Schiffsführern in Teilzeitanstellung sind gegeben. Die Lieferanten haben gute Leistungen erbracht und die Zusammenarbeit war jederzeit konstruktiv und von gegenseitiger Offenheit geprägt. Der gewählte Ansatz der schlüsselfertigen Lieferung mit Ausschreibung hat dazu geführt, dass bisher ein in der Schweiz unbekanntes System mit etwas günstigeren Kosten gebaut werden konnte. Im bisher noch kurzen Betrieb hat sich der neue Elektroantrieb bewährt. Die gefundene Lösung ist aus heutiger Sicht nachhaltig. Das e-MS HEIMAT kann so für weitere Jahre Betrieb erhalten werden.

Die SGG ist eine kleine Schifffahrtsgesellschaft und verfügt nur über eingeschränktes technisches Know how. Für diese Ausgangslage können wir den eingeschlagenen Weg empfehlen. Es empfiehlt sich jedenfalls, den Know how von Lieferanten zu nutzen und bewährte Gesamtsysteme in Betracht zu ziehen. Bei Fehlern handelt es sich häufig um Softwarefehler. Diese treten umso mehr auf, als Spezialanfertigungen gefordert sind.

Das Projekt hätte die SGG aus eigener Kraft nicht realisieren können. Daher war von Anbeginn klar, dass nicht nur die Technik und die Realisierung eine Herausforderung war, sondern auch die Bereitstellung der Finanzierung. Daher gebührt dem Bund, dem gemeinnützigen Fond des Kantons Zürich sowie den Städten Uster und Dübendorf, den Gemeinden Greifensee, Fällanden, Maur, Mönchaldorf, Schwerzenbach, Volketswil, Wangen-Brüttisellen ein aufrichtiger, herzlicher Dank für die grosszügige Unterstützung des Vorhabens der SGG.

Symbol- und Abkürzungsverzeichnis

BMS	Batteriemanagementsystem (Bei Akasol-Batterien in Batterie integriert)
MWSt	Mehrwertsteuer (7.7 %)
IVöB	Interkantonale Vereinbarung über die öffentliche Beschaffung
kWp	Kilowatt peak, maximale Leistung einer PVA
PVA	Photovoltaikanlage
öV	öffentlicher Verkehr
SGG	Schiffahrtsgenossenschaft Greifensee, 8124 Maur
SoC	State of Charge, Ladezustand der Batterie in %
ZVV	Zürcher Verkehrsverbund

Anhang

1. Liste der Eckpunkte des Elektroantriebes
2. Generalplan e-MS HEIMAT
3. Sicherheitsplan e-MS HEIMAT
4. Machbarkeitsstudie II
