



LANDKREIS LÜNEBURG
DER LANDRAT

Mobilität	Vorlagenart	Vorlagennummer
Verantwortlich: Heilmann, Sebastian Datum: 07.06.2021	Beschlussvorlage	2021/179-1
	Öffentlichkeitsstatus: öffentlich	

Beratungsgegenstand:

"Innovationspartnerschaft" für die Elbfähre "Amt Neuhaus"

Produkt/e:

547-000 Einrichtung ÖPNV

Beratungsfolge:

Status	Datum	Gremium
Ö	15.06.2021	Ausschuss für Mobilität
Ö	21.06.2021	Kreisausschuss
Ö	24.06.2021	Kreistag

Anlage/n:

Gutachten „Maritime Beratung“ Fährbetrieb Amt Neuhaus
Präsentation „Maritime Beratung“ Fährbetrieb Amt Neuhaus
Positionspapier Bleckede Amt Neuhaus und KTA Fährbetrieb Amt Neuhaus
Protokoll AG Fähre 25.05.2021

Beschlussvorschlag:

1. Der Landkreis Lüneburg strebt einen Neubau einer Elbfähre bei Bleckede/Neu Bleckede mit einem Wasserstoffantrieb an.
2. Ein/e Konstruktionsplaner/in oder ein/e Ingenieur/in wird durch ein Vergabeverfahren in Form einer Innovationspartnerschaft gesucht und beauftragt.
3. Bis zur Inbetriebnahme der neuen Fähre bleibt die „Amt Neuhaus“ weiter in Betrieb.

Sachlage:

Nach ersten Beratungen der vorgelegten "Untersuchung technischer Optionen als Vorlage zur Entscheidung über die Zukunft des Fährdienstes Bleckede-Neu Bleckede" im Mobilitätsausschuss am 10.05.2021 wurde die weitere Befassung zum Thema in die Arbeitsgruppe Verbesserung Mobilität im Amt Neuhaus verwiesen. Dort wurde am 25.05.2021 eine Empfehlung zum weiteren Vorgehen gefasst, welche dem abgestimmten Protokoll zu entnehmen ist. Darüber hinaus wird die Verwaltung in der Sitzung vortragen.

UNTERSUCHUNG TECHNISCHER OPTIONEN ALS VOR- LAGE ZUR ENTSCHEIDUNG ÜBER DIE ZUKUNFT DES FÄHRDIENSTES BLECKEDE – NEU BLECKEDE

Vorgelegt von

MARITIME BERATUNG BJÖRN PAPE

Stand: 05.05.2021

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	2
2	Anforderungen an den Fährbetrieb der kommenden Jahrzehnte.....	3
3	Planfall 0 - Betrachtung der existierenden Fähre.....	3
3.1	Beschreibung des allgemeinen technischen Zustandes.....	3
3.2	Genehmigungstechnische Einordnung.....	4
4	Planfall 1: Ertüchtigung der existierenden Fähre	4
5	Planfall 2: Fährneubau mit batterieelektrischem Antrieb.....	6
5.1	Betrachtung der Batteriespeicher	7
5.2	Aufbau einer Ladeinfrastruktur.....	9
6	Planfall 3: Fährneubau mit wasserstoffbasiertem Antrieb	9
7	Planfall 4: Fährneubau mit Erdgas/Methan als Energiequelle.....	13
8	Planfall 5: Fährneubau mit dieselelektrischem Antrieb	13
9	Planfall 6: Neubau mit dieselmechanischem Antriebssystem unter Verwendung synthetisch hergestellter Kraftstoffe	14
10	Planfall 7: Neubau mit einem Hybridantriebssystem.....	15
11	Diskussion der Planfälle unter Hochwasserbedingungen	16
12	Gegenüberstellung geschätzter Beschaffungskosten	18
13	Systematischer Vergleich der Planfälle	20
14	Zusammenfassung und Bewertung.....	23
	ANHANG	24
1	Liste Vergleichsfähren	24
2	Leistungsmessung Antriebsanlage	24

1 Einleitung

Der Landkreis Lüneburg betreibt auf der Elbe zwischen den Ortschaften Bleckede und Neu Bleckede eine Fähre zum Transport von Personen und Fahrzeugen. Ursprünglich 1939 gebaut, wurde die Fähre mehrfach umgebaut und vorsichtig modernisiert. Diversen gestiegenen Anforderungen, hierzu zählen u.a. größeres Gewicht und größere Windangriffsfläche der Ladung, anspruchsvollere navigatorische Bedingungen und ein verstärkter öffentlicher Fokus auf Umweltthemen - und hier insbesondere der Ausstoß klimaschädlicher Gase wie CO₂ - kann die Fähre in ihrer aktuellen technischen Konstellation nicht mehr gerecht werden. Die Notwendigkeit einer Anpassung der Leistungsfähigkeit des Fährdienstes unter besonderer Berücksichtigung der Reduzierung von Luftschadstoffemissionen und Treibhausgasen ist gegeben.

Bereits heute existieren auch für die Schifffahrt zahlreiche technische Optionen zur Minderung oder gänzlichen Vermeidung der Emission klimaschädlicher Gase durch Schiffsantriebssysteme. Neben den rein technischen Merkmalen gibt es vor allem hinsichtlich des technologischen Reifegrads, des Platzbedarfs, des Gewichts, der Beschaffungskosten und der Deckung durch technische Vorschriften für Schiffsinstallationen gravierende Unterschiede zwischen den verfügbaren technischen Optionen. Vor diesem Hintergrund zeichnen sich zweierlei Möglichkeiten für die Gestaltung des zukünftigen Fährbetriebs ab:

1. Die existierende Fähre wird in der Art modernisiert und ertüchtigt, dass ein den gestiegenen Anforderungen möglichst gerechter Fährbetrieb bis zu einem Zeitpunkt gewährleistet ist, an dem emissionsfreie Schiffsantriebssysteme einen Status als Stand der Technik erreicht haben und deren Integration in einen Schiffsneubau als Tagesgeschäft einer Bauwerft angesehen wird. Ein Fährneubau wird erst dann beschafft, wenn dieser Zeitpunkt erreicht ist. Für die weitere Betrachtung soll diesbezüglich von einem Zeitraum von 10 Jahren ausgegangen werden.
2. Die existierende Fähre wird durch einen Neubau ersetzt, welcher die an den Fährbetrieb der Zukunft gestellten Anforderungen bestmöglich erfüllt. Hierzu wird aus der Bandbreite technischer Optionen diejenige ausgewählt, die den bestmöglichen Kompromiss aus Integrier- und Nutzbarkeit¹, Reifegrad und Kosten bietet.

Im Folgenden sollen für beide Szenarien sowohl technische, regulatorische wie auch finanzielle Aspekte grob und auf Prinzipienebene beleuchtet werden, so dass auf Grundlage der Ergebnisse dieser Betrachtung eine Entscheidung für einen Fährneubau oder einen Umbau der existierenden Fähre getroffen werden kann. Insgesamt sollen im Rahmen des Vergleichs beider Szenarien acht Fälle untersucht werden:

1. Nullfall: die existierende Fähre wird in der vorliegenden technischen Konstellation weiter betrieben.
2. Planfall 1: die existierende Fähre wird ertüchtigt
3. Planfall 2: Neubau einer Fähre mit batterieelektrischem Antrieb
4. Planfall 3: Neubau einer Fähre mit wasserstoffbasiertem Antrieb
5. Planfall 4: Neubau einer Fähre mit Gasmotor
6. Planfall 5: Neubau einer Fähre mit dieselelektrischem Antrieb
7. Planfall 6: Betrieb einer Fähre mit auf Basis von regenerativ erzeugtem Strom hergestellter Brennstoffe

¹ Hier ist gemeint, dass ein innovatives Antriebssystem unter Berücksichtigung schiffsentwurfstechnischer Limitierungen im Schiff zu installieren sein und ein hohes Maß an Praxistauglichkeit für den täglichen Schiffsbetrieb mit sich bringen muss.

8. Planfall 7: Neubau einer Fähre mit einem Hybridantriebssystem

Die Bewertung der genannten Fälle erfolgt anhand eines Punktesystems innerhalb einer Bewertungsmatrix.

2 Anforderungen an den Fährbetrieb der kommenden Jahrzehnte

Die Anforderungen an den Fährbetrieb werden durch vielfältigen Randbedingungen bestimmt. Einige dieser Randbedingungen unterlagen zuletzt einem deutlichen Wandel, welchem die existierende Fähre in ihrem aktuellen technischen Zustand nicht Rechnung tragen konnte. Beispielhaft seien folgende geänderte Randbedingungen genannt:

- Extreme Wetterlagen sorgen für längere Niedrigwasserperioden und ausgeprägte Hochwasser mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten. Um längere Ausfallzeiten zu vermeiden, darf der Tiefgang der abgeladenen Fähre 0,6m in keinem Fall überschreiten. Gleichzeitig muss die Leistungsfähigkeit des Antriebssystems der Fähre den höheren Strömungsgeschwindigkeiten angepasst werden, was eine größere Antriebsleistung, aber auch eine effizientere Schiffspropulsion notwendig macht.
- Insbesondere landwirtschaftliche Fahrzeuge und Gespanne haben in den vergangenen Jahren deutlich an Volumen und Gewicht zugenommen. Dies hat einen erheblichen Einfluss auf den Luftwiderstand und folglich auf die Manövrierfähigkeit der beladenen Fähre. Bei hohen Windgeschwindigkeiten und seitlichen Windeinfallswinkeln wird ein sicheres Manövrieren der Fähre deutlich erschwert.
- Der öffentliche Personennahverkehr spielt bei der Dekarbonisierung der Mobilität eine zentrale Rolle. Folglich ist auch für die Fähre ein CO₂-neutrales Antriebssystem anzustreben.
- Die Emission von Luftschadstoffen wie Feinstaub, Partikel oder Stickoxide wird in der Binnenschifffahrt durch strenge EU-Regularien begrenzt. Insbesondere bei stark touristisch genutzten Fahrzeugen sollen sie nach Möglichkeit vollständig vermieden werden.
- Technische Regelwerke für den Bau und die Instandhaltung von Schiffen bewirken, dass der Schiffsbetrieb sicherer und umweltfreundlicher wird. Strengere Regeln machen Änderungen am Schiff oder die Installation zusätzlicher Systeme und Anlagen notwendig.

3 Planfall 0 - Betrachtung der existierenden Fähre

3.1 Beschreibung des allgemeinen technischen Zustandes

Die Fähre *Amt Neuhaus* befindet sich in einem guten technischen Zustand und zeigt auf Grund ihrer einfachen und zuverlässigen Technik eine hohe Verfügbarkeit. Herzstück der Fähre bilden die beiden Deutz-Dieselmotoren sowie die beiden PumpJet-Antriebe des Herstellers Schottel.



Abbildung 1: Fähre Amt Neuhaus am Anleger in Bleckede

Die Motoren werden mechanisch gesteuert und sind luftgekühlt. Eine Abgasnachbehandlung gibt es nicht. Die gesamte Technik kann entweder durch die Fährbetreiber selbst oder durch ansässige Fachbetriebe in Stand gehalten werden (Ausnahme Generalüberholung PumpJets). Die elektrische Energieversorgung des Schiffes erfolgt sowohl über Batterien als auch über von den Motoren angetriebene Lichtmaschinen. Elektrische Hauptverbraucher sind die Beleuchtung und die Navigation. Die Steuerung der Antriebskomponenten erfolgt mechanisch bzw. ölhdraulisch durch von den Antriebsmotoren angetriebene Öldruckpumpen.

Die stahlbauliche Struktur der Fähre befindet sich in einem guten Zustand. Teile des Fahrbahndecks sind bereits erneuert worden. Die Außenhaut ist größtenteils beulenfrei. Spanten, Träger, Profile der Stahlstruktur sind teilweise korrodiert und müssen ausgetauscht werden. Bodenplatten sind ebenfalls in einigen Bereichen auszutauschen². Die Konservierung des Schiffes befindet sich in einem guten Zustand.

3.2 Genehmigungstechnische Einordnung

Das Schiff besitzt eine Fahrtauglichkeitsbescheinigung von vor 2009 und genießt Besitzstandsschutz entsprechend den Vorschriften der Binnenschiffsverkehrsuntersuchungsordnung mit Stand von 1989 bzw. der Rheinschiffahrtstuntersuchungsordnung mit Stand von 1976.

Der o.g. Besitzstandsschutz bewirkt, dass die Vorschriften heutzutage auf Schiffsneubauten und auf existierende Schiffe anzuwendender Regelwerke nicht durchgreifen. Dies betrifft sowohl die Schiffssicherheit, die Schiffsemissionen oder auch die Barrierefreiheit. Vorschriftengetriebene Investitionen in das Schiff sind in den vergangenen Jahren ausgeblieben und folglich muss der technische Stand des Schiffes als deutlich veraltet angesehen werden.

Der Besitzstandsschutz wird aufgehoben, wenn Teile des Schiffes durch freiwillig ergriffene Maßnahmen verändert werden. Allerdings betrifft der Verlust des Besitzstandsschutzes in einem solchen Fall nur den Bereich, das System oder die Komponente des Schiffes, welche(r)s einer Veränderung unterzogen wird.

Nach Auskunft der ZSUK (Zentralstelle Schiffsuntersuchungskommission) in Mainz ist erst im Jahr 2049 damit zu rechnen, dass das Schiff auf Grund von dann wirksam werdenden Regeln (Nachweis der Stabilität und Prüfung gegen dann aktuelle Stabilitätsanforderungen) seine Fahrtauglichkeitsbescheinigung verliert. Bis dahin kann das Schiff unter der Voraussetzung eines gleichbleibenden technischen Zustandes betrieben werden. Als wirtschaftlich können Betrieb und Instandhaltung der Fähre in den kommenden Jahren nur betrachtet werden, wenn der Besitzstandsschutz erhalten bleibt und umfangreiche (freiwillige) Umbauten oder Nachrüstungen ausbleiben. Derartige Veränderungen machen nur dann Sinn, wenn Folgeerscheinungen durch die Anwendung technischer Regelwerke gering ausfallen und lokal begrenzt sind.

4 Planfall 1: Ertüchtigung der existierenden Fähre

Ein Abgleich des technischen Zustandes der Fähre und des regulatorischen Umfeldes mit den im vorigen Abschnitt formulierten Anforderungen macht deutlich, dass das existierende Schiff diese Anforderungen nur bedingt erfüllen kann. Denkbar sind eine Leistungssteigerung durch Neumotorisierung zusammen mit einer Änderung der Propulsionsanlage. In Anlehnung an das von der Hitzler Werft im Juni 2020 entwickelte Umbaukonzept sollen für eine entsprechende Kostenabschätzung (siehe Tabelle 2) folgende Annahmen getroffen werden:

² Quelle: Hitzler Werft GmbH *Fähre Amt Neuhaus Besichtigungsbericht_18.05.2020*

- Zur Neumotorisierung müssen die existierenden Maschinenräume erweitert oder zwei neue Räume geschaffen werden.
- Die sich durch die Raumveränderungen verändernden Stabilitätsanforderungen werden erfüllt.
- Neue oder geänderte Maschinenräume werden mit Lüftung-, Feuerlösch-, Kühlwasser-, Lenzeinrichtungen ausgestattet.
- Neue Motoren werden mit einer Abgasnachbehandlung zur Erreichung der Emissionsgrenzwerte nach EU2016/1628 Stufe V ausgestattet.

Die beschriebenen Maßnahmen bringen folgende Effekte mit sich:

1. Durch den Einbau neuer Antriebsmotoren mit einer in Summe um 56% höheren Leistung als die zurzeit verwendeten Antriebsmotoren kann die Fähre eine um ca. 16% gesteigerte Geschwindigkeit erreichen (Basis: der Leistungsbedarf verhält sich ungefähr proportional zur dritten Potenz der Schiffsgeschwindigkeit). In Abzug zu bringen ist ein ggf. erhöhter Widerstand des Schiffsrumpfes durch zusätzliche Anbauten. Kann man für den unveränderten Rumpf von einer Erhöhung der Maximalgeschwindigkeit um 1,6km/h ausgehen, so wird für den mit zusätzlichen Anbauten versehenen Rumpf eine Prognose von 1,0km/h gemacht. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass die Fähre ihre Transportleistung auch bei einer um 1,6km/h bzw. um 1,0km/h erhöhten Fließgeschwindigkeit der Elbe aufrechterhalten kann.
2. Mit Hilfe neuer Antriebsmotoren in Kombination mit Abgasnachbehandlungstechnik lässt sich die Emission von Luftschadstoffen, wie z.B. Stickoxiden, Ruß und Feinstaub von einem derzeit unregulierten Maß auf aktuelle Grenzwerte reduzieren. Nach EU2016/1628 Stufe V (NRE-v/c-6) Stufe V sind dies:

a. Kohlenmonoxid	3,5g/kWh
b. Kohlenwasserstoffe	0,19g/kWh
c. Stickoxide	0,4g/kWh
d. Feinstaub	0,015g/kWh
3. Basierend auf den technischen Daten der existierenden wie auch der in Frage kommenden neuen Motoren (z.B. SISU Diesel 49 CTIM-4V) kann eine Reduzierung des jeweils spezifischen Brennstoffverbrauchs nicht erwartet werden. Beide Motorentypen weisen einen Normverbrauch (ISO3046) zwischen 220 und 230g/kWh auf. Der absolute Brennstoffverbrauch der ertüchtigten Fähre wird auf Grund der gestiegenen Antriebsleistung je nach Profil der Leistungsabforderung höher sein als auf der existierenden Fähre. Da im Betrieb der ertüchtigten Fähre die gesteigerte Leistung nur gelegentlich abgerufen wird, soll von einem Mehrverbrauch von maximal 20% (vgl. Leistungssteigerung 56%) im Vergleich zur existierenden Fähre ausgegangen werden. Im selben Maß steigen die Kohlenstoffdioxidemissionen.
4. Durch die Ertüchtigung und die mit ihr einhergehende Installation von neuen maschinenbaulichen Komponenten und Systemen erfährt die Fähre eine Steigerung ihres Materialwertes. Diese Wertsteigerung liegt in der Größenordnung der Kosten für die installierten Komponenten, also ca. 360.000€. Kosten für Konstruktions- und Bauleistungen fließen in die Materialwertsteigerung nicht ein. Grund hierfür ist, dass der Materialwert der Fähre lediglich das Erlöspotenzial im Falle der Verwertung (Rückbau der Fähre und Veräußerung noch zu gebrauchender Komponenten) der Fähre aufzeigt und deshalb sind Leistungen, die zur Herstellung des Zustandes der Fähre erbracht wurden, nicht relevant.
5. Fähren dienen einem individuellen Einsatzzweck. D.h., sie werden sowohl für die zu erwartende Ladung als auch für die an ihrem Einsatzort relevanten Umgebungsbedingungen spezifisch konstruiert und gebaut. Eine signifikante Steigerung des Verkehrs- oder Marktwertes der Fähre durch die Ertüchtigung ist deshalb nicht zu erwarten, da ein sinnvoller Einsatz der Fähre an anderer Stelle auch nach Ertüchtigung unwahrscheinlich ist. Diese Einschätzung wird nach

mündlicher Konsultation auch durch das in Hamburg ansässige und u.a. auf die Wertermittlung von Schiffen spezialisierte *Ingenieurbüro Weselmann* bestätigt.

Sowohl technische als auch terminliche Risiken im Zusammenhang mit den aufgezeigten Maßnahmen werden als gering angesehen, da regulatorische Folgeerscheinungen bereits in der Projektierungsphase mit den zuständigen Stellen abgeklärt und einkalkuliert werden können. Die Maßnahmen können als Werft-Tagesgeschäft angesehen werden. Nicht unerwähnt darf der Umstand bleiben, dass die genannte Summe ein Vielfaches des aktuellen Schiffswerts (Materialwert und Marktwert) darstellt.

Grundsätzlich fördert das BMVI im Rahmen der Richtlinie zur Förderung der nachhaltigen Modernisierung von Binnenschiffen die Installation von Technologien, die die Emission von CO₂, Luftschadstoffen oder Luftschall reduzieren. Zuwendungsberechtigt sind nach Förderrichtlinie aber nur Unternehmen in Privatrechtsform, so dass der Landkreis als Eigentümer der Fähre nicht empfangsberechtigt ist.

5 Planfall 2: Fährneubau mit batterieelektrischem Antrieb

Batterien spielen in Mobilitätsanwendungen eine zunehmend gewichtige Rolle. Sofern sie durch regenerativ erzeugten Strom geladen werden, ermöglichen sie einen klimaneutralen und vollständig emissionsfreien Schiffsbetrieb. Es gibt heutzutage zahlreiche Anbieter von Batteriesystemen, die grundsätzlich für die Verwendung auf See- und Binnenschiffen geeignet und zugelassen sind. Typischerweise sind diese Systeme modular aufgebaut und erlauben somit eine eng an den Energiebedarf der Verbraucher angepasste Auslegung.



Abbildung 2: Batterierack des Herstellers Becker Marine Systems

Problematisch ist der Umstand, dass Batterien ein hohes Eigengewicht haben und einen auf die speicherbare Energie normiert sehr schweren Energiespeicher³ darstellen. Für die Untersuchung der Eignung von Batterien als Energiespeicher ist es daher wichtig, den tatsächlichen Energiebedarf der Fähre zu ermitteln, um somit eine genaue Dimensionierung der Kapazität der Batterien vornehmen zu können. Hierzu wurden Leistungsmessungen am Antriebssystem der existierenden Fähre durchgeführt. Anhand der Messergebnisse konnte errechnet werden, welche Energie während eines Dienstes an die Schiffsantriebe geleitet wird, woraus sich wiederum Rückschlüsse auf die Auslegung der Batteriespeicher ableiten lassen.

Aus den Messungen ergibt sich, dass der Energiebedarf der Schiffsantriebe auf der *Amt Neuhaus* am Messtag (18h-Dienst) ca. 457kWh beträgt (Details zu den Messergebnissen befinden sich im Anhang). Hierbei wird auch eine Grundlast für den Schiffsbetrieb (Steuerung, Beleuchtung, Navigation, Kommunikation) in Höhe von 2kW berücksichtigt. Zur Bestimmung der Größe eines Energiespeichers für einen Fährneubau sind darüber hinaus folgende Faktoren in die Betrachtung einzubeziehen.

³ Vgl. Batterien ca. 8kg/kWh und Dieselkraftstoff 0,08kg/kWh

1. Wirkungsgrad der Energiekette: er beträgt nach Abbildung 3 unter den dort getroffenen Annahmen 87%

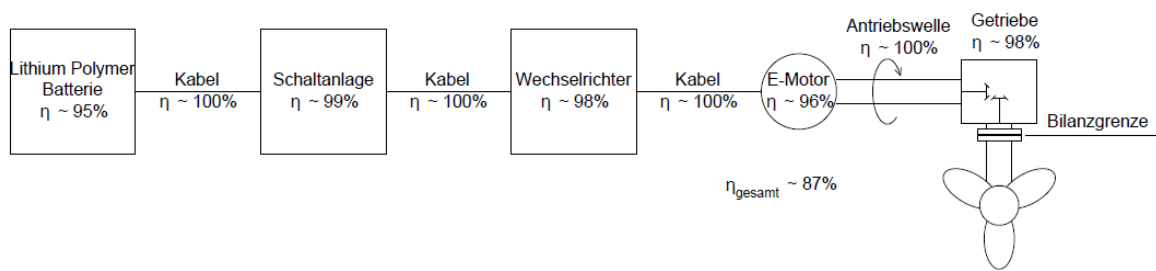


Abbildung 3: Wirkungsgrad der Energiewandlung in einem batterieelektrischen Antriebssystem

2. Depth of Discharge (DoD): die Lebensdauer einer Batterie bzw. ihre Fähigkeit, über eine große Zyklenzahl hinweg einen konstanten Energiebetrag zu speichern, hängt erheblich davon ab, wie tief die Batterie regelmäßig entladen wird. Üblicherweise wird ein DoD von 70% für die Auslegung von Batterien angenommen.
3. Auf dem neuen Schiff installierte Leistung: um dem Bedarf an gesteigerter Transportleistung gerecht zu werden, wird eine neue Fähre größere Hauptabmessungen als die existierende aufweisen. Dem folgend ist auch eine größere Antriebsleistung vorzusehen. Da eine genaue Bestimmung der Antriebsleistung die Festlegung der Schiffshauptabmessungen und darüber hinaus umfangreiche Berechnungen notwendig macht, welche nicht Gegenstand der vorliegenden Ausarbeitung sein sollen, wird auf die installierte Leistung von Vergleichsschiffen (siehe Anhang Tabelle 8) verwiesen. Hieraus wird gefolgert, dass der Leistungsbedarf eines Fähreneubaus in der Spitze ca. 80% über dem der Amt Neuhaus liegt.
4. Lastprofil: der Fährbetrieb ist durch unterschiedliche Betriebsarten gekennzeichnet. Liegezeit, Beschleunigung, stationärer Schiffsbetrieb und Verzögerung wechseln sich regelmäßig ab. Die für die jeweiligen Phasen individuellen Leistungsbedarfe sind bei der Batterieauslegung zu berücksichtigen. Maßgeblich für die Batterieauslegung müssen dabei ungünstige Wetterbedingungen sein, wie sie z.B. durch Starkwind entstehen. Da die Umgebungseinflüsse am Messtag sehr moderat waren und folglich geringe Leistungsbedarfe gemessen wurden, wird für die Auslegung gegen ungünstige Umgebungsbedingungen ein Zuschlag von 60% angesetzt.

Der Batteriespeicher einer neuen Fähre wäre somit folgendermaßen auszulegen:

$$E = 457kWh \times \frac{1}{0,87} \times \frac{1}{0,7} \times 1,8 \times 1,6 = 2161kWh$$

Formel 1

5.1 Betrachtung der Batteriespeicher

Der Hersteller *EST Floattech* spezifiziert für seine Batteriemodule vom Typ *Green Orca* ein Gewicht von 82kg pro Stück. Die Module können 10,5kWh (52V) elektrischer Energie speichern. Ausgehend von einem Szenario, in dem die Fähre einen vollständigen 18h-Dienst mit einer einzigen Batterieladung bestreitet, müssten folglich 206 Module mit einem Gesamtgewicht von ca. 16,9t zuzüglich Steuerung auf der Fähre installiert werden. Dieses Gewicht entspricht ca. zwei Drittel der Nutzlast der Amt Neuhaus und auch ohne Vorliegen einer detaillierten Gewichtsrechnung für das die neue Fähre muss ein derartiger Ansatz als nicht realisierbar angesehen werden.

In einem alternativen Szenario soll davon ausgegangen werden, dass nur ca. ein Drittel der für einen Tagesdienst unter widrigen Umweltbedingungen notwendigen Energiemenge an Bord der Fähre gespeichert wird. Die Batterien müssten demnach zweimal pro Dienst aufgeladen werden. Plant man für die Ladevorgänge einen Zeitraum von jeweils einer Stunde ein (in dieser Zeit kein Fährbetrieb!), betrüge die benötigte elektrische Leistung

$$\frac{2161kWh}{3} \times \frac{1}{1h} = 720,3kW$$

Formel 2

Nach mündlicher Auskunft des zuständigen Energieversorgers *Energieversorgung Dahlenburg-Bleckede AG* können zum Laden der Fähre unter Nutzung der vorhandenen technischen Infrastruktur (Trafos) und unter der Voraussetzung, dass ein neues Kabel von der nächstgelegenen Trafostation zum Fähranleger verlegt wird, maximal 150kW elektrische Leistung auf Niederspannungsniveau zur Verfügung gestellt werden. Größere elektrische Leistungen müsste auf Mittelspannungsniveau übertragen werden, was den Bau einer neuen Trafostation notwendig macht.

Denkbar ist auch das Laden der Batterien während der jeweiligen Liegezeiten der Fähre mit Hilfe eines automatisierten Ladesystems (z.B. FerryCHARGER, Fa. Stemmann).



Abbildung 4: automatisiertes Laden einer Fähre mit dem System FerryCHARGER des Herstellers Stemmann (Quelle: Produktbroschüre FerryCHARGER Stemmann-Technik)

Verlängert man die Liegezeit der Fähre pauschal auf 4 Minuten auf beiden Seiten, so könnten bei einer Einspeiseleistung von 150kW 10kWh Energie übertragen werden, was in etwa dem Energiebedarf einer Reise bei ungünstigen Umweltbedingungen entspricht. Die Größe der Batteriespeicher für eine derartige Ladestrategie kann vergleichsweise klein gewählt werden, da lediglich der Energiebedarf pro Überfahrt plus eine Reserve gespeichert werden muss. Ein Batteriespeicher mit einer Kapazität von 100kWh wäre hierfür ausreichend bemessen. Soll Ladeinfrastruktur nur an einem der beiden Anlegen installiert werden, wäre ein asymmetrischer Betrieb mit verlängerter Liegezeit (ca. 8 Minuten) am Ladesystem notwendig.

Das Pantographensystem lädt die Batterien über feste Kontakte. Bei Bestätigung einer festen Schiffsposition verfährt das System innerhalb weniger Sekunden an die schiffsseitig vorhandenen Kontakte und schaltet dann den Ladestrom ein. Eventuelle Schiffsbewegungen während des Ladevorgangs werden bis zu einem gewissen Grad System toleriert. Entscheidend für die Funktion dieses Systems ist, dass Schiff und Pantograph durch den Anleger direkt oder indirekt formschlüssig miteinander verbunden sind und dass der Pantograph jegliche Verlagerung der Schiffs-liegeposition mitmacht.

5.2 Aufbau einer Ladeinfrastruktur

Nach mündlicher Auskunft der *Energieversorgung Dahlenburg-Bleckede AG* ist auf Basis der vorhandenen Niederspannungstrafo-Kapazitäten eine Versorgung des Fährbetriebs mit einer Leistung von ca. 150kW möglich. Hierzu wäre ein Niederspannungskabel mit einer Gesamtlänge von ca. 900m von einer Trafostation in der Nähe des Bleckeder Schützenplatzes bis zum Fähranleger zu installieren. Die zu erwartenden Kosten betragen je nach Trassenführung 60.000 bis 80.000 Euro. Höhere Ladeleistungen können nach Aussage des Energieversorgers nur auf Mittelspannungsniveau übertragen werden, was die Neuinstallation einer entsprechenden Trafoanlage notwendig macht. Die Kosten hierfür werden inklusive Kabelinstallation mit 150.000 bis 200.000€ abgeschätzt.

6 Planfall 3: Fährneubau mit wasserstoffbasiertem Antrieb

Wasserstoff gilt als zukunftssträchtiger Energieträger. Gründe hierfür sind seine hohe Energiedichte und der Umstand, dass Wasserstoff mit Sauerstoff zu Wasser reagiert, bei seiner Verbrennung also keine klimaschädlichen Gase entstehen. Er kann mittels Elektrolyse aus Wasser hergestellt werden und steht folglich in unbegrenztem Maße zur Verfügung. Zusammen mit Sauerstoff bildet er hochexplosive Gasgemische, was zusammen mit dem Umstand, dass seine Speicherung technisch anspruchsvoll ist, bisher seine Verbreitung als Energieträger in Mobilitätsanwendungen verhindert hat. Die im Wasserstoff gebundene Energie kann entweder in Verbrennungsmotoren in mechanische Leistung oder mit Hilfe von Brennstoffzellen in elektrische Leistung umgewandelt werden.

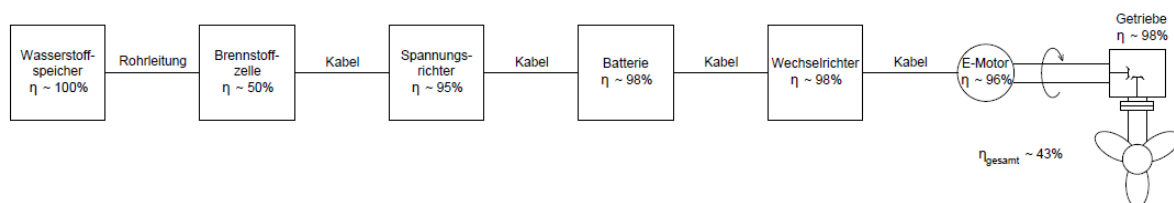


Abbildung 5: Wirkungsgrad der Energiewandlung in einem Wasserstoffbrennstoffzellen basiertem Antriebssystem

Ausgehend von den in Abschnitt 3 ermittelten Energiebedarfen und dem in Abbildung 5 aufgezeigten Wirkungsgrad der Energiewandlung kann der tägliche durch Wasserstoff zu deckende Energiebedarf wie folgt abgeschätzt werden.

$$457kWh \times 1,6 \times 1,8 \times \frac{1}{0,43} = 3060kWh$$

Formel 3

Die Kosten für eine wasserstoffbetriebene Fähre werden in Tabelle 2 abgeschätzt. Es wird davon ausgegangen, dass der spezifische Preis für Brennstoffzellen in maritimen Anwendungen bei 850€/kW liegt. Im Weiteren gelten die Annahmen, die auch zur Prognose der Kosten für die batterieelektrisch angetriebene Fähre getroffen wurden. Die im Vergleich zur batterieelektrisch angetriebenen Fähre geschätzten Mehrkosten werden nur bedingt durch höhere Kosten für Systeme und Komponenten, sondern vielmehr durch den zu erwartenden erheblichen Mehraufwand in Entwurf, Konstruktion und Produktion verursacht.

Der Einsatz von Wasserstoff als Energieträger auf Schiffen hat zum jetzigen Zeitpunkt Forschungs- und Entwicklungscharakter. Weder gibt es auf Schiffswerften einschlägige Erfahrung, noch haben Organisationen zur technischen Überwachung von Schiffsneubauten (z.B. Klassifikationsgesellschaften) entsprechende Regelwerke in ihrem Repertoire. Konstruktion und Bau von mit Wasserstoff in Verbindung stehenden Baugruppen des Schiffes wären genehmigungstechnisch Einzelfallprüfungen zu

unterziehen, was ein erhebliches Termin- und Kostenrisiko für den gesamten Konstruktions- und Bauprozess mit sich bringt.

Wasserstoff kann aus einer Vielzahl von Ausgangsstoffen hergestellt werden. Beispielhaft seien die Reformation von Kohlenwasserstoffen oder die Elektrolyse von Wasser genannt. Bei diversen Verfahren wird CO₂ freigesetzt, so dass diese Verfahren nicht in Betracht gezogen werden können, wenn der Anspruch der CO₂-Neutralität nicht nur für den Fährbetrieb an sich gilt, sondern auch auf die Lieferkette der notwendigen Energie ausgeweitet wird. Somit kommt für den Betrieb der Fähre nur sogenannter grüner Wasserstoff, also mit Hilfe regenerativer Energie hergestellter und auf Wasserspaltung basierender Wasserstoff in Betracht. Einen Markt für grünen Wasserstoff gibt es derzeit weder in Deutschland noch in Europa⁴. Eine wasserstoffbetriebene Fähre kann daher zum jetzigen Zeitpunkt nicht im oben genannten Sinne CO₂-neutral betrieben werden. Für den Einsatz einer derartigen Technologie im Rahmen eines Schiffsneubauprojektes wird demnach vorausgesetzt, dass grüner Wasserstoff erst mittelfristig in industriellem Maßstab hergestellt und am Schiff bereitgestellt werden kann. Unter dieser Voraussetzung ist ein Modell denkbar, in dem der Fährbetrieb zunächst mit konventionell hergestelltem Wasserstoff⁵ aufgenommen und je nach Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff allmählich umgestellt wird. In diesem Fall wäre die Fähre technisch von Anfang an für klimaneutralen Betrieb ausgestattet, würde tatsächliche Klimaneutralität aber erst mit Nutzung von grünem Wasserstoff erreichen.

Wasserstoff als Energieträger stellt ein wichtiges Element der Strategie für eine klimaneutrale Mobilität dar. Um sowohl für Unternehmen als auch öffentliche Einrichtungen Anreize für Investitionen in wasserstoffbasierte Mobilität zu liefern, haben EU, Bund und Länder unterschiedliche Förderprogramme aufgesetzt, welche in Tabelle 1 zusammengetragen werden. Konkret werden hier zwei existierende Förderprogramme sowie ein Interessenbekundungsverfahren für Fördermittel genannt. Allen gemein ist, dass sie die Konstruktion und den Bau einer wasserstoffbetriebenen Fähre als förderungswürdiges Projekt einstufen. Andere Fördertöpfe mit Wasserstoffbezug richten sich entweder an reine Forschungsvorhaben, beabsichtigen Investitionsvorhaben zu unterstützen, welche durch die Coronapandemie ausgebremst wurden oder betrachten nur Teilaspekte der Binnenschifffahrt wie die Bordstromversorgung, nicht aber die Beschaffung eines vollständigen Schiffneubaus. Von der KfW-Bank im Rahmen des KfW-Umweltprogramms angebotene Kredite zur Finanzierung von Umweltschutzmaßnahmen richten sich ausschließlich an deutsche Unternehmen und nicht an öffentliche Auftraggeber.

Als vielversprechendstes Instrument muss das *Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie Phase II (NIP) – Maßnahmen der Forschung, Entwicklung und Innovation – Schwerpunkt Nachhaltige Mobilität* angesehen werden, durch welches maximal 40% der förderungsfähigen Kosten in Form eines Zuschusses gedeckt werden. Hierzu zählen zum einen, die Kosten für wasserstoffspezifische Systeme und Komponenten, zum anderen aber auch Konstruktions- und Fertigungsaufwand, der durch die Verwendung von Wasserstoff als Energiequelle entsteht. Es wird davon ausgegangen, dass die in Tabelle 2 für die Positionen *Maschinenbauliche Systeme, Brennstoffzellen, Schalt- und Fähranlagen* kalkulierten Kosten als förderungsfähig angesehen werden. Zusätzlich ein Volumen von ca. 500.000€ für Konstruktion und Produktion, wodurch sich ein Fördervolumen von

⁴ Quelle: Bekanntmachung des Interessenbekundungsverfahrens zur geplanten Förderung im Bereich Wasserstofftechnologien und -systeme vom 11. Januar 2021, herausgegeben vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

⁵ Grauer Wasserstoff: durch thermische Aufspaltung von fossilen Kohlenwasserstoffen unter Freisetzung von CO₂ hergestellter Wasserstoff.

Blauer Wasserstoff: wie grauer Wasserstoff, allerdings wird das bei der Herstellung entstehende CO₂ mit Hilfe von CCS-Verfahren gespeichert

$$40\% \times (600.000\text{€} + 260.100\text{€} + 480.000\text{€} + 640000\text{€}) = 792.040\text{€}$$

ergibt.

Das Land Niedersachsen stellt für die Anschaffung von brennstoffzellenbetriebenen kommunalen Spezialfahrzeugen Fördermittel zur Verfügung. Allerdings erklärt die für das Programm verantwortliche NBank, dass hier nur Straßenfahrzeuge adressiert werden und Fähren nicht zur Gruppe der Spezialfahrzeuge zählen. Folglich kann dieses Förderinstrument nicht für den Bau einer Fähre angewendet werden.

Nach mündlicher Aussage der NBank ist darüber hinaus eine Förderung auf Grundlage der Wasserstoffrichtlinie des Landes Niedersachsen denkbar. Ebenfalls nach mündlicher Aussage würden ca. 40% der förderfähigen Kosten, also des Anteils der Schiffsneubaukosten, die den Unterschied zwischen einer konventionell angetriebenen Fähre und einer wasserstoffbetriebenen Fähre ausmachen, vom Land Niedersachsen bezuschusst werden.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) plant in Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) sowie dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit sowie den Bundesländern die Förderung von Vorhaben im Bereich Wasserstofftechnologie, sofern diese Projekte einen Charakter als europäisch wichtige Projekte besitzen. Fördervolumina in Höhe von 100% der Gesamtprojektkosten werden in Aussicht gestellt. Antragsteller waren allerdings bis zum 19.02.2021 aufgefordert, entsprechende Projekte anhand einer Projektskizze dem BMWi zu präsentieren. Es ist also wahrscheinlich, dass mit einer Förderung durch dieses Instrument nicht gerechnet werden kann.

Name des Förderprogramms	Gegenstand der Förderung	Zuwendungsempfänger	Art und Höhe der Zuwendung	Abwicklung der Fördermaßnahme durch	Kommentar
Förderrichtlinie für Maßnahmen der Marktaktivierung im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie Phase 2 (Marktaktivierung)	Investitionen für Fahrzeuge (Straße, Schiene, Wasser) mit einem Brennstoffzellenantrieb sowie ggf. Investitionen in die für den Betrieb der Fahrzeuge notwendige Betankungsinfrastruktur	juristische Personen des öffentlichen und des Privatrechts	Nicht rückzahlbarer Zuschuss. Maximal 40% des Mehraufwandes, der durch den Einsatz förderfähiger Technologie entsteht.	Projektträger Jülich	
Anschaffung brennstoffzellenbetriebener kommunaler Spezialfahrzeuge	Gesamtausgaben der Beschaffung von brennstoffzellen-elektrisch angetriebenen Spezialfahrzeugen	Niedersächsische Kommunen und deren Unternehmen	Nicht rückzahlbarer Zuschuss. Maximal 50% der Beschaffungskosten oder 350,000€ je Fahrzeug	Investitions- und Förderbank Niedersachsen (NBank)	Anwendbarkeit auf Schiffe nicht gegeben
Interessenbekundungsverfahren: Förderung Wasserstoff-IPCEI (Important Projects of Common European Interest)	Entwicklung und Herstellung leichter und schwerer LKW/Nutzfahrzeuge, Busse, Fracht- und Personenzüge, PKW in Flottenanwendungen, Luft- und Schifffahrt mit Antrieb auf Wasserstoffbasis	In der Bekanntmachung des Interessenbekundungsverfahrens nicht beschrieben. Wahrscheinlich juristische Personen des öffentlichen und des Privatrechts	Nach IPCEI-Mitteilung bis zu 100% der förderfähigen Kosten	In der Bekanntmachung des Interessenbekundungsverfahrens nicht beschrieben	Interessenbekundungsverfahren endete am 19.02.2021
Wasserstoffrichtlinie des Landes Niedersachsen	Pilot- und Demonstrationsvorhaben der Wasserstoffwirtschaft. Innovationsprojekte mit Modellcharakter	Landkreis Lüneburg	Nicht rückzahlbarer Zuschuss. Maximal 40% des Mehraufwandes, der durch den Einsatz förderfähiger Technologie entsteht	Investitions- und Förderbank Niedersachsen (NBank)	Nach mündlicher Auskunft und mit Blick auf die Wasserstoffrichtlinie des Landes Niedersachsen, hält die NBank eine Förderung des Fährneubaus mit wasserstoffbasiertem Antrieb für möglich

Tabelle 1: Auflistung möglicher Förderprogramme für Konstruktion und Bau einer wasserstoffbetriebenen Fähre

7 Planfall 4: Fährneubau mit Erdgas/Methan als Energiequelle

Gasmotoren finden seit vielen Jahren in Landanwendungen als Antriebe für Fahrzeuge und Generatoren Verwendung. Als Energiequelle kommen hierbei vornehmlich LPG (Liquified Petroleum Gas) oder komprimiertes Erdgas (CNG – Compressed Natural Gas) zum Einsatz. Auch in der Schifffahrt hat die Verwendung von Erdgas als Energiequelle (LNG – Liquefied Natural Gas) eine lange Tradition, hier allerdings eher zur Erzeugung von überhitztem Wasserdampf und dessen weiterer Nutzung in Dampfturbinen. In den vergangenen 10 Jahren hat darüber hinaus die Nutzung von Erdgas in Verbrennungsmotoren stark zugenommen. Als Grund hierfür sind vor allem durch internationales und nationales Recht vorgegebene strengere Regeln in Bezug auf die Emission von Treibhausgasen und Luftschadstoffen zu nennen, welche durch die Nutzung von Erdgas im Vergleich zu erdölbasierten Schiffsbrennstoffen deutlich reduziert werden kann.

Bei der Verbrennung von Erdgas, welches zu großen Teilen aus Methan besteht, entsteht stöchiometriebedingt ca. 20% weniger CO₂ als bei der Verbrennung von konventionellem Dieseldieselfkraftstoff, wodurch Erdgas als Energiequelle für Verbrennungsmotoren zunächst klimafreundlicher als Dieseldieselfkraftstoff erscheint. Allerdings erfolgt die Wandlung der mit dem Gas zugeführten Energie im Ottoprozess mit einem im Vergleich zum Dieselpzess mindestens 15% schlechteren Wirkungsgrad. Darüber hinaus kommt es bei Viertaktmotoren im Ottoprozess zum Phänomen des sogenannten Methanslips, welcher die prozessbedingte Freisetzung von unverbranntem Methan (~2%) über die Auslassventile und den Abgaskanal beschreibt. Da die Wirkung des Methans als Treibhausgas ca. 25-fach stärker⁶ als die des Kohlenstoffdioxids ist, muss der klimaschonende Effekt des Erdgases in Frage gestellt werden. Zwar ist der Wirkungsgrad-Nachteil durch die Verwendung von Biomethan zu kompensieren, doch die Herkunft des Methans ist mit Blick auf den Methan-Slip irrelevant, und folglich führt die Verwendung von Biomethan in einem Viertakt-Verbrennungsmotor nicht zu Klimaneutralität. Abhilfe können Methankatalysatoren leisten, die in Landanwendungen bereits verwendet werden, für Schiffsanwendungen jedoch bislang keine Marktreife erreicht haben.

Zieht man die Verwendung von Methan lediglich als Übergangslösung mit der Perspektive einer späteren Nutzung von Wasserstoff als Energiequelle in Betracht, so ist festzustellen, dass die Nutzung beider Gase mit den gleichen technischen Systemen nicht möglich ist. Eine Umstellung von Methan auf Wasserstoff zieht sowohl aus technischen als auch regulatorischen Gründen umfangreiche Veränderungen am gesamten Schiff nach sich. Aus gleichen Gründen ist auch eine schrittweise, der aktuellen Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff angepassten Umstellung nicht sinnvoll.

8 Planfall 5: Fährneubau mit dieselelektrischem Antrieb

Dieselelektrische Antriebsanlagen kommen immer dann zum Einsatz, wenn der Bedarf an elektrischer Leistung für das Bordnetz in ähnlicher Größenordnung liegt wie der Bedarf der Antriebsanlage (z.B. Kreuzfahrtschiff). Darüber hinaus machen derartige Antriebssysteme Sinn, wenn der Ort der Leistungserzeugung weit entfernt vom Ort des Leistungsverbrauchs (z.B. Propeller) liegt und lange Wellenleitungen zur Übertragung der Leistung installiert werden müssten. Beide Umstände treffen auf die Fähre nicht zu.

Als nachteilig wirkt sich der durch die erhöhte Anzahl von Energiewandlungen schlechtere Gesamtwirkungsgrad aus, welcher um ca. 10% unter dem einer dieselmehchanischen Antriebsanlage liegt.

Heutzutage werden dieselelektrische Antriebssysteme auch in Kombination mit Gleichspannungsanlagen gebaut. Hieraus ergibt sich die Möglichkeit, die Generatorsätze auch unterhalb ihrer

⁶ Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/die-treibhausgase>

Nenn Drehzahl zu betreiben, was insbesondere im Teillastbetrieb Effizienzverbesserungen bewirkt. Die grundsätzlichen Effizienznachteile eines dieselelektrischen Antriebssystems lassen sich hierdurch jedoch nicht kompensieren.

9 Planfall 6: Neubau mit dieselmechanischem Antriebssystem unter Verwendung synthetisch hergestellter Kraftstoffe

Flüssige oder gasförmige Energieträger können auch aus molekularem Wasserstoff und Kohlenstoff synthetisiert werden. Im einem sogenannten Power-to-Liquid-Prozess (PtL) wird regenerativ erzeugter, überschüssiger Strom genutzt, um zunächst in einem Elektrolyseverfahren Wasserstoff zu erzeugen und diesen anschließend mit Kohlenstoff in einem Syntheseverfahren zu flüssigen oder gasförmigen Energieträgern weiterzuverarbeiten.

Durch die Nutzung von mit Hilfe regenerativ erzeugter Energie synthetisch hergestellter Kraftstoffe (flüssig oder gasförmig) lässt sich ein CO₂-neutraler Schiffsbetrieb darstellen. Konstruktion und Bau eines entsprechenden Schiffes erfolgen auf Grundlage existierender technischer Regelwerke und unter Verwendung marktverfügbarer Technik. Durch die Verwendung synthetisch hergestellter Kraftstoffe ergeben sich keine signifikanten Mehrkosten im Vergleich zu einer konventionellen, dieselmechanisch angetriebenen Fähre. Der Ausstoß von Luftschadstoffen, die auch bei der Verbrennung von synthetischen Kraftstoffen entstehen, kann durch Abgasaufbereitungsanlagen stark reduziert werden.

Als nachteilig an der beschriebenen Methode ist anzusehen, dass der Gesamtwirkungsgrad der Bereitstellung der im Brennstoff gebundenen Energie weniger als 60%⁷ beträgt. Dies hat zur Folge, dass die mit Hilfe des PtL-Verfahrens bereitgestellte Energie nicht konkurrenzfähig angeboten werden⁸ kann und dass PtL-Verfahren erst dann energiepolitisch relevant werden, wenn die Herstellungsprozesse effizienter und die Auslastung der PtL-Anlagen durch ein höheres Angebot an Überschussstrom deutlich steigt.

Eine gesonderte Rolle unter den synthetisierten Brennstoffen nimmt Ammoniak ein. Er wird aus Wasserstoff und aus der Luft gewonnenem Stickstoff meist im Haber-Bosch-Verfahren hergestellt. Demnach enthält er keinen Kohlenstoff, was ihn unter der Bildung von Wasser und Stickstoff klimaneutral verbrennen lässt. Bei Raumtemperatur (20°C) liegt sein Dampfdruck bei ca. 8,6bar, so dass er in Druckbehältern flüssig gelagert werden kann. Ammoniak ist jedoch toxisch und wirkt schädigend auf die Atemwege. Stärkere Intoxikationen können tödlich verlaufen. Unter anderem aus diesem Grund wurde Ammoniak als Kältemittel in den vergangenen Jahrzehnten fast vollständig aus der Berufsschiffahrt verbannt.

Aufgrund diverser Vorteile (grenzenlos skalierbare Produktion, Existenz technisch ausgereifter und effizienter Produktionsanlagen → geringer Preis, leichte Speicherung und Transport) kommt Ammoniak bei der Dekarbonisierung der Schifffahrt neuerdings eine Schlüsselrolle zu und diverse maritime Technologiekonsortien haben sich gebildet, um sowohl geeignete Motoren als auch zugehörige Hilfssysteme für eine sichere Nutzung von Ammoniak an Bord von Schiffen zu entwickeln. Zum jetzigen Stand haben weder Motoren noch Hilfssysteme Marktreife erreicht, allerdings können maritime Industrie

⁷ Quelle: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9096_Fachbrochuere_Systemloesung_Power_to_Gas.pdf. Die DENA geht für die Elektrolyse von einem Wirkungsgrad von 80% aus und für den Prozess der Methanisierung von ebenfalls 80%. Für Verluste durch Transporte sowie Be- und Entladung sind weitere 5% in Abzug zu bringen.

⁸ In einer Studie aus dem Jahr 2016 geht die Deutsche Energie Agentur davon aus, dass strombasiertes Gas mit Gestehungskosten von 0,41€/kWh ca. das 20-fache von fossilem Erdgas kostet, welches zu Preisen von (seinerzeit) 0,02€/kWh gehandelt wird

und Prüfinstanzen (Hersteller, Klassifikationsgesellschaften, technische Behörden) auf weitreichende Erfahrungen aus der Einführung von flüssigem Erdgas als Schiffsbrennstoff zurückgreifen, was eine zügige Markteinführung ammoniakbasierter Antriebssysteme erwarten lässt.

Ammoniak kann darüber hinaus in Brennstoffzellen zur Erzeugung elektrischer Leistung verwendet werden. Hierzu muss der Ammoniak zunächst in seine Bestandteile Wasserstoff und Stickstoff aufgespalten werden, bevor die Spaltprodukte in die eigentliche Brennstoffzelle geleitet werden. Mit Hilfe eines nachgeschalteten Katalysators entstehen als Reaktionsprodukte Wasser und Stickstoff. Mit der Inbetriebnahme erster maritimer Versuchsträger ist innerhalb der kommenden zwei Jahre zu rechnen⁹.

10 Planfall 7: Neubau mit einem Hybridantriebssystem

Als Hybridsystem soll eine Antriebsanlage bezeichnet werden, die sowohl batterieelektrisch als auch diesel- oder gaselektrisch betrieben werden kann. Dabei ist das batterieelektrische Antriebssystem als prioritär zu betrachten, wohingegen das dieelektische Antriebssystem immer dann zum Einsatz kommt, wenn die Ladung der Batterien einen so geringen Stand erreicht, dass ein batterieelektrischer Betrieb der Fähre nicht mehr möglich ist. Die Batterien werden ausschließlich mit Landstrom geladen. Hierdurch lassen sich folgende Vorteile generieren:

- Die Notwendigkeit einer Mindestbatteriekapazität, mit deren Hilfe die Fähre einen vollständigen 18-Stunden-Dienst absolvieren kann, entfällt. Folglich ist das Gewicht der Batterien im Schiffsentwurf nicht mehr der bestimmende Parameter, und es entstehen Freiheitsgrade, die den Schiffsentwurf positiv beeinflussen (z.B. Rumpfform).
- Der batterieelektrische Teil des Antriebssystems muss nicht für den maximalen Leistungsbedarf der Fähre ausgelegt werden. Im Bedarfsfall kann Leistung vom diesel-/gaselektrischen Teil zuge speist werden. Auf diese Weise kann ein Großteil des Fährbetriebs batterieelektrisch dargestellt werden, obwohl die Kapazität der Batterien kleiner als bei der rein-batterieelektrischen Variante ausfällt.
- Da frei gewählt werden kann, wann welche Betriebsart anliegt, können diejenigen Perioden, in denen die Fähre vollkommen emissionsfrei fährt, zeitlich bestimmt werden.
- Ein CO₂-neutraler Fährbetrieb im Diesel-/Gasmodus kann über die Verwendung entsprechender Kraftstoffe (PtL/PtG-Kraftstoffe) hergestellt werden. Die im Vergleich erhöhten Preise für derartige Kraftstoffe fallen dabei weniger stark ins Gewicht, da der Gesamtbedarf dem Fahrprofil entsprechend geringer ist als bei der rein PtL/PtG-basierten diesel-/gasmekanischen Antriebsvariante.
- Ein Kombination mit dem in Abschnitt 5.1 erwähnten Schnelladesystem ist denkbar, wodurch eine Ausweitung des batteriegestützten Betriebs erreicht wird

Als nachteilig sind folgende Aspekte zu beurteilen

- Sowohl Konstruktions- als auch Fertigungsaufwand erhöhen sich deutlich
- Mit einem erhöhten Platzbedarf der gesamten Antriebsanlage ist zu rechnen
- Je nach Auslegung der Batteriespeicher liegt der Preis einer Hybridanlage über dem einer rein-batterieelektrischen Antriebsanlage

⁹ <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2021/maerz-2021/weltweit-erste-hochtemperatur-Brennstoffzelle-mit-ammoniak-fuer-schiffe.html>

11 Diskussion der Planfälle unter Hochwasserbedingungen

Führt die Elbe Hochwasser mit einem Pegelstand in Bleckede von mehr als 8,65m, können die beiden Anleger direkt am Strom nicht mehr genutzt werden. In diesem Fall verkehrt die Fähre zwischen weiter vom Strom weggelegenen Hochwasseranlegern, wie Abbildung 6 zeigt.



Abbildung 6: Lage der Anleger (Quelle Bildmaterial: Google Maps)

Durch Nutzung der Hochwasseranleger verlängert sich die durchschnittliche Überfahrtszeit von ca. 4 Minuten im Normalbetrieb auf dann ca. 20 Minuten. Hierdurch verlängert sich die Tagesnettofahrtzeit der Fähre um ca. 50%, wodurch der Tagesenergiebedarf der Fähre in gleichem Maße steigt.

Es kann davon ausgegangen werden, dass sämtliche Antriebskonzepte, deren Energiebevorratung auf der Speicherung von flüssigen oder gasförmigen Kraftstoffen beruht, diesen Mehrbedarf durch eine Vergrößerung der Speicherkapazität ausgleichen können. Anders beim batterieelektrischen Antriebskonzept: der Hochwasserbetrieb macht die Installation der Ladeeinrichtung auch am Hochwasseranleger erforderlich. Geht man von einer schwimmenden, auf einem Ponton installierten Ladeeinrichtung aus, so ist auch das Verholen der Ladeeinrichtung zum Hochwasseranleger denkbar.

Verfolgt man das Konzept der kurzzeitigen Batterieladung während der Liegezeit, so müsste im Hochwasserfall in jeder Liegeperiode eine Energiemenge von ca. 50kWh (entspricht dem Fünffachen der in 5.1 genannten 10kWh) in den Batterien gespeichert werden. Mit der ebenfalls in 5.1 genannten Ladeleistung von 150kW wird demnach ein Zeitraum von 20 Minuten für das Aufladen der Batterien benötigt. Bei kürzeren Liegezeiten wäre das Defizit an aufnehmbarer Energie durch eine sich über die

Dienstzeit der Fähre entladene Batterie aufzufangen. Die Kapazität einer solchen Batterie lässt sich in Abhängigkeit der durchschnittlichen Ladezeit wie folgt bestimmen:

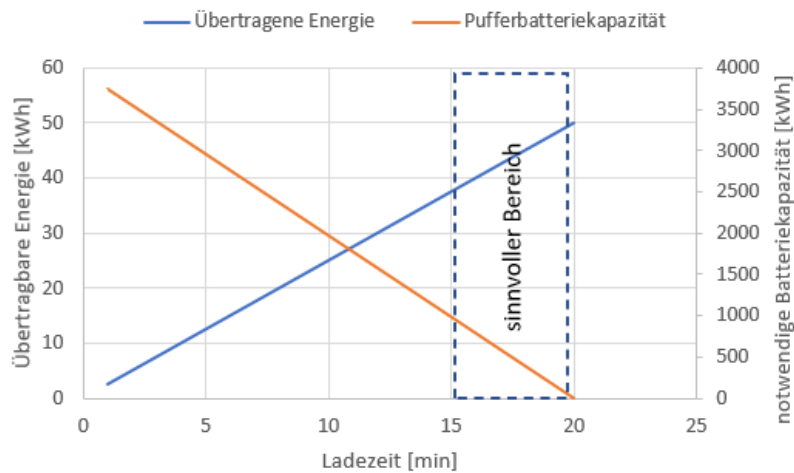


Abbildung 7: Kapazität einer Pufferbatterie in Abhängigkeit von der Ladezeit

Es zeigt sich, dass bei einer tolerierbar ansehbaren Liegezeit von 10 Minuten eine Batteriekapazität von ca. 2000kWh notwendig ist, um einen Tagedienst unter anspruchsvollen Umgebungsbedingungen zu bewerkstelligen. Die diesbezügliche gewichtsmäßige Auswirkung wurde in 5.1 bereits diskutiert. Folglich kann der Hochwasserbetrieb nicht sinnvoll mit dem rein-batterieelektrischen Antriebssystem dargestellt werden.

In Kombination mit einem Verbrennungsmotor, welcher im Bedarfsfall eine konstante Leistung für den Antrieb bereitstellt, ergibt sich ein anderes Bild. Abbildung 8 zeigt für eine konstant angenommenen Ladezeit von 10 Minuten die notwendige Kapazität einer Pufferbatterie in Abhängigkeit der Leistung des Verbrennungsmotors.

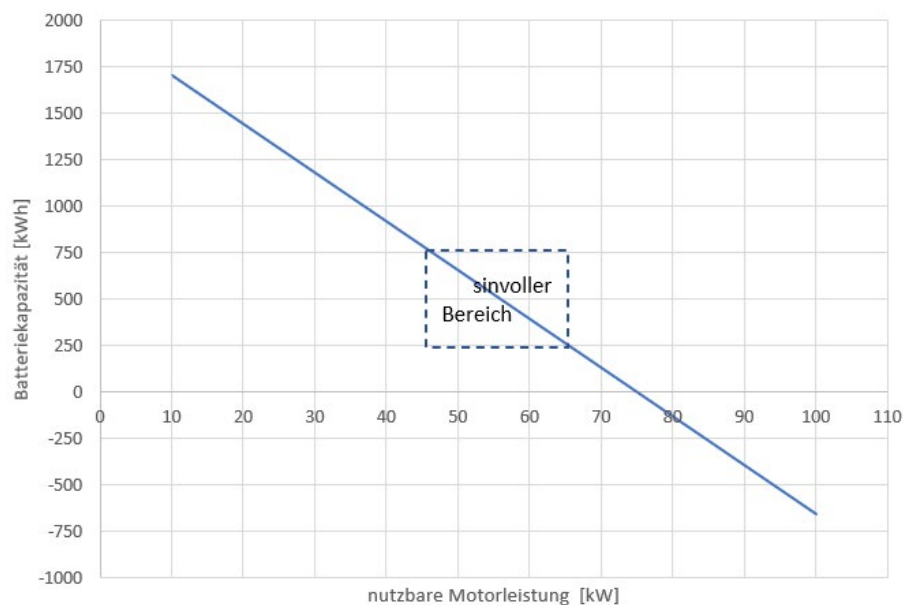


Abbildung 8: Kapazitätsbedarf einer Pufferbatterie über der Motorleistung in einem Hybridantriebssystem

Es zeigt sich, dass bereits geringe Motorleistungen zu einer deutlichen Verringerung der notwendigen Batteriekapazität führen. So ließe sich mit einer Motorleistung von 60kW in Kombination mit einer

Batteriekapazität von ca. 400kW sowohl der Hochwasserbetrieb im Hybridmodus als auch der Normalbetrieb im rein-batterieelektrischen Modus bewerkstelligen.

12 Gegenüberstellung geschätzter Beschaffungskosten

Tabelle 2 stellt eine Abschätzung zu erwartender Beschaffungskosten der zuvor untersuchten Optionen gegenüber. Erkennbar ist, dass sich die geschätzten Kosten für innovative Antriebssysteme („Batterie“, „Wasserstoff“, „Hybrid“) unter Einbeziehung einer Wasserstoffförderung zwischen ca. 4,5 und 5,2 Millionen Euro bewegen. Der Preis für die dieselmechanisch angetriebene Fähre bildet den geringsten für einen Schiffsneubau zu erwartenden Preis ab und liegt in etwa beim Fünffachen des für eine Modernisierung der existierenden Fähre zu erwartenden Preises. Es ist zu erwarten, dass mit dem Wachstum des Marktes für Batterien und Brennstoffzellen die Preise in den kommenden Jahren deutlich sinken, was eine Preisreduzierung für entsprechend ausgerüstete Schiffe mit sich bringt. Gleiches gilt für Konstruktions- und Bauleistungen. Mit zunehmender Erfahrung auf Werften, sowie in Behörden und bei Klassifikationsgesellschaften ist mit einem deutlichen Abwärtstrend bei den Konstruktions- und Baukosten innerhalb der kommenden Jahre zu rechnen.

	Modernisierung der existieren- den Fähre	batterieelektri- sche Fähre	H2-Fähre	LNG-Fähre	Dieselektrische Fähre	Dieselmechani- sche Fähre mit PtL-Brennstoffen	Hybridfähre
Konstruktionsleistung	56 250 €	900 000 €	1 800 000 €	1 080 000 €	900 000 €	720 000 €	1 080 000 €
Fertigungsstunden	180 600 €	1 440 000 €	2 160 000 €	1 656 000 €	1 440 000 €	1 080 000 €	1 584 000 €
Zulassungen, Genehmigungen, Erprobungen, Zertifikate, externe, Finanzierungskosten	15 000 €	60 000 €	60 000 €	60 000 €	60 000 €	60 000 €	60 000 €
Stahl	8 500 €	51 000 €	51 000 €	51 000 €	51 000 €	51 000 €	51 000 €
Schiffbauliche Ausrüstung: Anker, Poller, Fens- ter, Türen, Treppen, Geländer, Feuerlöschsys- teme, Rettungsmittel;	8 500 €	180 000 €	180 000 €	180 000 €	180 000 €	180 000 €	180 000 €
Ladungsspezifische Ausrüstung: Rampen, Schranken, Klima/Lüftung/Heizung;	- €	120 000 €	120 000 €	120 000 €	120 000 €	120 000 €	120 000 €
Maschinenbauliche Systeme: Kühlung, Lenz, Schmierung, Antriebsanlage	330 000 €	360 000 €	600 000 €	600 000 €	420 000 €	420 000 €	360 000 €
Landseitige Infrastruktur/Brennstoffzellen	- €	600 000 €	260 100 €	- €	- €	- €	- €
Navigation, Automation, Kommunikation	10 000 €	90 000 €	90 000 €	90 000 €	90 000 €	90 000 €	90 000 €
Schalt- und Fahranlagen: E-Motoren, Batterien, Kabelanlagen; Schalttafeln; Umrichter	10 000 €	480 000 €	480 000 €	90 000 €	150 000 €	60 000 €	720 000 €
Einrichtung: Brücke, Aufenthaltsräume, Sanitäre Einrichtung	10 000 €	120 000 €	120 000 €	120 000 €	120 000 €	120 000 €	120 000 €
Konservierung inkl. Applikation	5 000 €	90 000 €	90 000 €	90 000 €	90 000 €	90 000 €	90 000 €
Förderung	- €	- €	-792 040 €	- €	- €	- €	- €
SUMME	633 850 €	4 491 000 €	5 219 060 €	4 137 000 €	3 621 000 €	2 991 000 €	4 455 000 €

Tabelle 2: Zusammenstellung geschätzter Beschaffungskosten der untersuchten technischen Optionen

13 Systematischer Vergleich der Planfälle

Die zuvor untersuchten Planfälle sollen mit Hilfe eines Punktesystems in ihren technischen und kommerziellen Merkmalen (Kriterien) systematisch miteinander verglichen werden. Für jedes Kriterium werden Punkte entsprechend folgendem System vergeben

1-sehr schlecht	2-schlecht	3-mittel	4-gut	5-sehr gut
-----------------	------------	----------	-------	------------

Tabelle 3: Bepunktung der Kriterien

Des Weiteren erhalten die einzelnen Kriterien eine Gewichtung, so dass sich aus vergebener Punktzahl und Gewichtung pro Planfall eine Gesamtpunktzahl errechnen lässt, die Aufschluss darüber gibt, wie gut das jeweils untersuchte Antriebskonzept das gesamte Anspruchskollektiv erfüllt.

1-niedrig	2-mittel	3-hoch
-----------	----------	--------

Tabelle 4: Gewichtung der Kriterien

Aus Tabelle 3 und Tabelle 4 geht hervor, dass dasjenige Antriebskonzept das Anforderungskollektiv am besten erfüllt, welches die höchste Punktzahl erreicht.

Tabelle 5 zeigt die untersuchten Kriterien. Das Kriterium der Klimaneutralität muss hierbei für die gesamte Energiebereitstellungskette von der Förderung oder Herstellung des Energieträgers bis zur Nutzung der Energie an Bord des Schiffes betrachtet werden. Klimaneutralität erhält eine hohe Gewichtung, da sie sowohl mobilitätspolitisch als auch projektspezifisch ein zentrales Ziel darstellt.

Anders als die Klimaneutralität ist die Emission von Luftschadstoffen schon heute durch nationales Recht geregelt. Das heißt, dass jedes Antriebskonzept aktuelle gesetzliche Anforderungen zu erfüllen hat. Eine Übererfüllung gesetzlich festgelegter Schadstoffemissionsniveaus wird zwar als positiv betrachtet, stellt aber keine prioritäre Anforderung dar, weshalb dieses Kriterium mit einer geringen Gewichtung versehen wird. Analog hierzu verhält es sich mit den Schallemissionen. Auch sie sind gesetzlich geregelt und es wird davon ausgegangen, dass Schallemissionsniveaus, sofern sie den gesetzlichen Anforderungen genügen, auch allen interessierten Parteien (Schiffsbesatzung, Fahrgäste, Anwohner, Tierwelt) genügen.

Das Kriterium Zuverlässigkeit muss eine hohe Gewichtung erhalten, da es darüber entscheidet, ob und mit welcher Häufigkeit die eigentlich an die Fähre gestellte Aufgabe, nämlich der regelmäßige Transport von Personen und Ladung, erfüllt wird. Die Kriterien Investitionsbedarf und Betriebskosten werden mit einer mittleren und nicht mit einer hohen Gewichtung versehen. Hierdurch soll vermieden werden, dass ein technisch eventuell gutes Antriebskonzept vorschnell schlecht beurteilt wird, obwohl die entsprechenden Merkmale des Konzeptes gegebenenfalls das Inkaufnehmen einer erhöhten Investition und erhöhter Kosten für den laufenden Betrieb rechtfertigen.

Das Kriterium Restlebensdauer wird zur Berücksichtigung des Umstandes angezogen, dass sowohl die existierende als auch eine ertüchtigte Fähre eine deutlich geringere Restlebensdauer im Vergleich zu jeglicher hier untersuchter Neubauvariante aufweist und dass sich folglich die Frage nach einer Neubeschaffung erheblich früher stellen wird. Da sich die genaue Restlebensdauer für keine der Varianten genau vorhersagen lässt, darf es zum Schutz vor eventuell ungerechtfertigter Überbewertung nur mit einer schwachen Gewichtung versehen werden.

Mit dem Kriterium Projektrisiko soll dem Umstand Rechnung getragen werden, dass gewisse Antriebskonzepte in Konzeptionierung, Konstruktion und Bau Unwägbarkeiten mit sich bringen, deren Auswirkungen sich in der momentanen Projektphase weder in technischer, zeitlicher noch in finanzieller Hinsicht vollumfänglich bewerten lassen und deshalb substantielle Risiken für den Projekterfolg darstellen.

	Kriterium	Gewichtung
1	Klimaneutralität der Energiebereitstellungskette	3
2	Emission von Luftschadstoffen	1
3	Schallemissionen	1
4	Zuverlässigkeit	3
5	Investitionsbedarf	2
6	Restlebensdauer	2
7	Betriebskosten	2
8	Projektrisiko	2

Tabelle 5: Gewichtung der untersuchten Kriterien

Die Bewertung der Betriebskosten orientiert sich vor allem an den Energiekosten, welche durch die Bereitstellung der Energie in Form unterschiedlicher Energieträger am Schiff entstehen. Dabei wird von Werten, wie in Tabelle 6 gezeigt, ausgegangen

Energie-träger	Energie-preis, Be-reitstel-lung Kai-kante	Wirkungsgrad des Hauptenergie-wandlers	Energiepreis, Bereitstellung Propellerwel-lenflansch	Jährlicher Be-darf [MWh]	Jährliche Kosten [€]	Quelle/Basis
Diesel-kraft-stoff (fossil)	13 ct/kWh	35% (Verbren-nungsmotor)	37,1 ct/kWh	1.364	50.604	Preis pro Kilogramm Dieselkraftstoff 1,50€. Brennwert 42.700kJ/kg
Methan (fossil)	7 ct/kWh	30% (Verbren-nungsmotor)	23,3 ct/kWh	1.592	37.094	Preis pro Kilogramm komprimiertes Erd-gas 1,00€. Brennwert 50.000kJ/kg
Elektri-scher Strom	39 ct/kWh	96% (Elektro-motor)	40,6 ct/kWh	768	31.181	STATISTA, bundes-durchschnittliche Strompreise an PKW-Ladesäulen, Stand 2020
Wasser-stoff	28,5 ct/kWh (nicht grün!)	50% (Brenn-stoffzelle), 96% (Elektromotor) → 48%	59,4ct/kWh	1.088	64.627	Preis pro Kilogramm Wasserstoff an der Tankstelle 9,50€. Brennwert 120.000kJ/kg
PtL-Die-selkraft-stoff PtL	30 ct/kWh	35% (Verbren-nungsmotor)	85,7 ct/kWh	1.364	116.895	AGORA Verkehrs-wende: Die zukünftigen Kosten stromba-sierter synthetischer Brennstoffe

Tabelle 6: Preise für die Bereitstellung von Energie an der Kaikante unter Betrachtung unterschiedlicher Energieträger

Tabelle 7 zeigt die Bewertung der Planfälle. Hervorzuheben sind diejenigen Antriebskonzepte mit der jeweils niedrigsten und höchsten Punktzahl:

Unter dem gegebenen Gewichtungsmaßstab erhält die Wasserstoffvariante die geringste Gesamtpunktzahl. Dies liegt vor allem an den trotz Förderung zu erwartenden hohen Investitionen in Kombination mit hohen Betriebskosten und signifikanten Risiken in der Projektrealisierung.

Die höchste Punktzahl erzielt die Hybridvariante. Sie erfüllt die formulierten Kriterien in bestmöglicher Weise und kombiniert ein geringes Realisierungsrisiko bei gutem Innovationsgrad. Die Dimensionierung der Batteriespeicher kann etwaigen konzeptionellen Limitierungen (Schiffsgewicht!) angepasst werden. Auf technische Weiterentwicklungen im Bereich Batteriespeicher, insbesondere auf Gewichtsreduzierungen, kann mit einem Austausch des Verbrennungsmotors durch Batterien reagiert werden, so dass eine Weiterentwicklung der Fähre hin zu einem vollwertigen batterieelektrischen Antriebssystem denkbar ist.

Planfall	Energie- und Antriebskonzept	Klimaneutralität	Gewichtung	Luftschadstoffemissionen	Gewichtung	Luftschallemissionen	Gewichtung	Zuverlässigkeit	Gewichtung	Investitionskosten	Gewichtung	Betriebskosten	Gewichtung	Restlebensdauer	Gewichtung	Projektrisiko	Gewichtung	Bewertung
0	dieselmekanischer Antrieb ohne Abgasaufbereitung	1	3	1	1	1	1	4	3	5	2	3	2	1	1	5	3	49
1	dieselmekanischer Antrieb mit Abgasaufbereitung	1		3		1		4		4		3		2		5		50
2	batterieelektrischer Antrieb	5		5		5		4		3		5		5		1		61
3	wasserstoffbasierter Antrieb	4		5		5		2		3		2		5		1		46
4	gasmechanischer Antrieb	2		3		1		4		4		4		5		4		55
5	dieselelektrischer oder gaselektrischer Antrieb	1		3		2		4		3		3		5		4		49
6	diesel- oder gasmechanischer Antrieb auf Basis PtL/G-Brennstoffen	5		3		1		4		4		1		5		4		58
7	Hybridvariante batterieelektrisch - diesel-/gaselektrisch (PtL/G)	5		4		3		4		2		5		5		4		65

Tabelle 7: Quantitative Bewertung der Planfälle nach Punktemodell

14 Zusammenfassung und Bewertung

Der Fährdienst Bleckede – Neu Bleckede weist einen erheblichen Modernisierungsbedarf auf. Mittelfristiges Ziel ist, den Fährdienst unter Verwendung innovativer Antriebssysteme möglichst klimaneutral zu gestalten bei gleichzeitiger Erhöhung der Transportleistung der Fähre. Hierzu wurden unterschiedliche Planfälle auf Prinzipiebene zunächst entwickelt, technisch und kommerziell untersucht sowie systematisch miteinander verglichen. Eckpunkte des untersuchten Technikspektrums stellen die existierende Fähre sowie Fährneubeuten mit rein-batterieelektrischem Antrieb oder mit einem wasserstoffbasierten Antriebssystem dar.

Es zeigt sich, dass insbesondere der Wasserstoffantrieb auf Grund seines hohen Investitionsbedarfs und zu berücksichtigender Projektrisiken im Vergleich mit den anderen technischen Optionen schlecht abschneidet. Nichtsdestotrotz wird ein solches Projekt unter der Zielsetzung, ein höchst innovatives und zukunftsgerichtetes Schiff mit Modellcharakter zu bauen und unter bewusster Inkaufnahme o.g. Risiken für durchführbar und sinnvoll gehalten.

Im Vergleich mit den anderen Optionen erzielt der batterieelektrische Antrieb ein gutes Ergebnis. Allerdings ist seine Realisierbarkeit stark vom Ladekonzept der Batterien abhängig. Eine Speicherung der gesamten für einen Tagesdienst benötigten Energie scheint auf Grund des hohen Gewichts der Batterien unmöglich. Kurzzeitiges Laden kleiner Energiemengen mit Hilfe eines automatisierten Ladesystems ist hingegen umsetzbar und ermöglicht ferner die Installation deutlich kleinerer Batterien. Allerdings ist der Hochwasserbetrieb mit einem batterieelektrischen Antriebssystem nicht sinnvoll darstellbar, wodurch diese Option aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden muss.

Einfacher umzusetzen sind Antriebskonzepte auf Basis oder unter Beteiligung von Verbrennungsmotoren. Grund hierfür ist die große Energiedichte des Brennstoffs sowie das geringe Gewicht des Energiespeichers, wodurch ein niedriges Schiffsgewicht und eine gute Anpassung an konstruktive Randbedingungen erreicht werden können. Die Verwendung von sogenannten PtL-/G-Kraftstoffen kann darüber hinaus einen klimaneutralen aber nicht vollständig schadstoffemissionsfreien Schiffsbetrieb ermöglichen.

Einen guten Kompromiss aus Innovationsgrad und technischem Reifegrad stellen Hybridkonzepte bestehend aus einer Kombination aus Batteriespeicher und einem diesel- oder gaselektrischen Antriebssystem dar. Durch eine geschickte Auslegung beider Bestandteile lassen sich konzeptionelle Schwächen der Einzelsysteme kompensieren und ihre Vorteile kombinieren. Unter der Voraussetzung einer kontinuierlichen, insbesondere das Gewicht betreffende, Weiterentwicklung der Batterietechnologie ist ein Nachrüsten größerer Batteriespeicher als Ersatz für den Verbrennungsmotor denkbar.

Eine Empfehlung des Verfassers fällt zu Gunsten des hybriden Antriebskonzeptes aus, da es sowohl aus ökologischer als auch ökonomischer Perspektive einen guten Kompromiss darstellt. Es bietet darüber hinaus die Möglichkeit, weiterer technischer Optimierungen und kann mit vertretbarem Aufwand in ein vollständig batteriegestütztes Antriebskonzept umgewandelt werden.

ANHANG

1 Liste Vergleichsfähren

Vergleichsschiffe	L	B	Installierte Motorleistung
Mittelrheinfähre Niederheimbach-Lorch	35	9,6	356kW
Fähre Loreley	42	14,86	558kW
Fähre Christopherus	41,55	11,04	440kW
Reinfähre Mondorf	37,35	9,5	292kW
Fähre Niederrhein	27,5	9,5	260kW
Neue NOK-Fähre	30	9,5	280kW

Tabelle 8: Liste vergleichbarer Fähren

2 Leistungsmessung Antriebsanlage

Leistungsmessung Antriebsanlage Elbefähre AMT NEUHAUS

Bericht Nr. 2021/682

Derda Ingenieurbüro



Kunde: Maritime Beratung Björn Pape Heideweg 3B D - 21279 Appel		Auftrag: Auftrag vom 09.04.2021 Hr. Björn Pape	
Title: Leistungsmessung Antriebsanlage Elbefähre AMT NEUHAUS			
Kurzbeschreibung: Im Zuge einer Projektplanung sollte die Antriebsleistung des Propulsionsantriebs der Elbefähre AMT NEUHAUS im Regelbetrieb bestimmt werden.			
Expert in Charge:  T. Derda (Dipl.-Ing.)			
Bericht 2021/682		Tornesch, 30. April 2021	
Seiten im Textteil: 8			
Abbildungen: 18		Derda Ingenieurbüro Kuhlenweg 1-3 25436 Tornesch Germany	
Data-CD/DVD -			

Inhalt

1	Daten von Schiff und Maschine	4
2	Aufgabenstellung und Messkonzept	5
3	Verwendete Messeinrichtung	5
4	Kalibrierung	5
5	Nullabgleich	5
6	Fehlerrechnung	6
7	Durchführung der Messung	7
8	Auswertung	8

1 Daten von Schiff und Maschine

Shiff

Name	:	AMT NEUHAUS
Typ	:	Fähre
L ü. d. Rampen	:	32,60 m
Rumpflänge	:	22,40 m
Breite	:	7,66 m
Tiefgang _{max.}	:	0,6 m

2 x Hauptmaschine

Hersteller	:	Deutz
Typ	:	BF 6 L 913 Luftgekühlt
Leistung	:	85 kW
Drehzahl	:	1500 min ⁻¹
Anzahl Zyl.	:	6 Cyl.

2 x Getriebe

Keine Angaben

2 x Pumpjet

Hersteller	:	Schottel
Typ	:	SPJ 22
Leistung	:	72 kW
Durchmesser	:	900 mm

2 Aufgabenstellung und Messkonzept

Für eine Projektplanung sollte der Leistungsbedarf der Fähre AMT NEUHAUS im Regelbetrieb bei mehreren Fahrten bestimmt werden.

Dazu wurde an jeder der beiden Antriebsanlagen je ein Drehmomentmesssystem auf der Gelenkwelle zwischen Getriebe und Pumpjet installiert. Zur Drehzahlerfassung wurden Reflexmarken an den Wellen angebracht.

3 Verwendete Messeinrichtung

Die Drehmomentenmessung basiert auf Dehnungsmessstreifen, die aus der Schubverformung der Welle ein drehmomentproportionales Signal liefern. Die weitere Signalübertragung von der drehenden Welle erfolgt mit Hilfe eines Telemetriesystems.

Die Drehzahl wird über eine Reflexmarke und einem optischen Sensor ermittelt.

Mit Hilfe einer GPS-Antenne wurde die Geschwindigkeit der Fähre über Grund mit aufgezeichnet.

In Abb. A.3 in Anhang A ist die verwendete Messeinrichtung im Detail beschrieben.

4 Kalibrierung

Unsere Messmittelüberwachung als Teil unseres Qualitätssicherungssystems nach ISO 9001/2015 sichert eine hohe, gleichbleibende Zuverlässigkeit der eingesetzten Messmittel. Die bei dieser Untersuchung eingesetzten Messmittel werden regelmäßig nach festgelegten Prozeduren kalibriert.

Die Kalibrierungen sind auf entsprechende DAkkS - Zertifikate rückführbar.

5 Nullabgleich

Ein Nullabgleich der Drehmomentmessstellen wurde vor Beginn der Messfahrten durchgeführt und während des Anlegemanövers nach Beendigung der Messungen nochmals überprüft.

6 Fehlerrechnung

Die Fehlerrechnung auf der Grundlage der Daten in Tabelle 1 lässt für die Wellenleistungsmessung einen mittleren Fehler von < 3,6% bezogen auf die nominelle Leistung erwarten.

Durchmesser Welle (innen/außen)	84/90	mm
Abweichung +/- [mm]	0.05	mm
W nom.	82834.96	mm ³
W min	82669.40	mm ³
W max	83000.74	mm ³
delta W	331.34	mm ³
Fehler W in %	0.40	3.2
K Faktor DMS	%	1.0
R DMS	%	0.4
Abgleichfehler	%	0.1
Fluke Auflösung	%	0.3
Fehler G-Modul	%	1.0
Fehler Datenerfassung	%	0.1
Fehler Kalibrierwiderstände	%	0.1
Fehler Drehzahlmessung	%	0.1
Nullpunktdrift	%	0.2
maximaler Fehler %		6.4
mittlerer Fehler %		3.6

Tabelle 1: Fehlerrechnung

7 Durchführung der Messung

Die Messeinrichtung wurde nach Betriebsschluss am Liegeplatz der Fähre installiert und in Betrieb genommen. Am 19. April 2021, in der Zeit von 10:30h bis 12:00h, wurden bei 13 Fahrten im Regelbetrieb Messungen durchgeführt.

Sowohl am Anleger auf der Ost-Seite als auch am Anleger auf der West-Seite wurde je eine Messung der am Anleger eingeklinkten Fähre bei hoher Leistung der Antriebsanlage mit Schubrichtung in Richtung des Fahrwassers durchgeführt.

Die Orientierung der Fähre im Strom ist in Abb. A.2 grafisch dargestellt und wird im Fährbetrieb grundsätzlich so beibehalten. Daraus ergibt sich auch die Bezeichnung der Antriebsanlagen mit Ost- und West-Ende.

Die Umgebungsbedingungen waren:

Wind	:	0 - 1 Bft aus Ost
Pegel der Elbe in Bleckede	:	6.55 m
Strom der Elbe in Bleckede	:	0,8 bis 0,9 m/s
Luftdruck	:	1020 mbar
Temperatur	:	10 - 15 °C

Tabelle 2 Umgebungsbedingungen

8 Auswertung

Das gemessene Drehmoment wurde geglättet und entsprechend der angegebenen Formel 1 mit der Drehzahl zu einer mechanischen Wellenleistung in kW verrechnet. Die Zeitverläufe von Leistung, Drehzahl und Geschwindigkeit über Grund sind in den Abbildungen im Anhang B enthalten.

$$P = 2 * \pi * n * M * \frac{1}{60} \quad [kW] \quad [1]$$

mit: M=Drehmoment [kNm]

n=Drehzahl [min^{-1}]

Über die gesamte Fahrt, inklusive der Ab- und Anlegemanöver, wurde die verrichtete Arbeit aus dem Integral der Leistung über die Zeit bestimmt und in kJ angegeben.

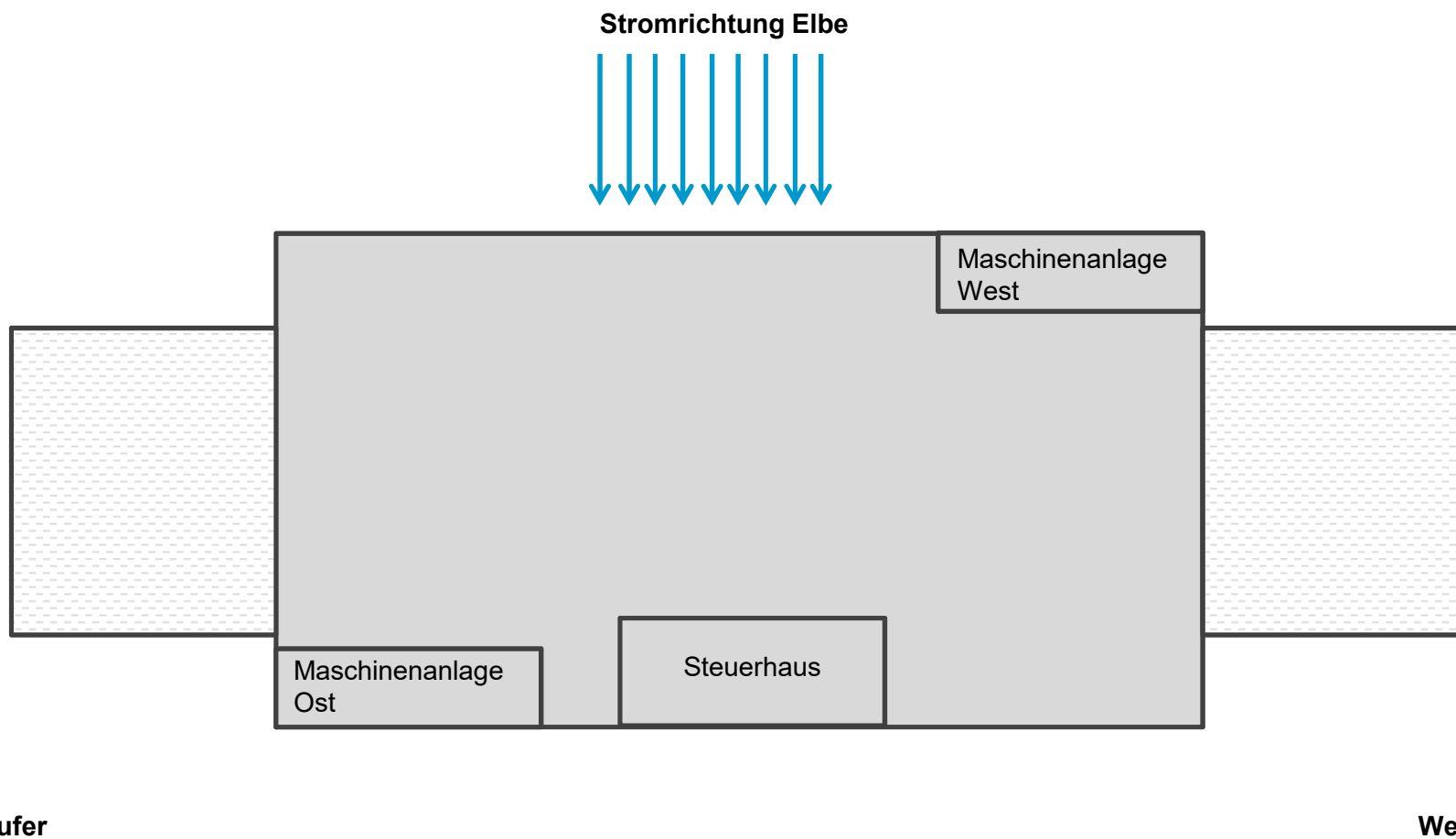
Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

		Leistung bei Freifahrt			Drehzahl Freifahrt			
Nr.	Versuch	Ost	West	Summe	n-Ost	n-West	Arbeit	Abb.
		[kW]	[kW]	[kW]	[1/min]	[1/min]	[kJ]	
6	Ziehen am Anleger West	53.9	61.5	115.4	1818	1760		B.1
8	Ziehen am Anleger Ost	25.7	43.1	68.8	1423	1576		B.2
9	Ost>West	19.3	36.1	55.3	1280	1468	8771	B.3
10	West>Ost	17.0	31.7	48.7	1233	1398	10316	B.4
11	Ost>West	27.1	44.1	71.2	1434	1575	10592	B.5
12	West>Ost	15.7	37.6	53.3	1196	1508	10468	B.6
13	Ost>West	23.2	38.1	61.3	1391	1500	11608	B.7
14	West>Ost	23.4	25.0	48.3	1373	1303	10753	B.8
15	Ost>West	15.5	28.0	43.5	1184	1356	8661	B.9
16	West>Ost	18.5	29.2	47.7	1268	1379	11669	B.10
17	Ost>West	9.8	29.6	39.4	1018	1376	8623	B.11
18	West>Ost	25.6	31.3	56.9	1416	1413	12036	B.12
19	Ost>West	11.1	25.4	36.5	1051	1324	7487	B.13
20	West>Ost	21.3	20.7	42.0	1333	1233	10483	B.14
21	Ost>West	17.5	32.3	49.8	1239	1427	9819	B.15

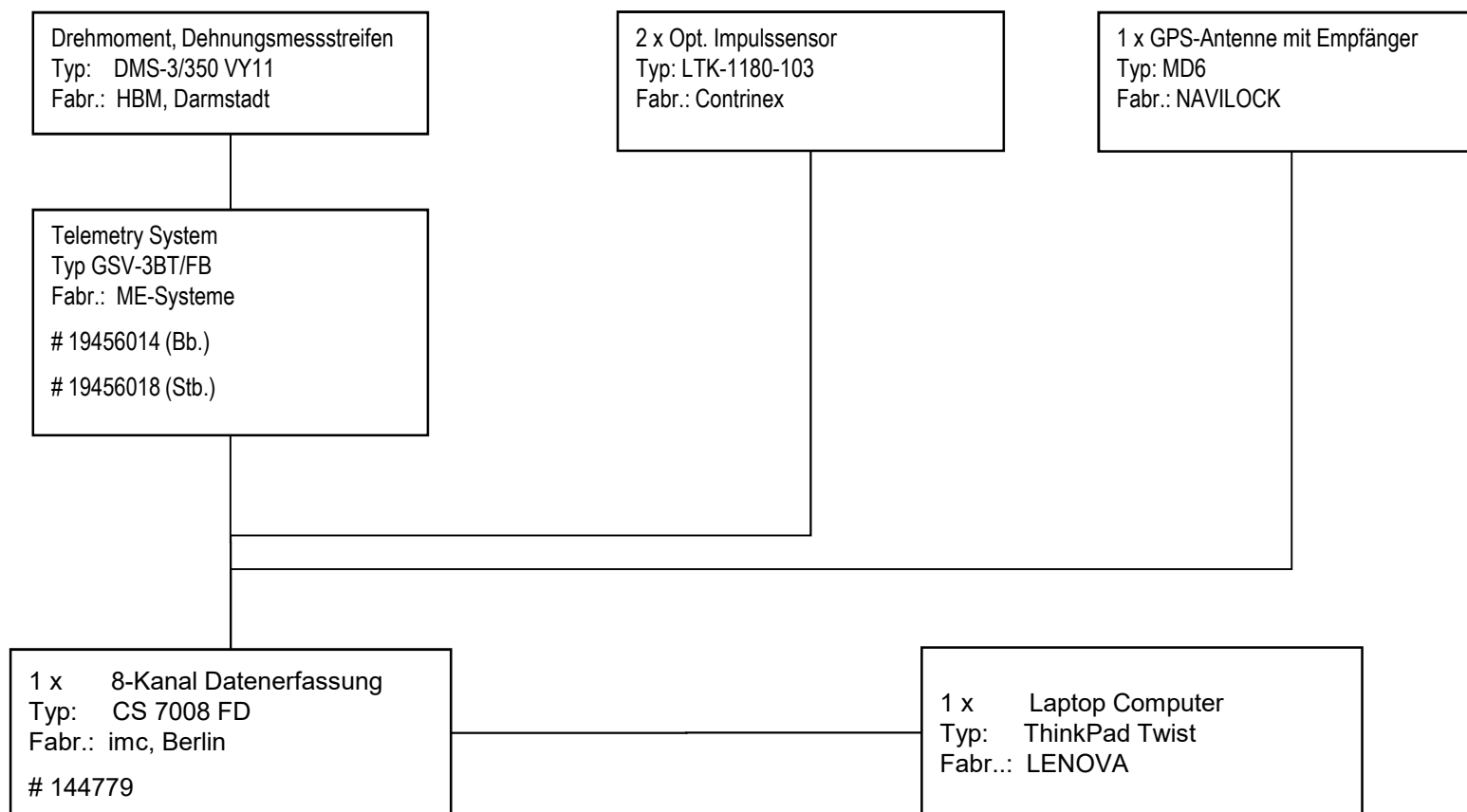
Tabelle 3 Ergebnisse

A n h a n g A

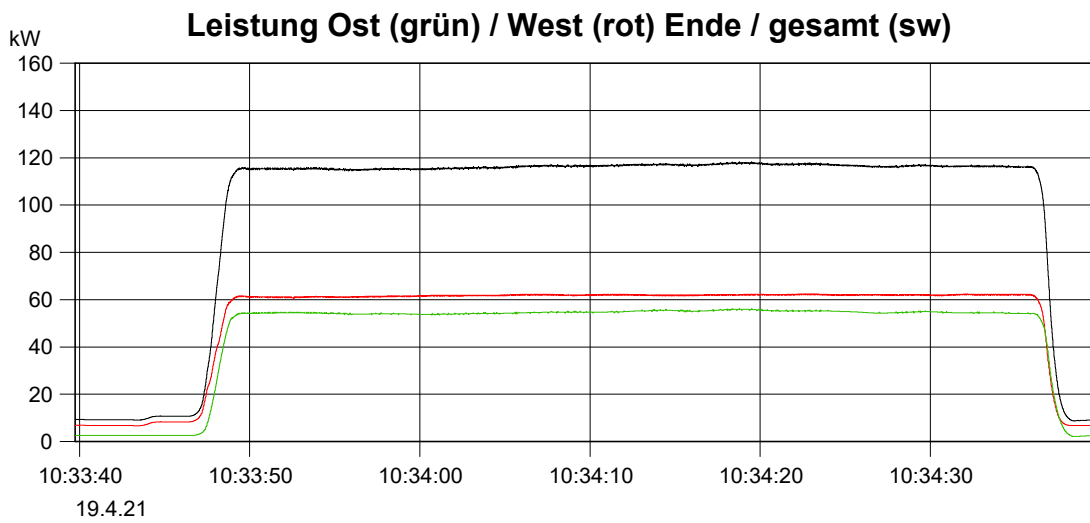




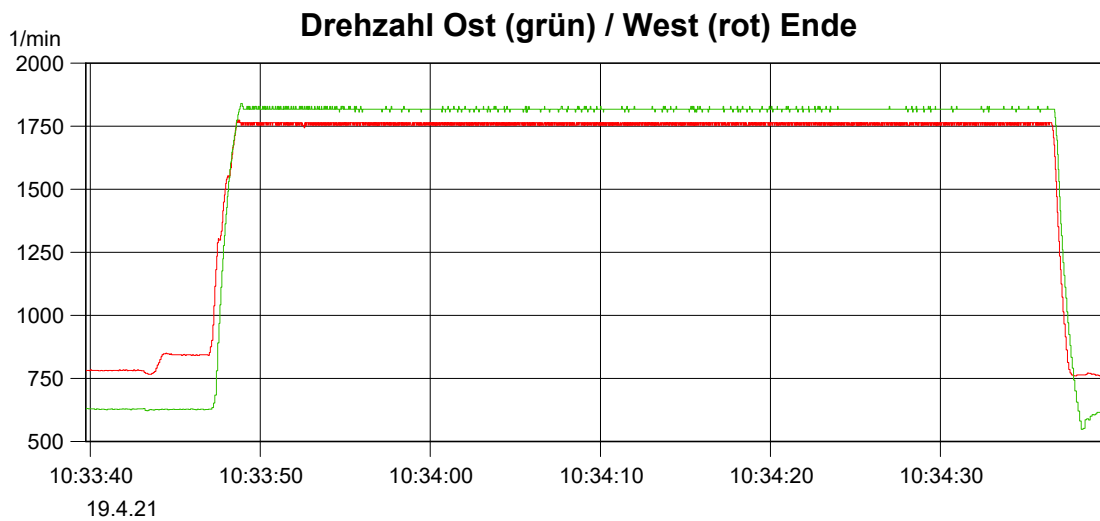
Die Orientierung der Fähre im Strom wird bei allen
Fahrten wie gezeigt beibehalten.



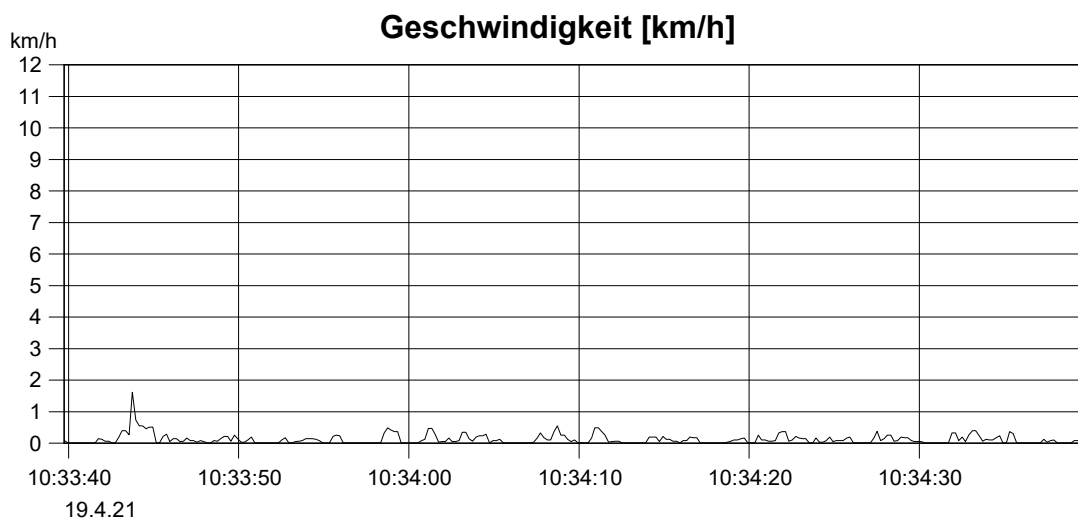
A n h a n g B



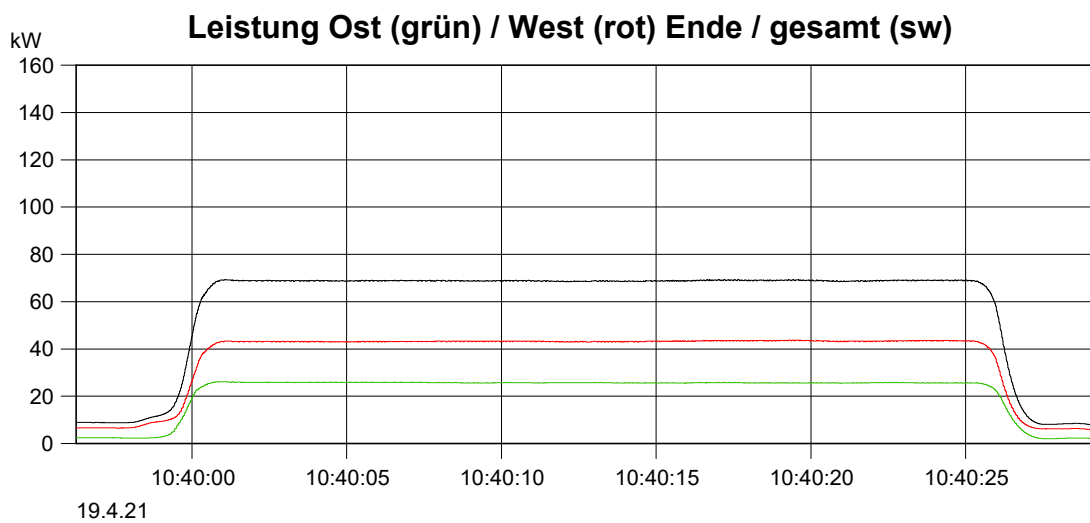
h:m:s



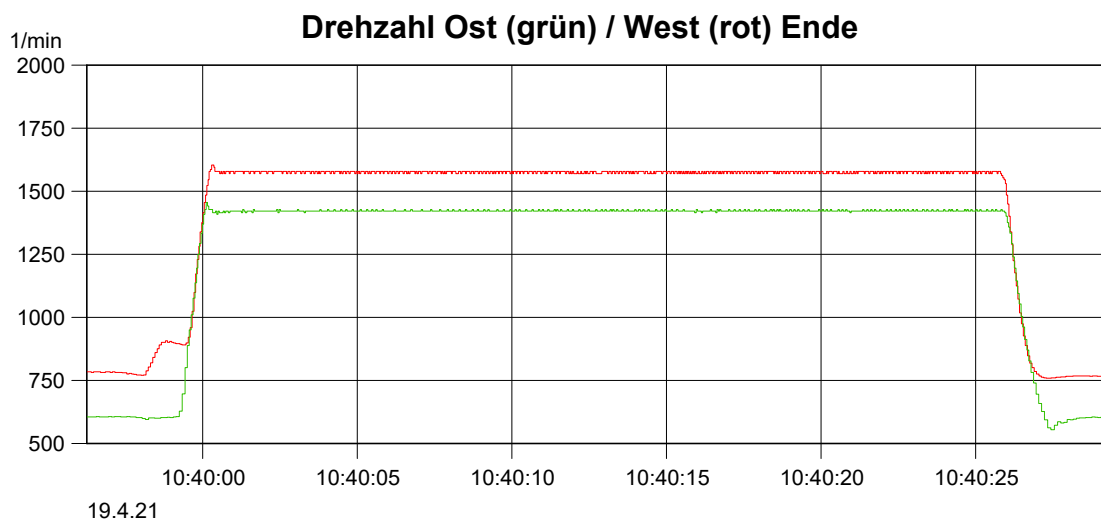
h:m:s



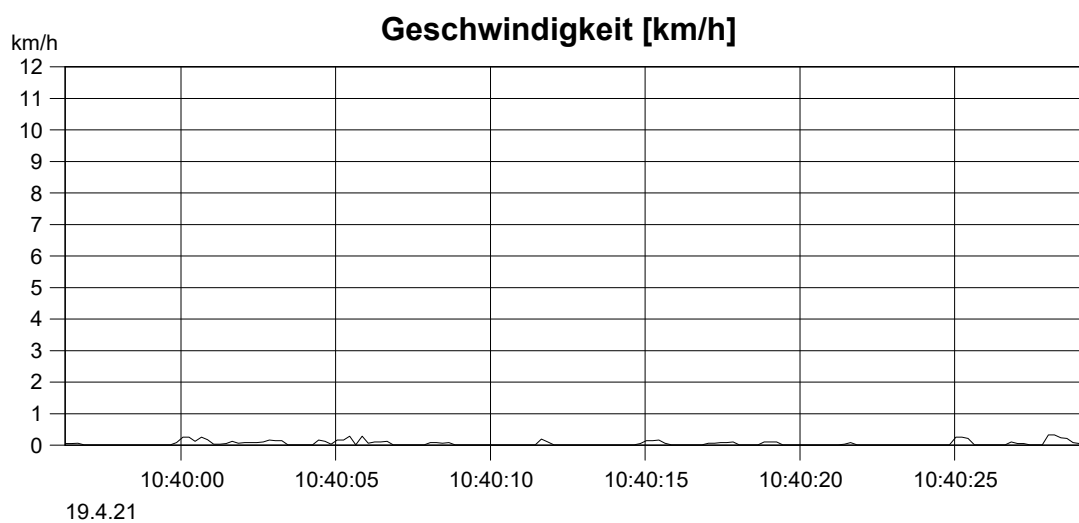
h:m:s



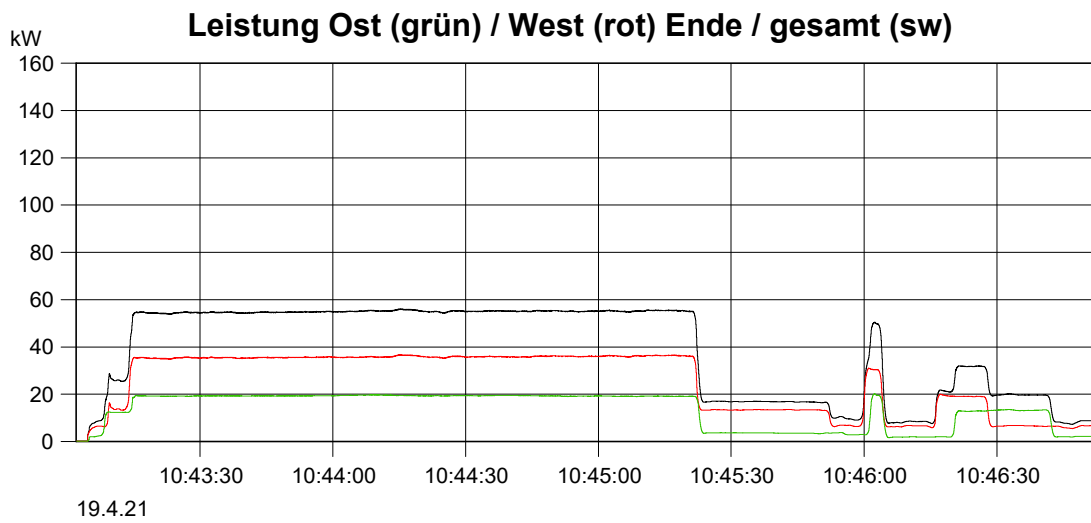
h:m:s



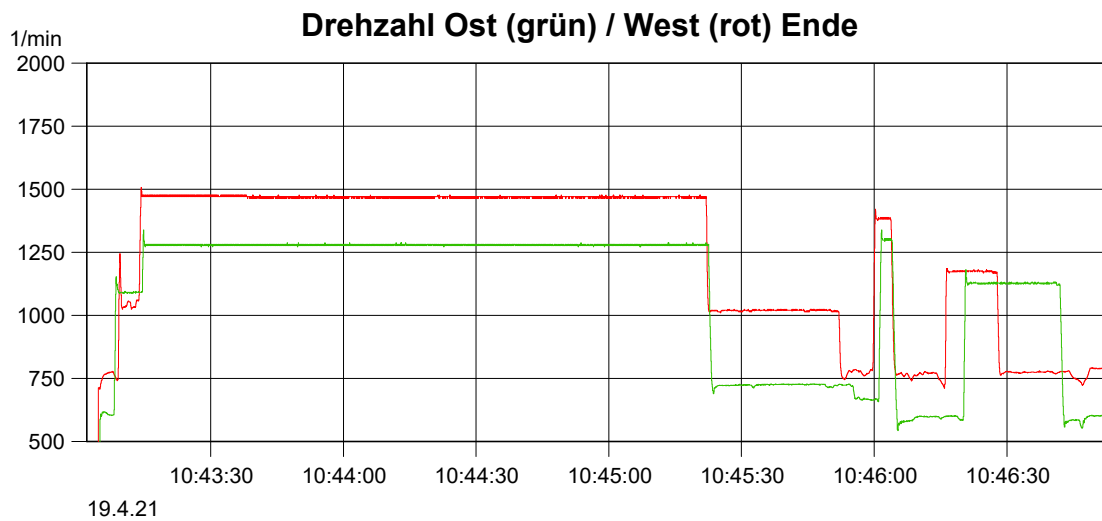
h:m:s



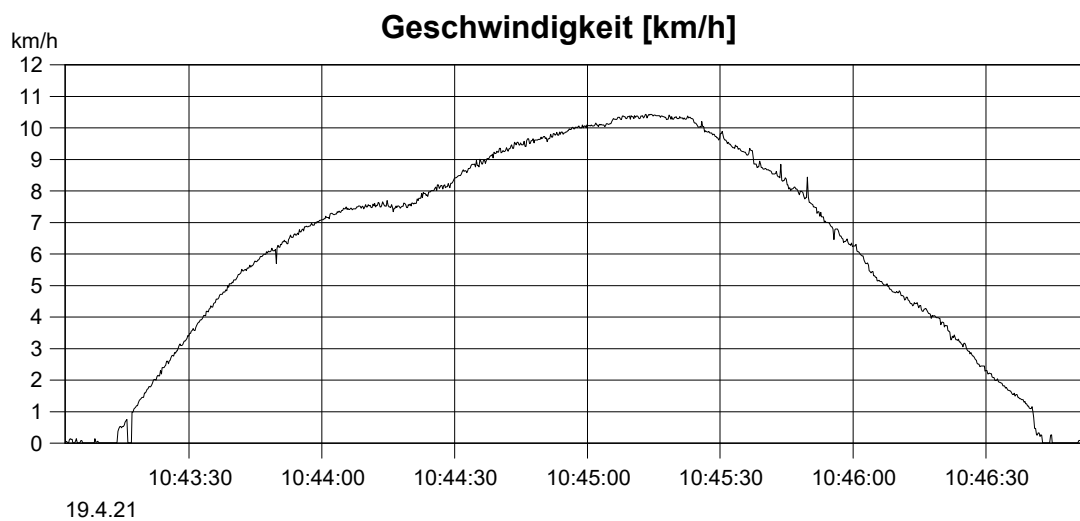
h:m:s



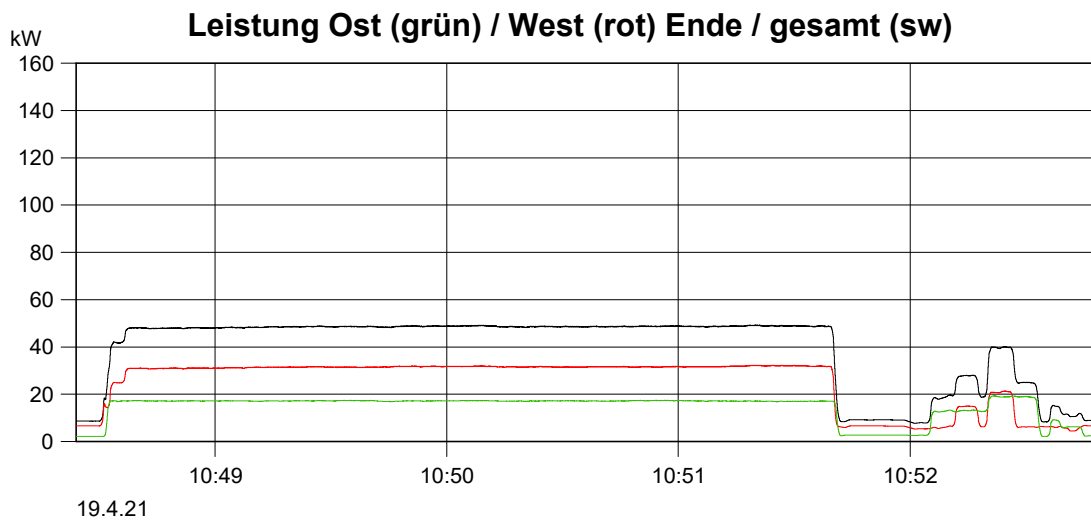
h:m:s



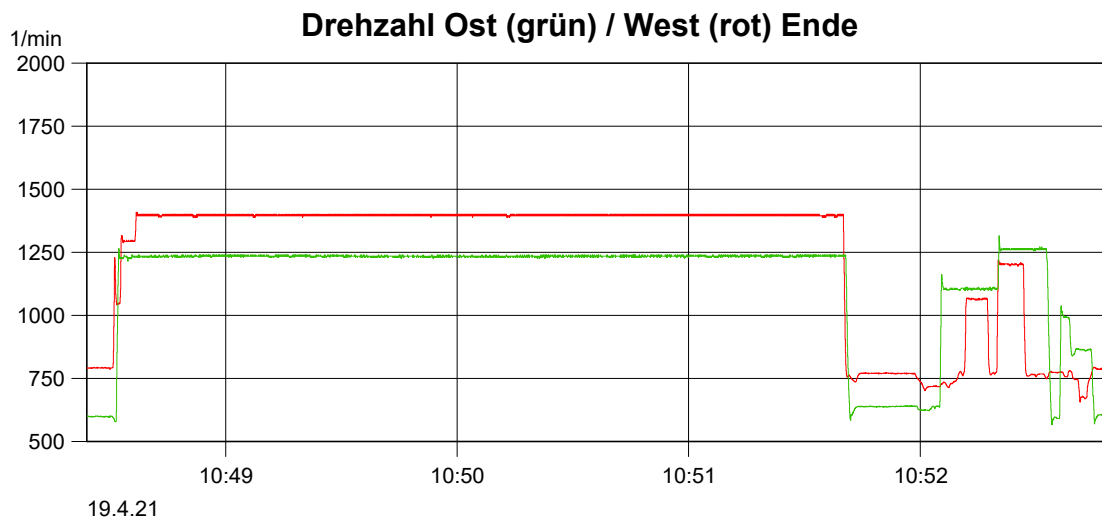
h:m:s



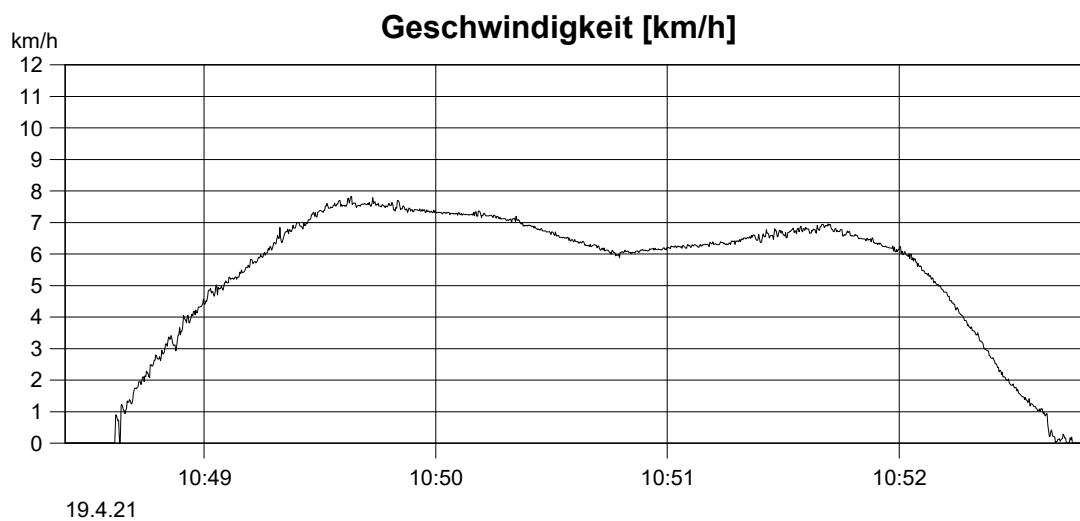
h:m:s



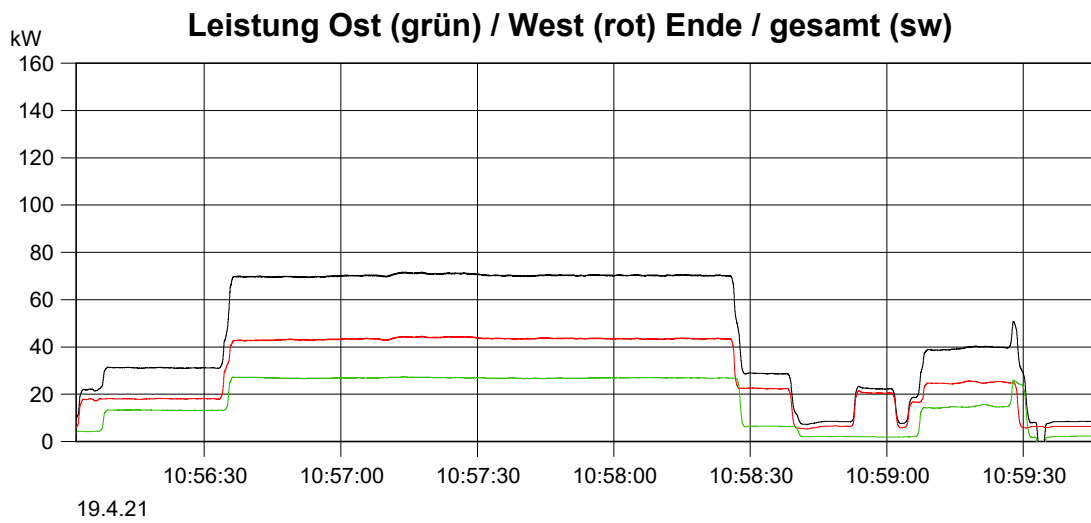
h:m



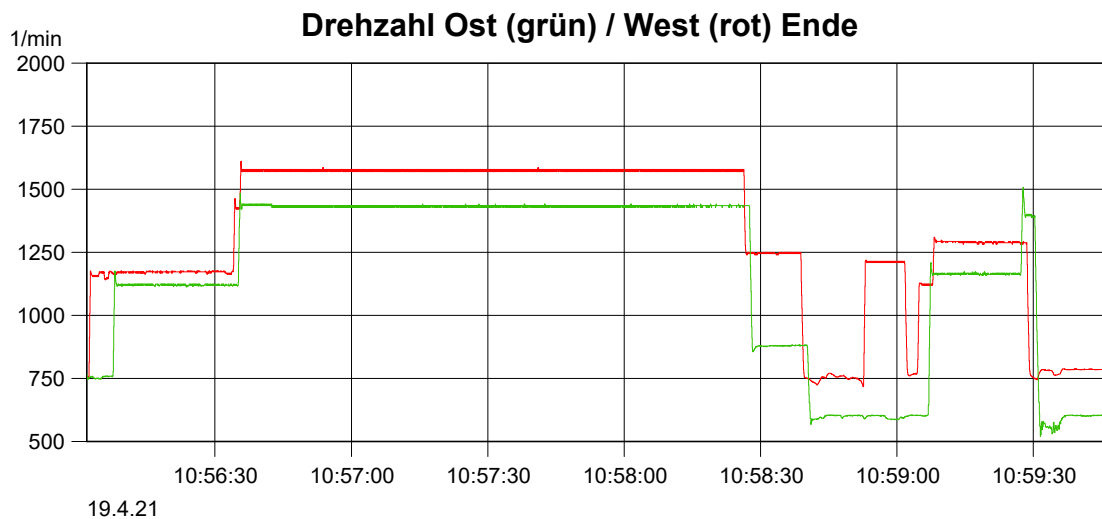
h:m



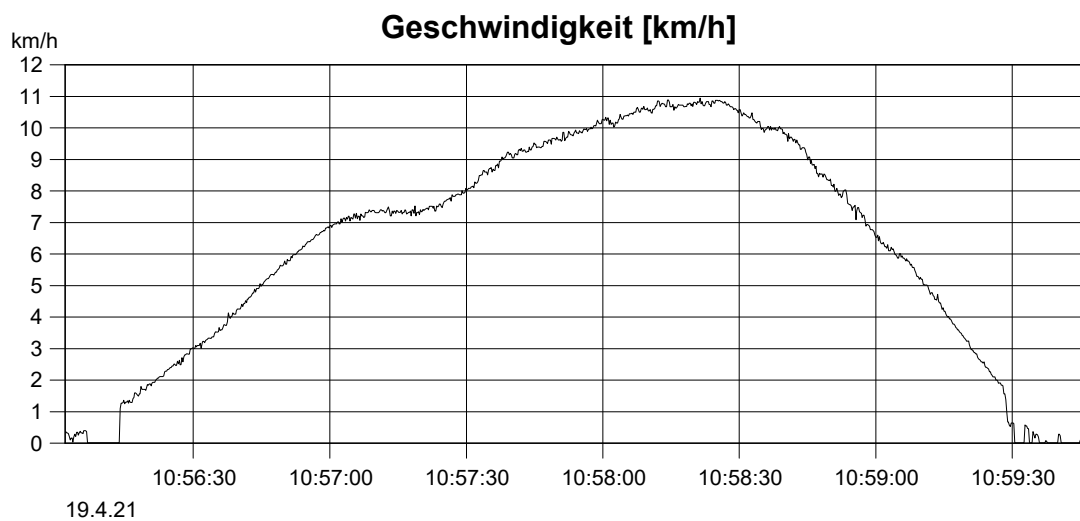
h:m



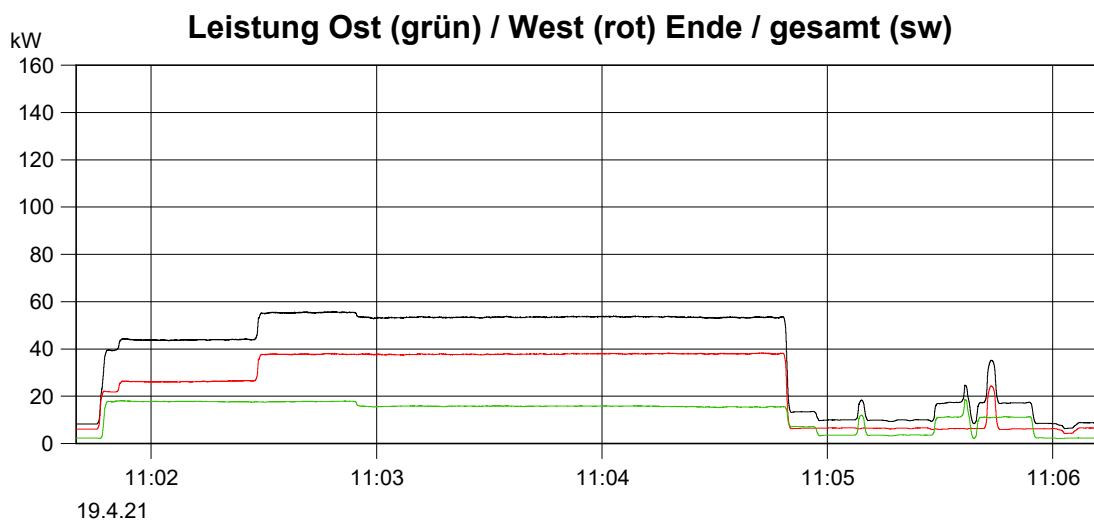
h:m:s



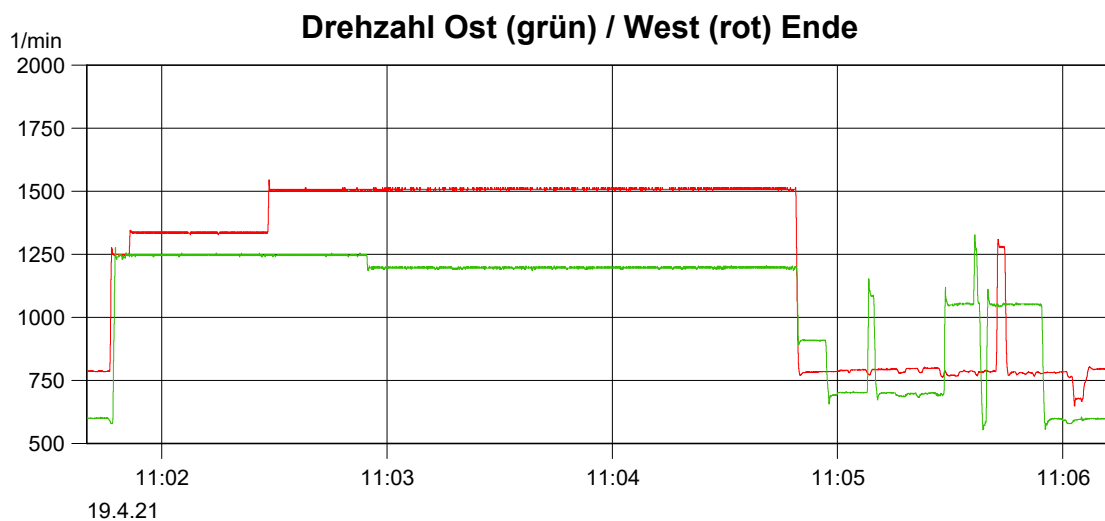
h:m:s



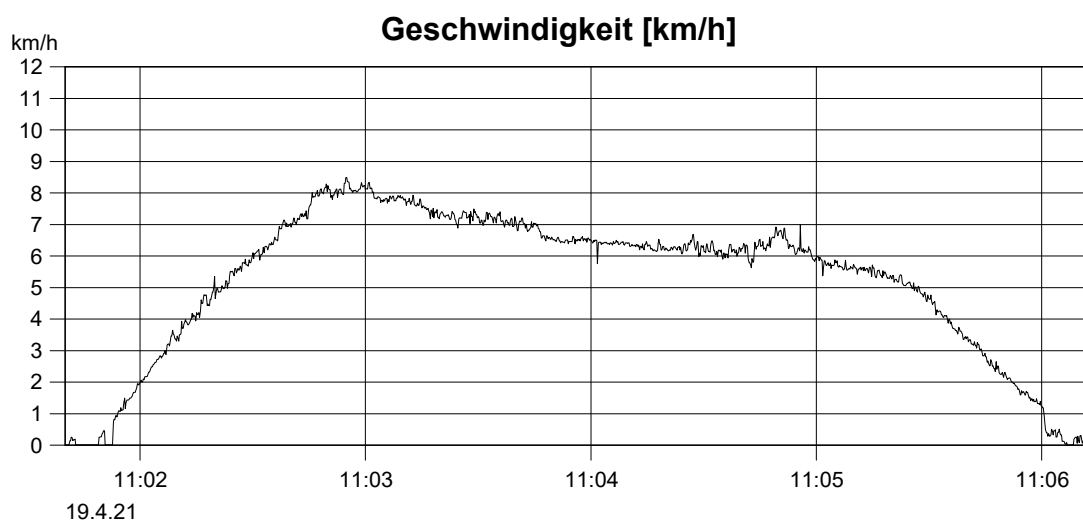
h:m:s



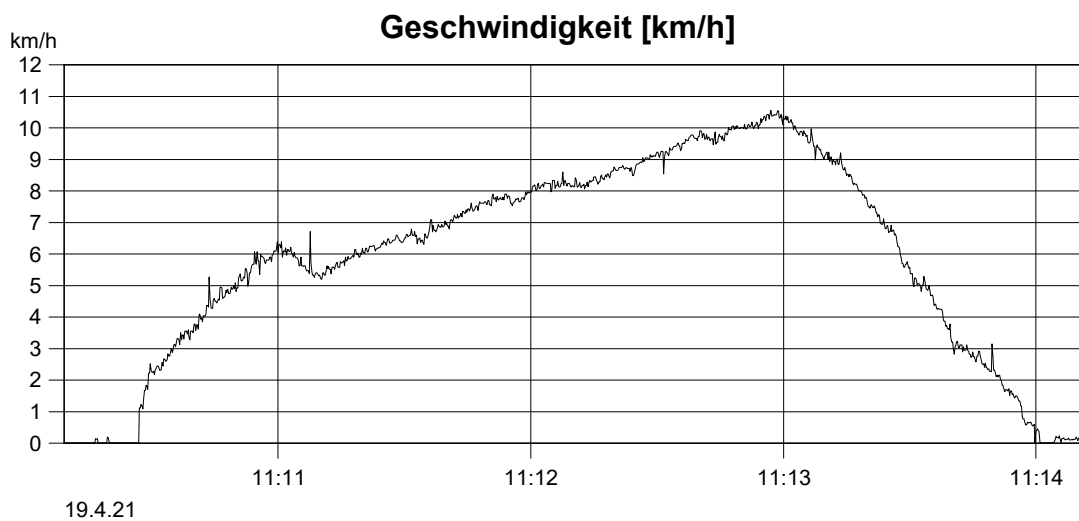
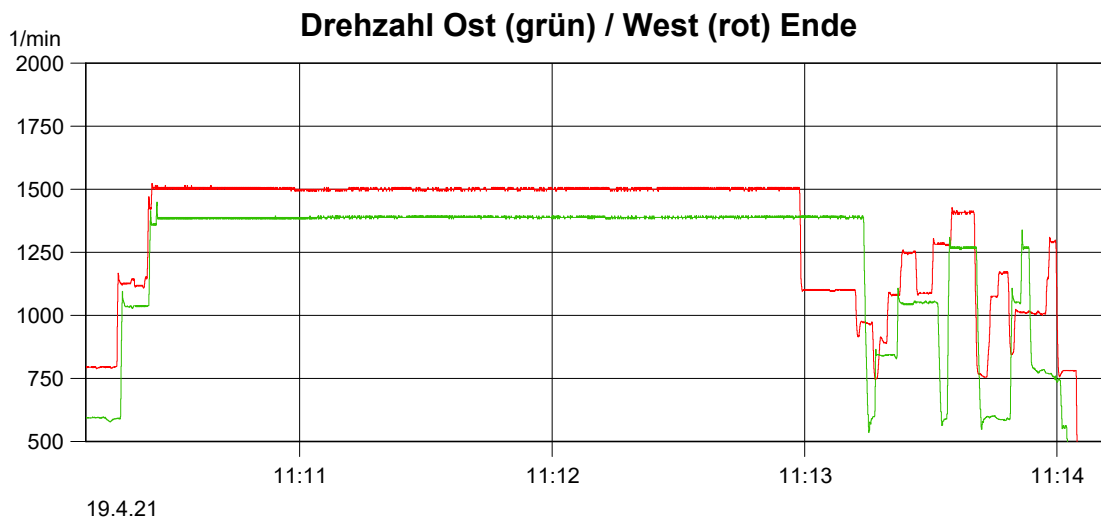
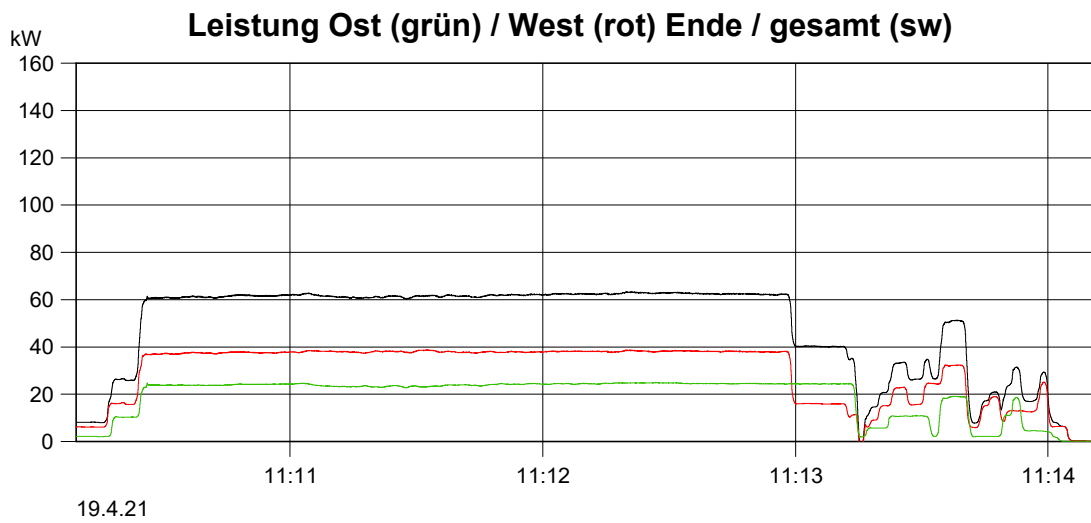
h:m

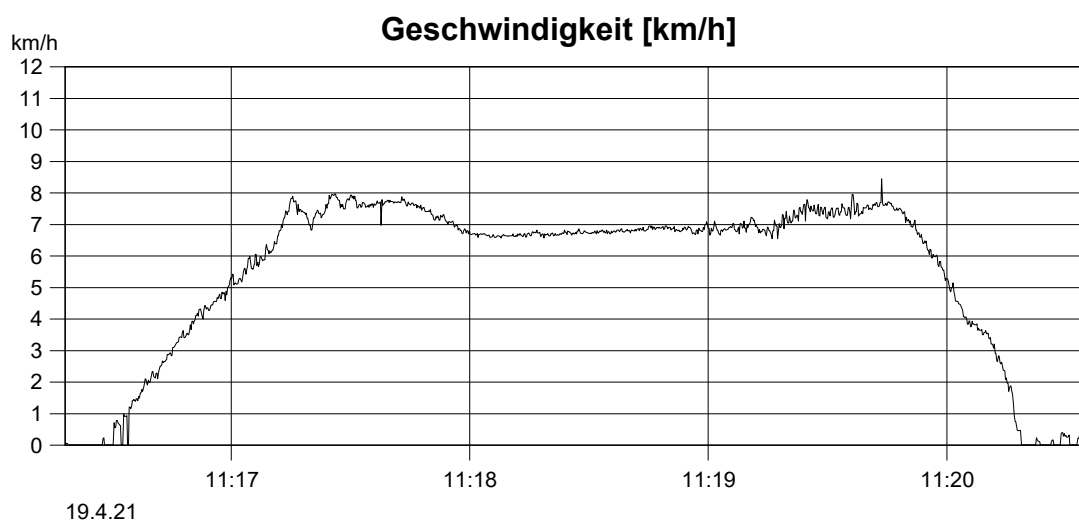
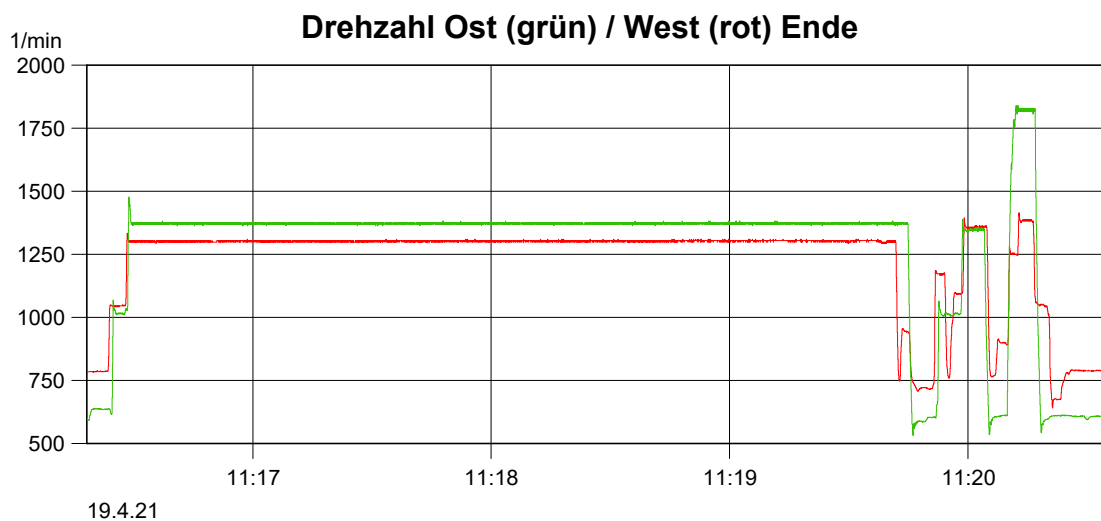
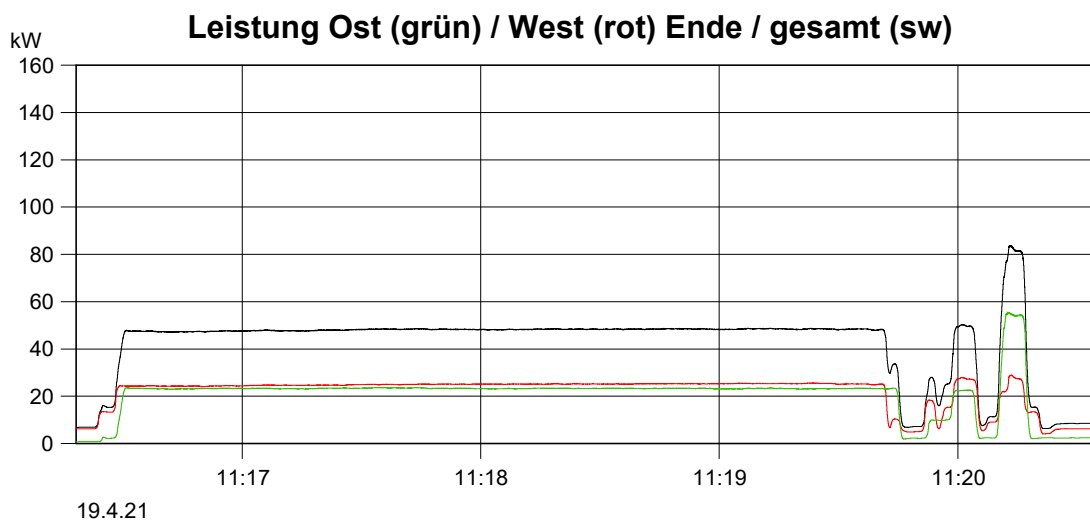


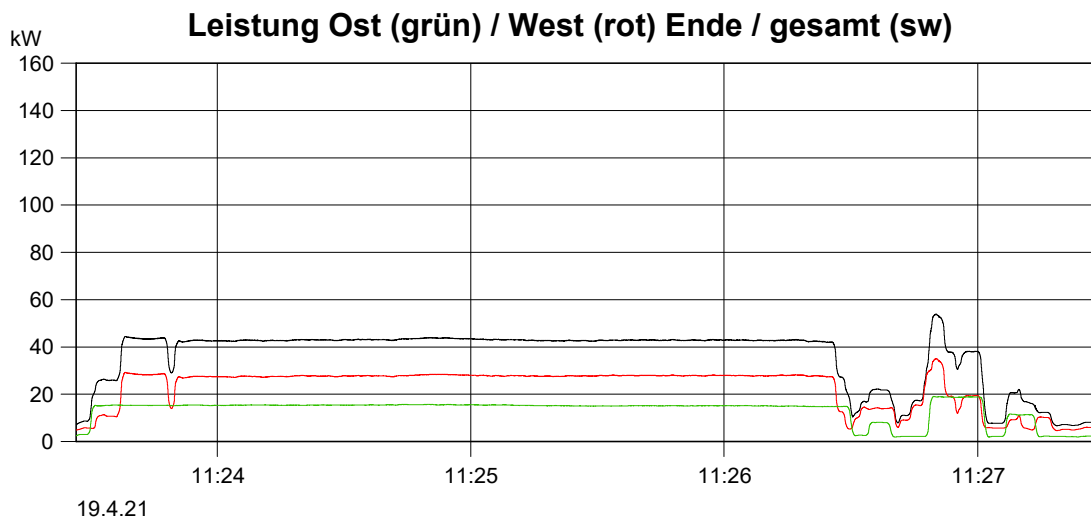
h:m



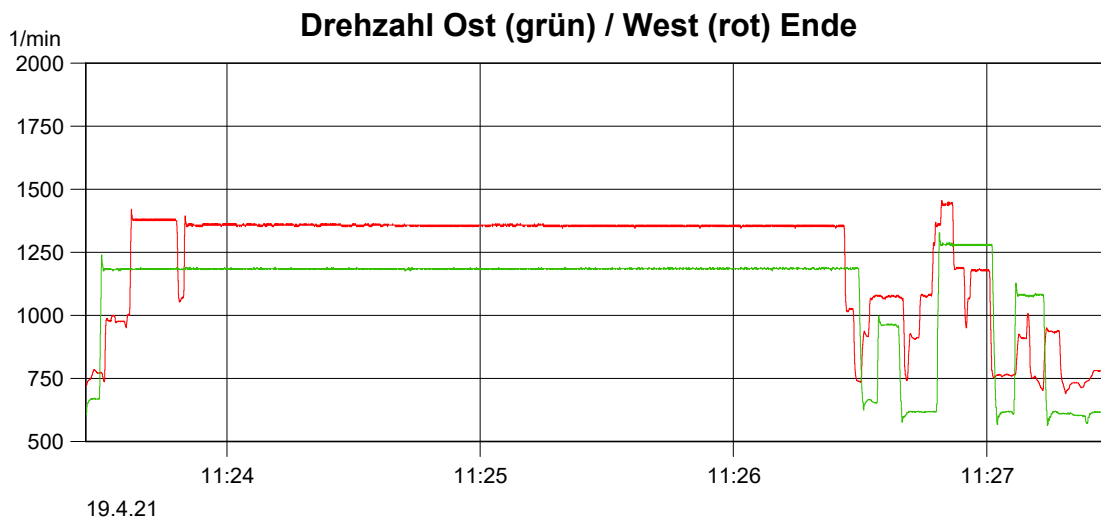
h:m



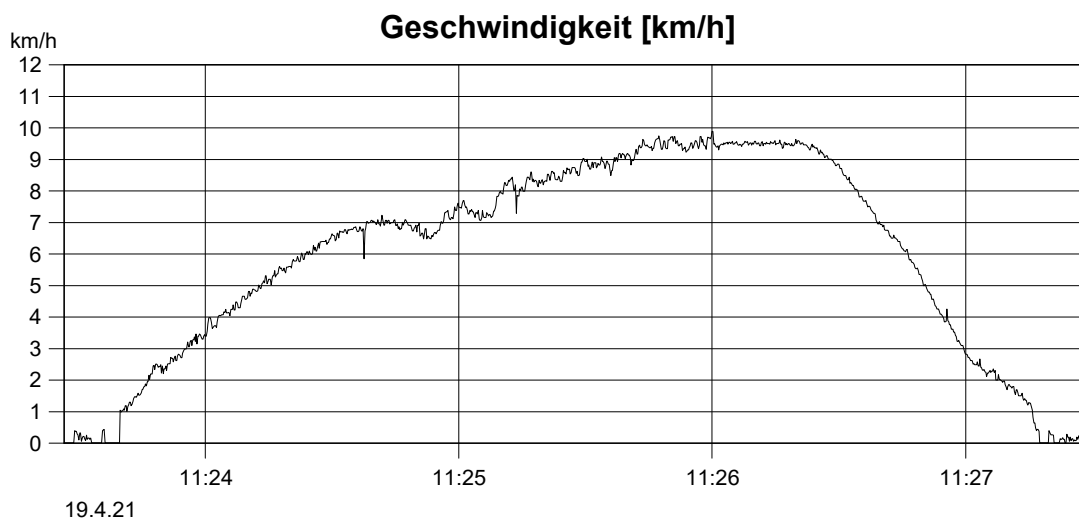




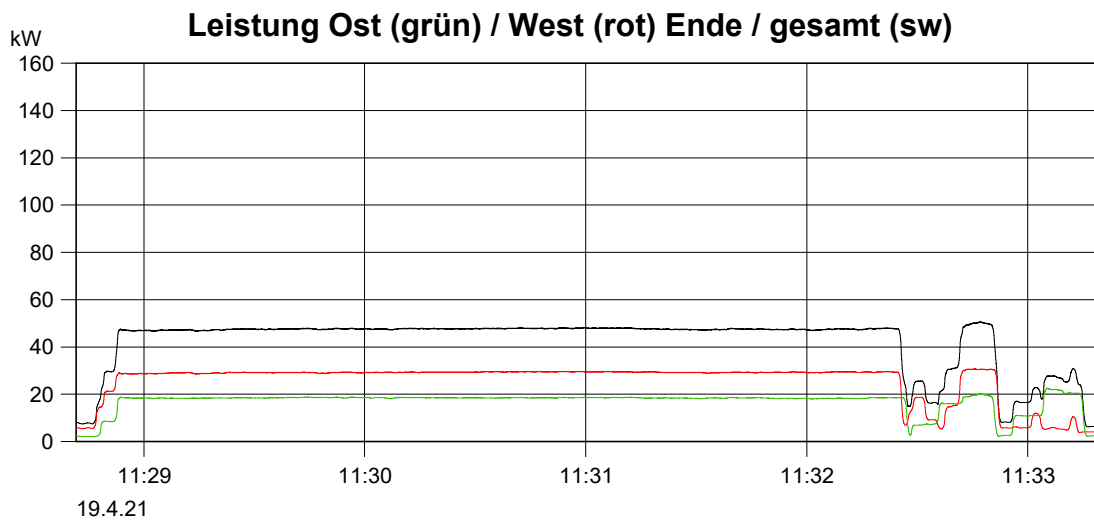
h:m



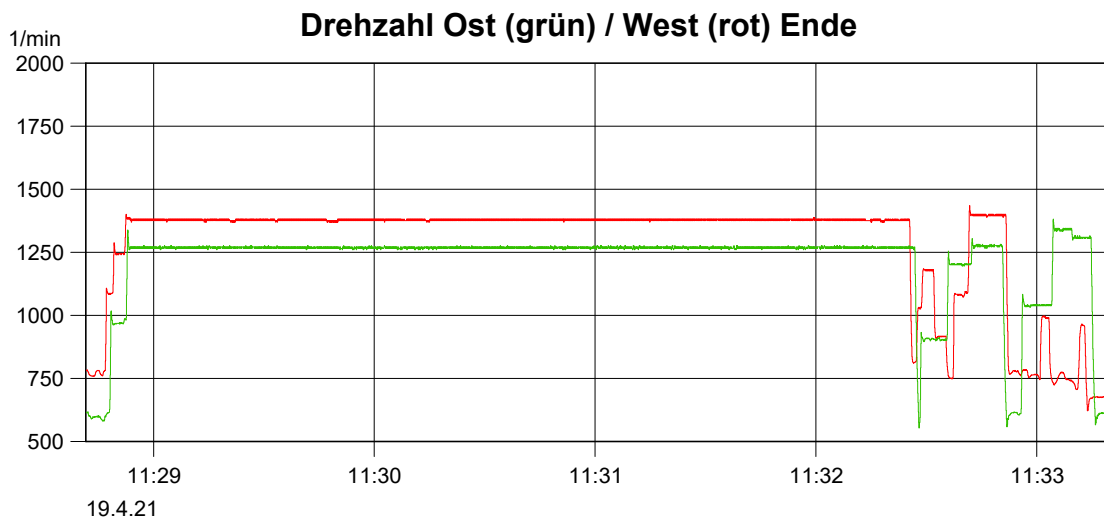
h:m



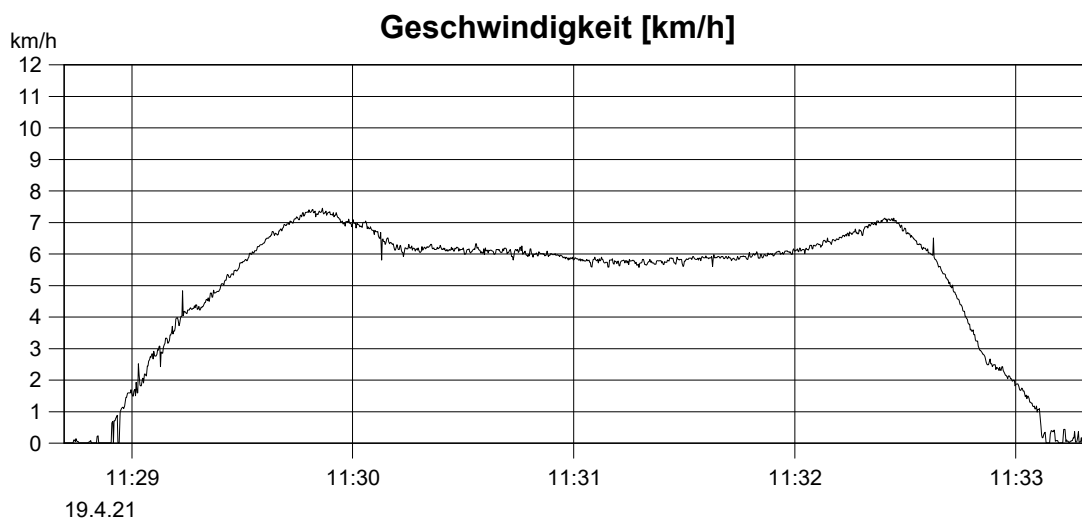
h:m



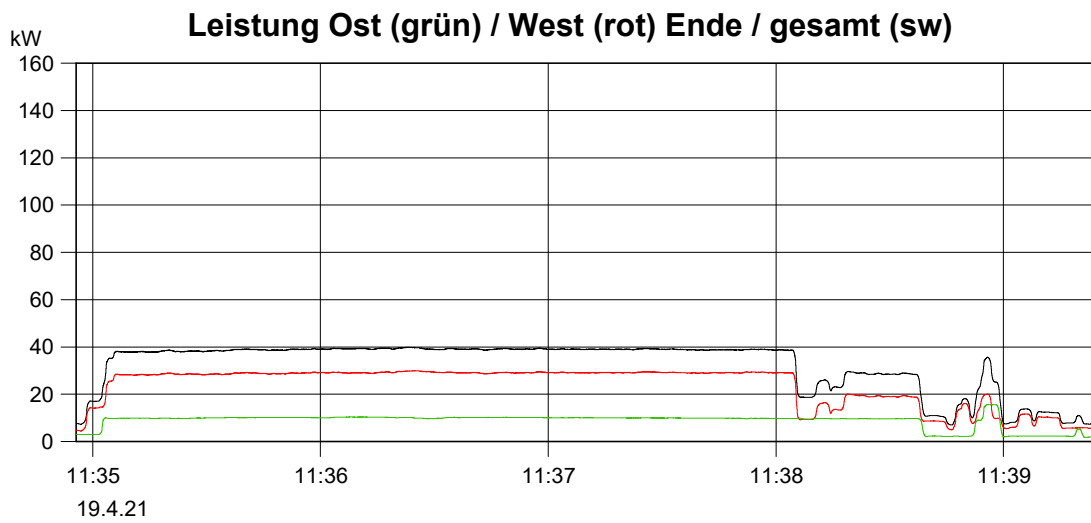
h:m



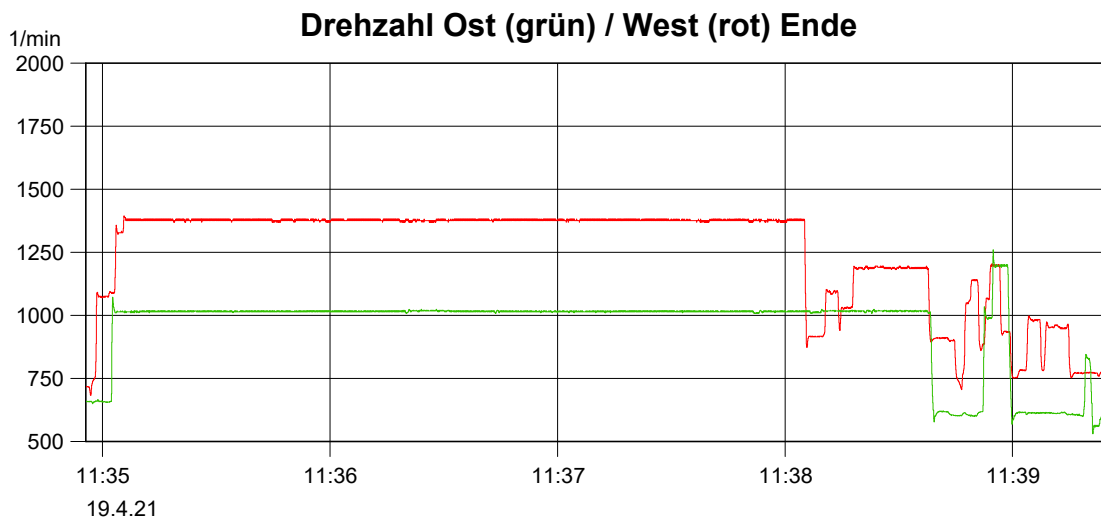
h:m



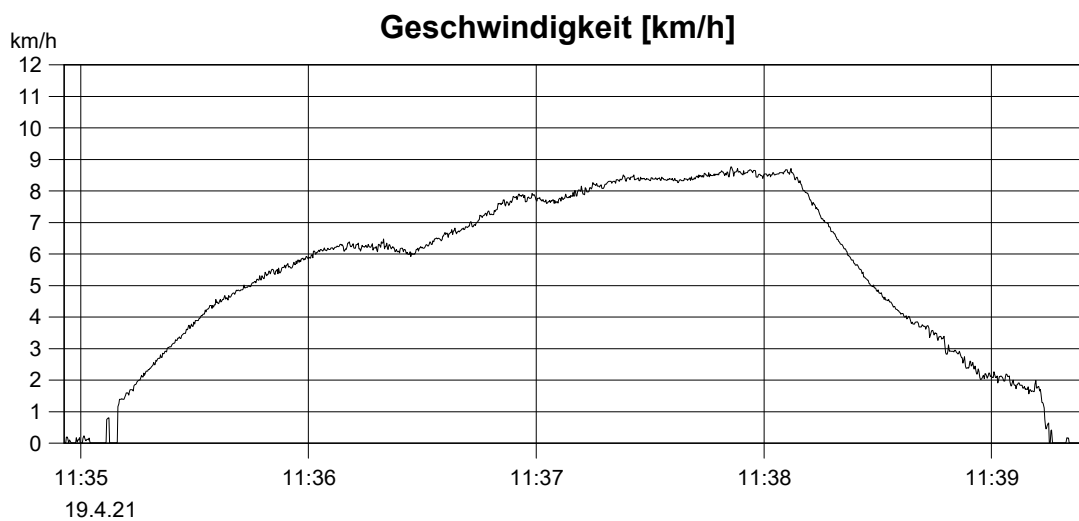
h:m



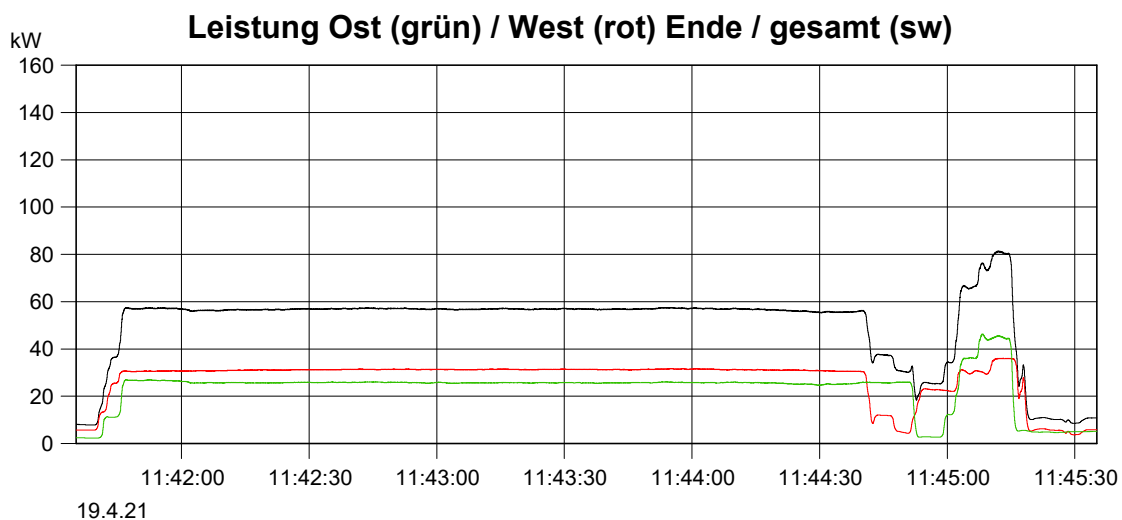
h:m



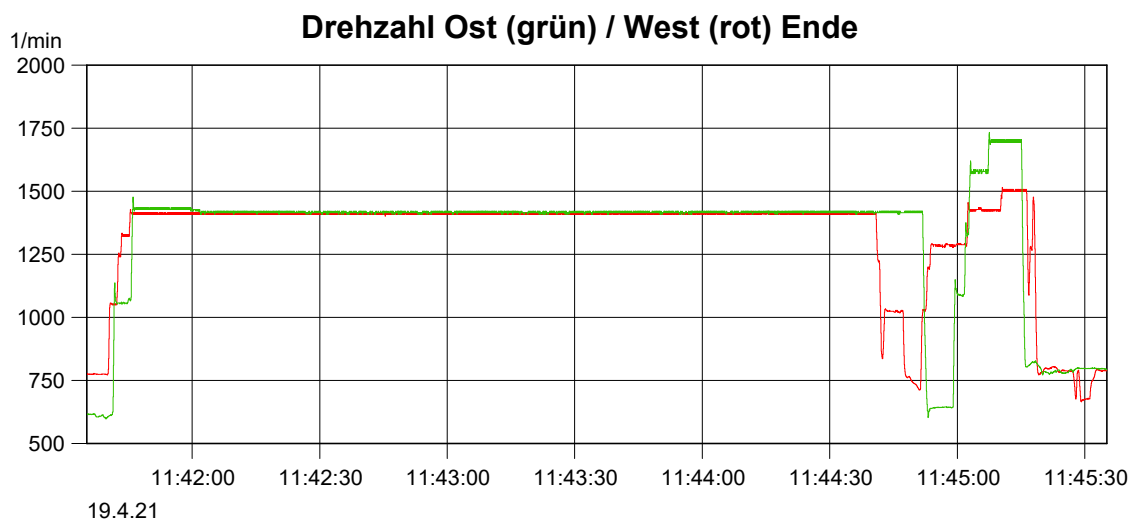
h:m



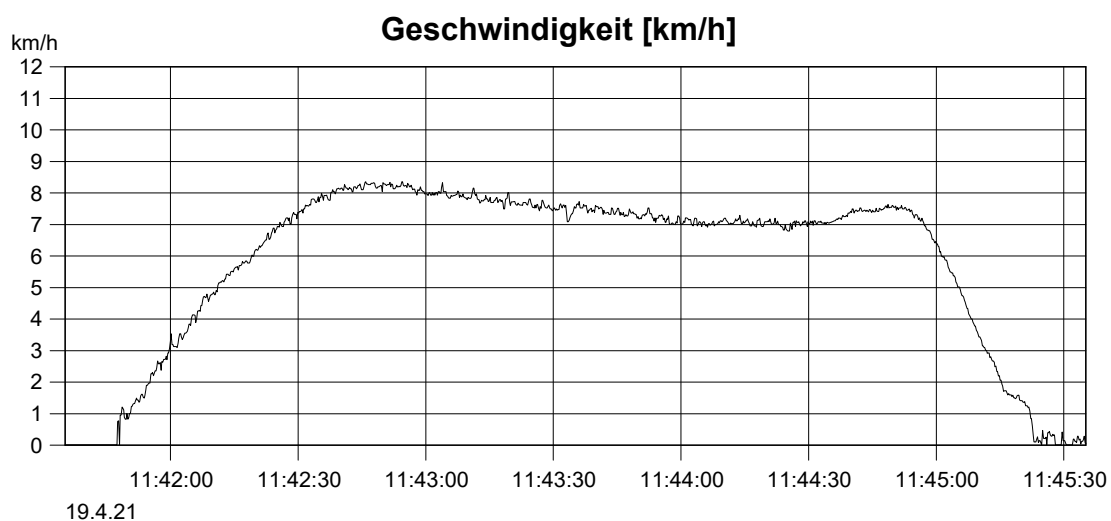
h:m



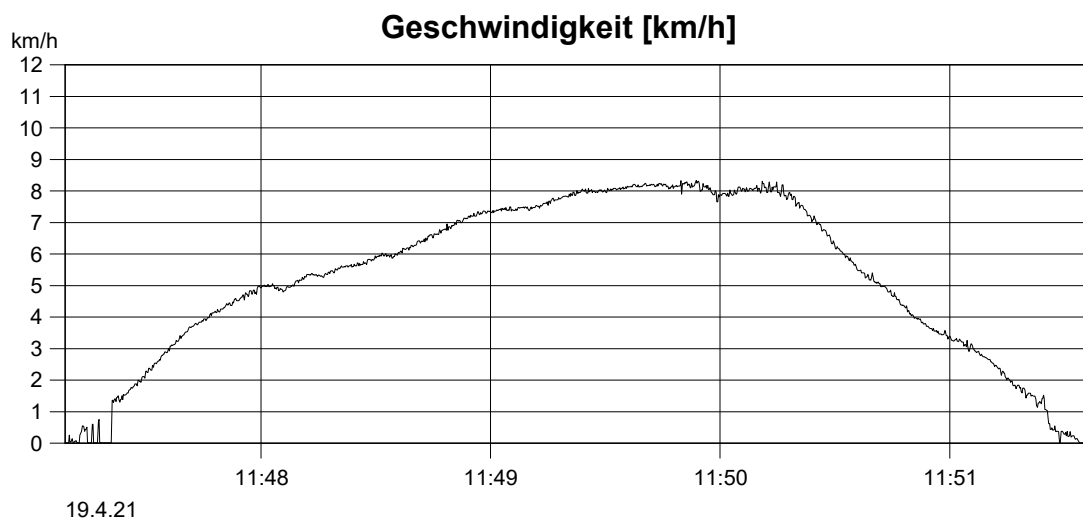
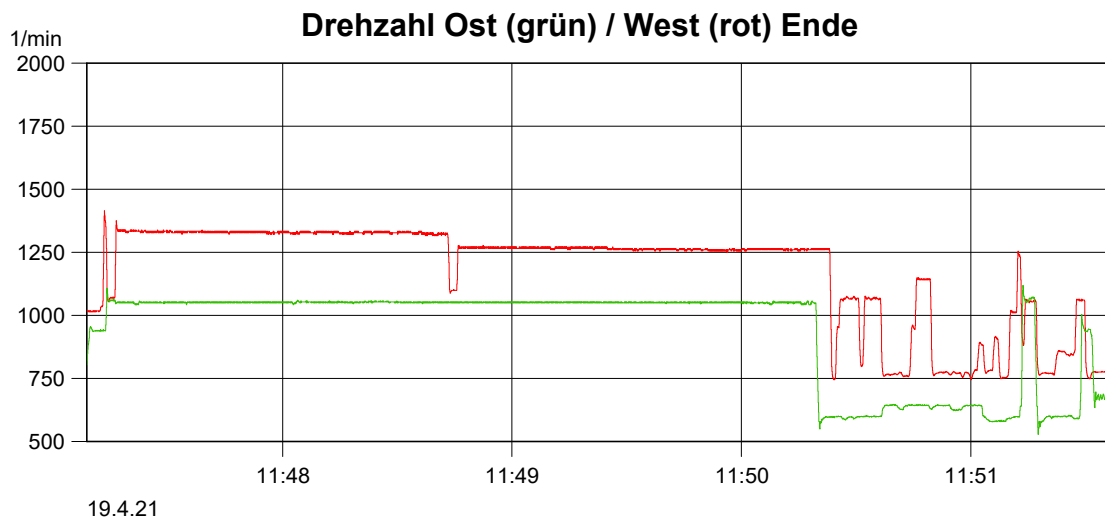
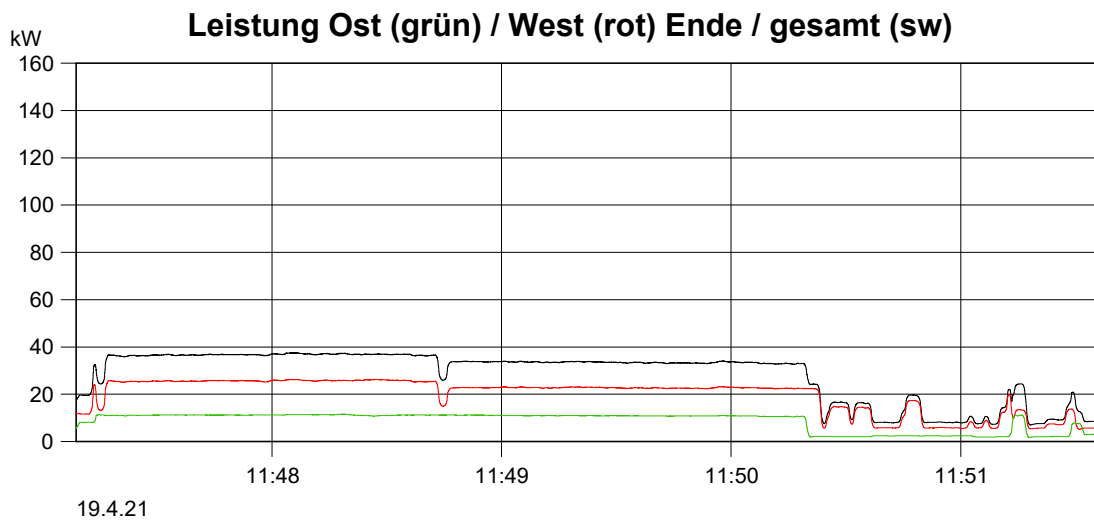
h:m:s

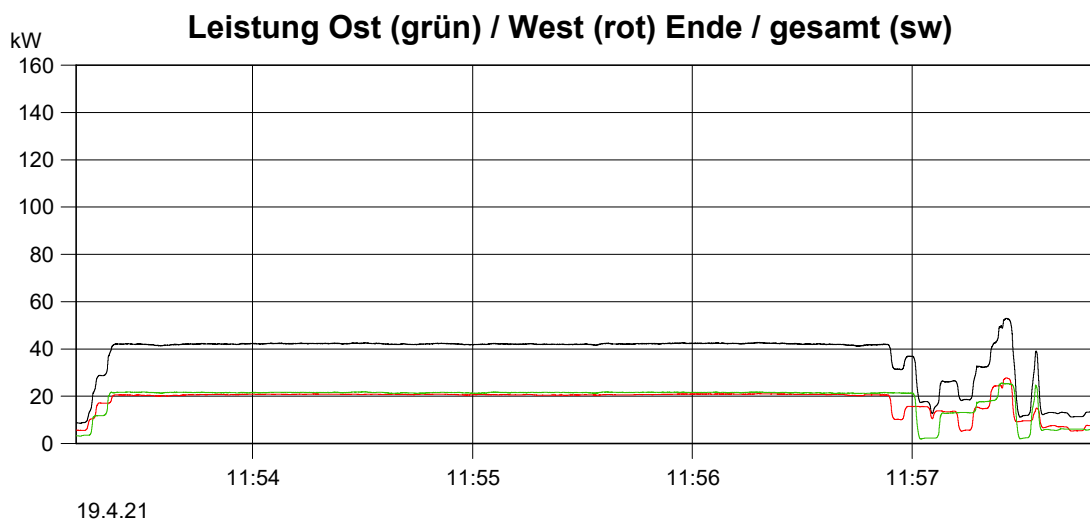


h:m:s

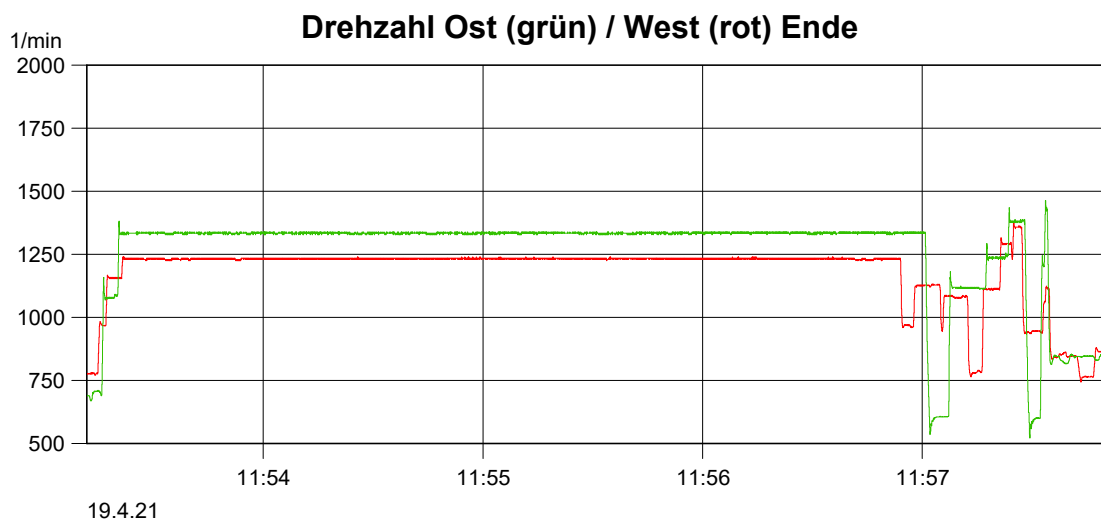


h:m:s

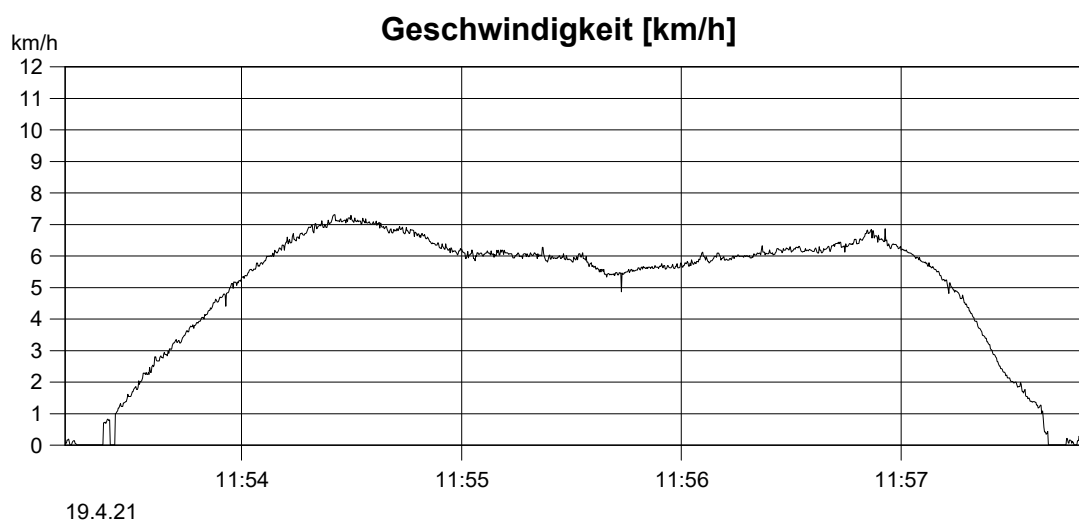




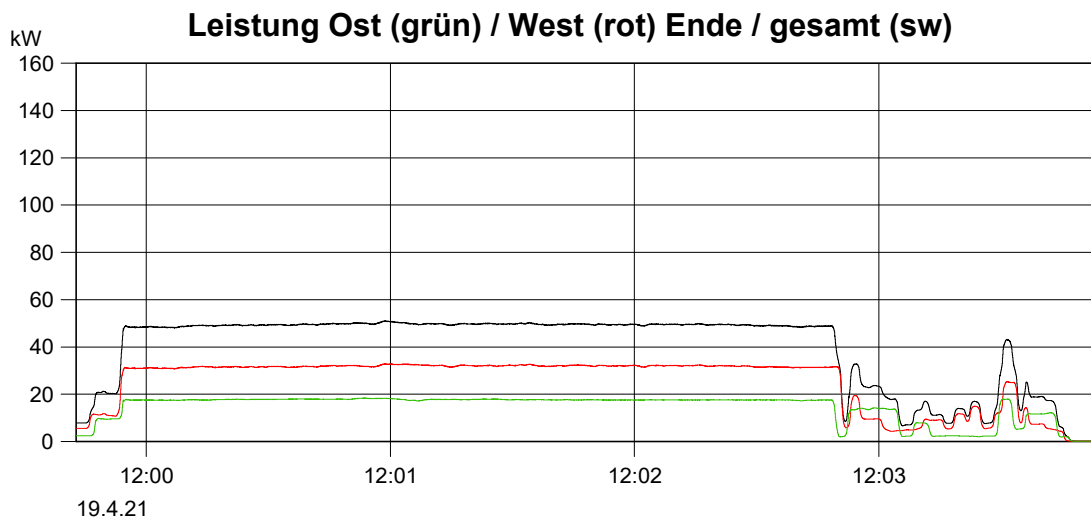
h:m



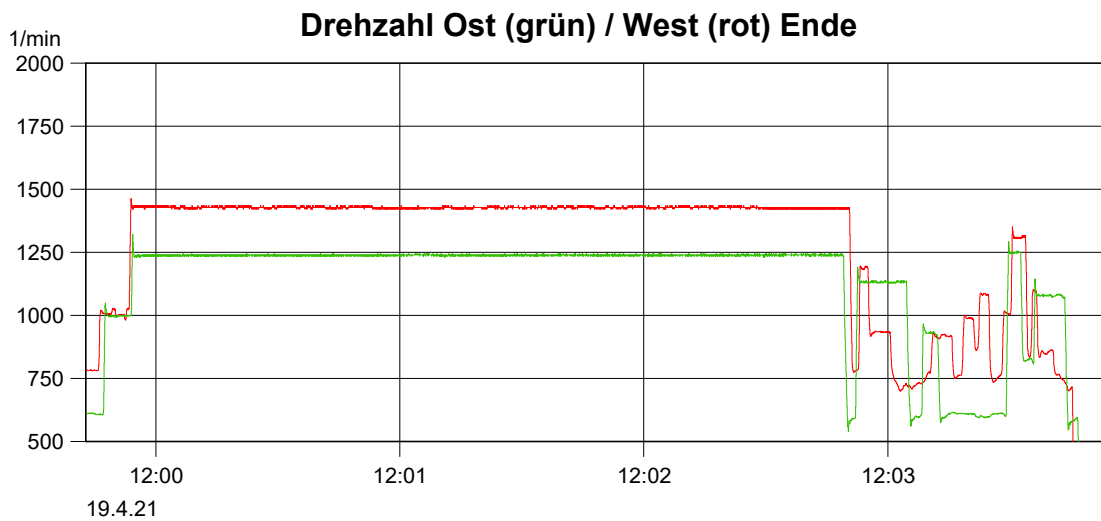
h:m



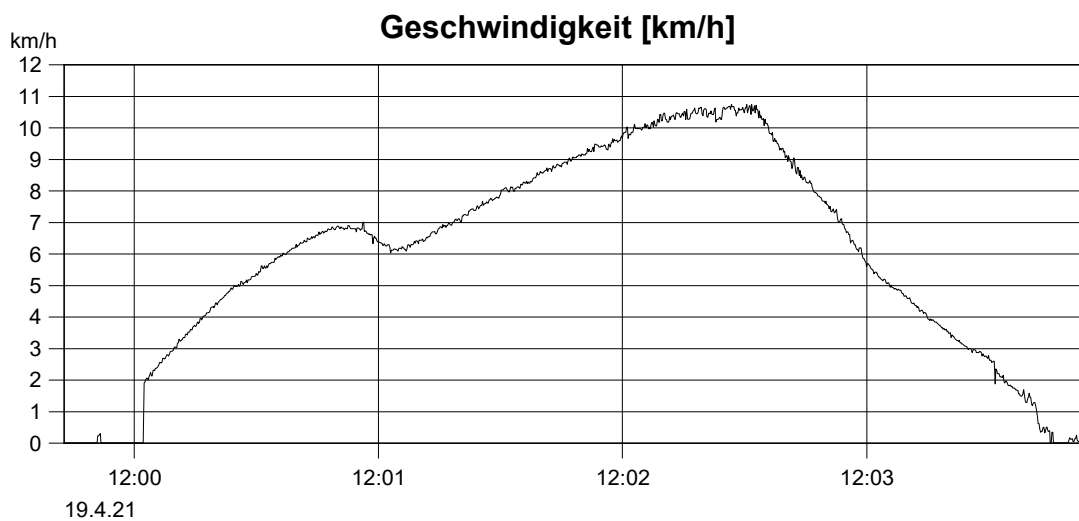
h:m



h:m



h:m



h:m

MODERNISIERUNG FÄHRDIENST BLECKEDE – NEU BLECKEDE

Bericht zur Untersuchung technischer Optionen
für die Zukunft des Fährdienstes

Lüneburg, den 10.05.2021

INHALT

1. IST-ZUSTAND UND ANFORDERUNGEN
2. ERTÜCHTIGUNG DER *AMT NEUHAUS*
3. NEUBAU MIT BATTERIEANTRIEB
4. NEUBAU MIT WASSERSTOFFANTRIEB
5. FÖRDERUNG EINES WASSERSTOFFANTRIEBS
6. NEUBAU MIT METHAN ALS ENERGIEQUELLE
7. NEUBAU MIT DIESELELEKTRISCHEM ANTRIEB
8. DIESELMECHANISCHER ANTRIEB UNTER VERWENDUNG SYNTHETISCH HERGESTELLTER KRAFTSTOFFE
9. NEUBAU MIT HYBRIDANTRIEBSSYSTEM
10. BETRIEB BEI HOCHWASSER
11. KOSTENABSCHÄTZUNG
12. SYSTEMATISCHE BEWERTUNG
13. FAZIT UND EMPFEHLUNG

IST-ZUSTAND UND ANFORDERUNGEN

IST

- Fähre ist in allgemein gutem Gesamtzustand
- Hohe Zuverlässigkeit
- Struktur teilweise überholungsbedürftig
- Technische Ausstattung veraltet
- Nicht regulierte Luftschadstoffemissionen
- Begrenzte Leistungsfähigkeit
- Einfache Instandhaltung
- **Keine genehmigungstechnischen Limitierungen** (Besitzstandsschutz!). Betrieb bis 2049 möglich (Quelle: ZSUK/Mainz)

ANFORDERUNGEN

- Gesteigerte Transportleistungsfähigkeit
- Reduzierung von Luftschadstoffemissionen
- Reduzierung CO₂-Emissionen
- Umgang mit extremen Umweltbedingungen
- Erhöhung der Schiffssicherheit durch Anpassung an aktuelle Vorschriften

ERTÜCHTIGUNG DER *AMT NEUHAUS*

Ertüchtigung durch

- Neumotorisierung und Installation neuer Antriebe
- Installation von Abgasaufbereitungsanlagen
- Umbau der existierenden Räume oder Schaffung neuer Maschinenräume
- Ausstattung der neuen Räume entsprechend technischen Anforderungen und geltenden Regelwerken
- Überholung der elektrischen Anlage
- Überholung der Einrichtung

Hierdurch werden folgende Effekte erzielt

- Erhöhung der Transportleistung durch gesteigerte Antriebsleistung
- Reduzierung der Luftschadstoffemissionen entsprechend aktueller Grenzwerte

Folgende Effekte werden nicht erzielt

- Brennstoffeinsparung und folglich Reduzierung von CO₂-Emissionen
- Marktwertsteigerung der Fähre

NEUBAU MIT BATTERIEANTRIEB

Vorteile des Batterieantriebs

- Hoher Gesamtwirkungsgrad
- Keine Luftschadstoffemissionen
- CO₂-freier Betrieb bei Verwendung von grünem Strom
- Geräuschfreier Antrieb
- Hoher Entwicklungsstand
- Geringer Wartungsaufwand
- Funktionierender Markt
- Geringe Energiedichte → sehr hohes Gewicht
- Einmaliges, nächtliches Laden nicht möglich. → Batterien müssen mehrmals während der Dienstzeit nachgeladen werden → Reduzierung der Transportleistung
- Ggf. lange Ladezeiten. Schnelles Laden geht zu Lasten der Lebensdauer der Batterien
- Aufbau landseitiger Ladeinfrastruktur notwendig
- Hochpreisiger Energiespeicher, allerdings weisen Preiskurven eine fallende Tendenz auf

AUTOMATISIERTES BATTERIELADEN

- Automatisiertes Laden während Liegezeit möglich
- 4-8 Minuten Liegezeit
- Kleiner Batteriespeicher (100kWh)
- Erprobte Systeme marktverfügbar

FerryCHARGER

MF Nobiskrug, Audorf, Hochdonn, Nord-Ostsee-Kanal (NOK)



side-panto	Germany
Vessel	Newbuild Hybrid, 45-ton, 8 cars.
Connection	Schacht – Audorf Rendsburg – Eckernförde Burg – Neuendorf Nord-Ostsee-Kanal
Operator	Wasserstraßen- und Schiffahrtsamt Kiel
Scope	3 Landsides 3 Shipside
Erected	2021
Power	3 x 400 V / AC / 125 A
Tolerance	+/-2° roll, +/-1° pitch/yaw 800 mm contact distance
Notes	Capacity: 8 cars 30 m long Hybrid Drive

NEUBAU MIT WASSERSTOFFANTRIEB

Vorteile des Wasserstoffantriebs

- Unter Verwendung grünen Wasserstoffs klimaneutraler Antrieb
- Geräusch- und emissionsfrei
- Antrieb hat Modellcharakter
- Marktaktivierende Funktion
- Fördermittel verfügbar

Nachteile des Wasserstoffantriebs

- Anspruchsvolle Handhabung
- Mäßiger Gesamtwirkungsgrad
- Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff aktuelle mindestens unsicher → ggf. kein klimaneutraler Betrieb möglich
- Maritime Industrie hat geringe Erfahrung mit relevanten Systemen
- Erhöhtes Projektrisiko: Kosten, Termine, Qualität

FÖRDERUNG EINES WASSERSTOFFANTRIEBS

Über die Förderinstrumente

- Bezuschussung eines Projektes von 40% der förderfähigen (wasserstoffbezogenen) Kosten bis zu 100% der Projektkosten
- Förderung durch Land oder Bund im Zuge der Umsetzung unterschiedlicher Strategien zur Aktivierung wasserstoffgestützter Mobilität
- Abwicklung der Fördermaßnahme durch separate Projektträger wie Projektträger Jülich, Investitions- und Förderbank Niedersachsen, Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
- Förderhöhe: der Kostenschätzung für ein mit Wasserstoff betriebenes Schiff entsprechend ca. 790.000€

NEUBAU MIT METHAN ALS ENERGIEQUELLE

Vorteile des Methanantriebs

- Vergleichsweise saubere Verbrennung und folglich deutliche Reduzierung der Emission von Luftschadstoffen im Vergleich zur Verbrennung von Dieselmotoren ohne Abgasnachbehandlung
- Grundsätzlich erprobte Technik. Know-How in der maritimen Industrie vorhanden
- Bei Verwendung von komprimiertem Methan einfache und platzsparende Systeme. Einfache Bunkerung durch Behältertausch
- Verwendung von biologisch hergestelltem oder (grün) synthetisiertem Methan möglich → CO₂-neutraler Betrieb

Nachteile des Methanantriebs

- Bei Verbrennung in Motoren prozessbedingte Emission von unverbranntem Methan → Methan hat eine stark klimaschädigende Wirkung
- Bei Verwendung von fossilem Methan signifikante Freisetzung von Methan in der Lieferkette (u.a. Fracking!)
- Schlechter Gesamtwirkungsgrad der Antriebsanlage

NEUBAU MIT DIESELELEKTRISCHEM ANTRIEB

- Häufige aber falsche Verknüpfung dieselelektrischer Systeme mit dem Energieeffizienzgedanken
- Dieselelektrische Systeme werden im Bedarfsfall aus technischen und/oder finanziellen Gründen installiert
- Sinnhaftigkeit nur bei großen Bordnetzverbräuchern gegeben
- Schlechter Gesamtwirkungsgrad
- Wirkungsgrad kann durch Einsatz von Gleichspannungssystemen leicht verbessert werden

Fazit: dieselelektrische Antriebssysteme stellen keine realistische technische Option dar

DIESELMECHANISCHER ANTRIEB UNTER VERWENDUNG SYNTHETISCH HERGESTELLTER KRAFTSTOFFE



| 11

Verwendung von Brennstoffen, die mit Hilfe grünen Stroms aus Wasserstoff und Kohlenstoff synthetisiert werden (Power-to-Liquid)

Vorteile synthetisch hergestellter Kraftstoffe

- Einfache Form eines CO₂-neutralen Antriebs unter Verwendung etablierter Technik
- Kein technischer Unterschied zu einer traditionell angetriebenen Fähre → geringe Konstruktions- und Baukosten
- Emission von Luftschadstoffen kann mit Hilfe von Abgasaufbereitungstechnik stark reduziert werden
- Bei Verwendung von grünem Ammoniak

möglich

Nachteile synthetisch hergestellter Kraftstoffe

- Aufgrund des komplexen Herstellungsprozesses und des hohen Energiebedarfs bei ihrer Herstellung sind die Kosten für synthetische Kraftstoffe sehr hoch
- Marktreife (Herstellung zu marktgerechten Kosten) derartiger Kraftstoffe ist erst in einigen Jahren zu erwarten, wenn grüner Überschussstrom standardmäßig zur Wasserstoffproduktion verwendet wird

Als Hybridantriebssystem soll eine Kombination aus batterieelektrischem und dieselelektrischem Antrieb verstanden werden, wobei der batterieelektrische Teil Priorität hat

Vorteile des Hybridantriebssystems

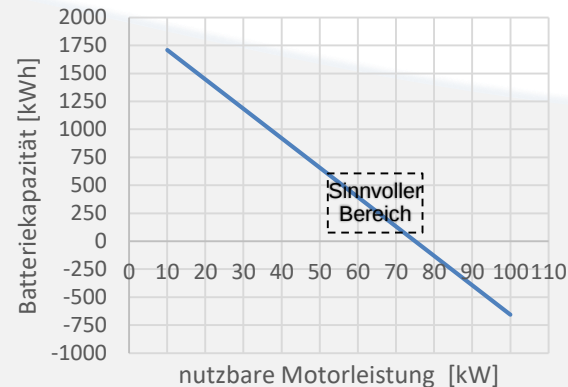
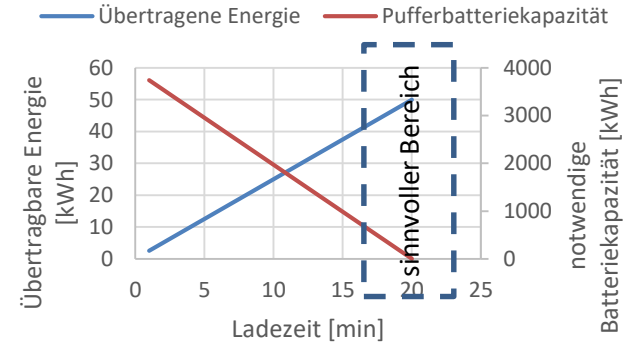
- Hohe Flexibilität in der Auslegung von Batteriekapazität und Motorleistung
- Möglichkeit der Batterieauslegung für geringe Lastanforderung → Leistungseinspeisung durch Verbrennungsmotor im Bedarfsfall (z.B. Starkwind)
- Betrieb des Motors mit grün-synthetischen Kraftstoffen ermöglicht komplett klimaneutralen Schiffsbetrieb

- Möglichkeit des Austausches des Motors gegen Batterien bei technologischer Weiterentwicklung denkbar → Schaffung funktionaler Sicherheit bei Wahrung der Option auf einen rein-batterieelektrischen Antrieb

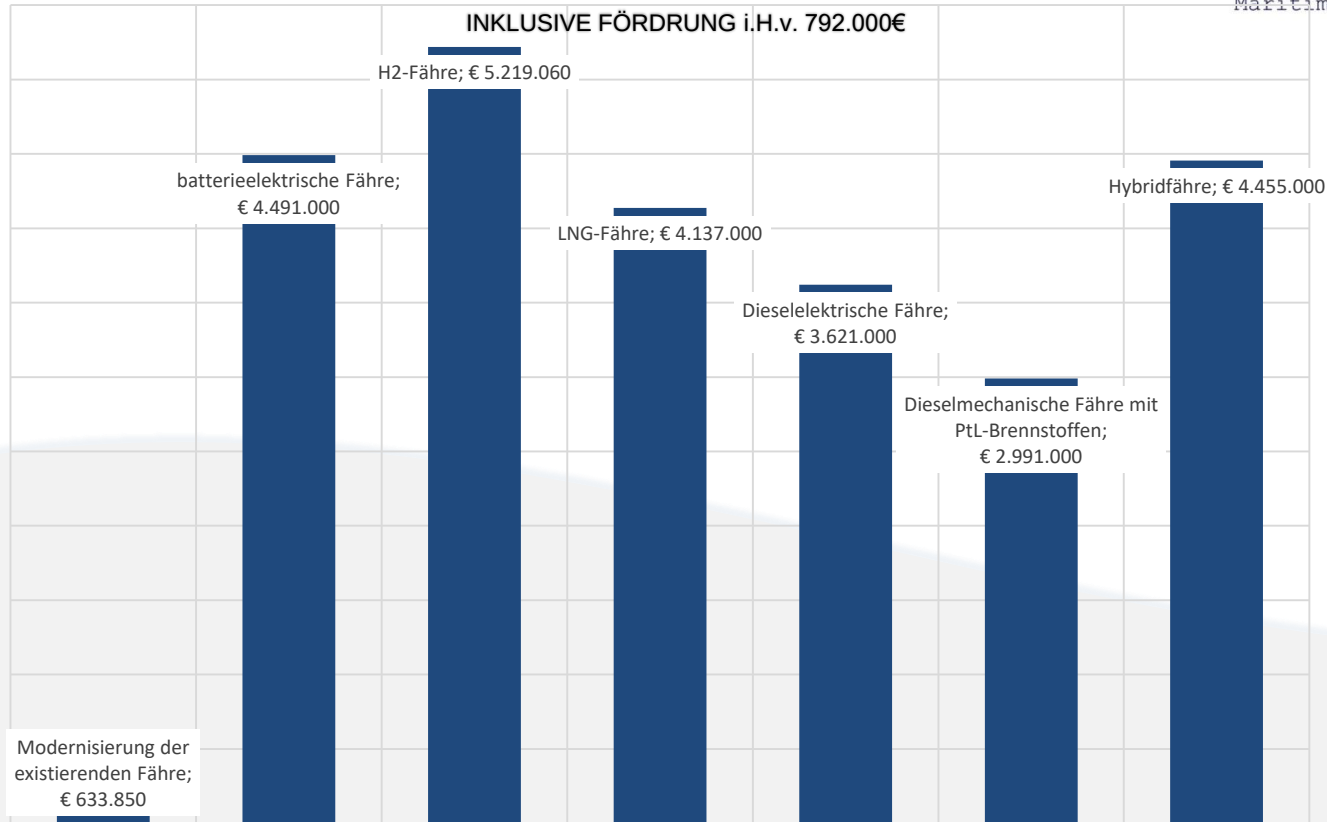
Nachteile des Hybridantriebssystems

- Erhöhte Kosten durch konstruktiven und baulichen Mehraufwand
- Erhöhter Platzbedarf der gesamten Antriebsanlage

- Bei Hochwasserbetrieb um ca. 50% höherer Tagesenergiebedarf
- Flüssige oder gasförmige Brennstoffe → Kompensation des Mehr-Energiebedarfs durch Anpassung der Bunkermenge
- Batterieelektrisches Antriebssystem scheint mit Blick auf notwendige Batteriekapazität nicht realisierbar
- Hybridantriebskonzept ist möglich. Batteriekapazität abhängig von Motorleistung



KOSTENABSCHÄTZUNG



Systematische Bewertung der technischen Optionen unter nachfolgenden Gesichtspunkten

- Klimaneutralität
- Luftschadstoffemissionen
- Luftschallemissionen
- Zuverlässigkeit
- Investitionskosten
- Betriebskosten
- Restlebensdauer
- Projektrisiko

	Kriterium	Gewichtung
1	Klimaneutralität der Energiebereitstellungskette	3
2	Emission von Luftschadstoffen	1
3	Schallemissionen	1
4	Zuverlässigkeit	3
5	Investitionsbedarf	2
6	Restlebensdauer	2
7	Betriebskosten	2
8	Projektrisiko	2

PUNKTEVERGABE

1 schlecht – 5 sehr gut

SYSTEMATISCHE BEWERTUNG

Planfall	Energie- und Antriebskonzept	Klimaneutralität	Gewichtung	Luftschadstoffemissionen	Gewichtung	Luftschallemissionen	Gewichtung	Zuverlässigkeit	Gewichtung	Investitionskosten	Gewichtung	Betriebskosten	Gewichtung	Restlebensdauer	Gewichtung	Projektrisiko	Gewichtung	Bewertung
0	dieselmechanischer Antrieb ohne Abgasaufbereitung	1	3	1	1	1	1	4	3	5	2	3	2	1	1	5	3	49
1	dieselmechanischer Antrieb mit Abgasaufbereitung	1		3		1		4		5		3		2		5		52
2	batterieelektrischer Antrieb	5		5		5		4		2		5		5		1		59
3	wasserstoffbasierter Antrieb	4		5		5		2		1		2		5		1		42
4	gasmechanischer Antrieb	2		3		1		4		2		4		5		4		51
5	dieselelektrischer oder gaselektrischer Antrieb	1		3		2		4		3		3		5		4		49
6	diesel- oder gasmechanischer Antrieb auf Basis PtL/G-Brennstoffen	5		3		1		4		4		1		5		4		58
7	Hybridvariante batterieelektrisch - diesel-/gaselektrisch (PtL/G)	5		4		3		4		2		5		5		4		65

- Umbau des existierenden Schiffes macht nur dann Sinn, wenn das Ziel eine mit Wasserstoff betriebene Fähre ist und die Erreichung eines höheren technischen Reifegrades dieser Technologie abgewartet werden soll.
- In der systematischen Bewertung schneidet die Wasserstoffvariante schlecht ab. Unter alternativen Zielsetzungen kann die Durchführung eines solches Projektes zu rechtfertigen sein.
- Die höchste Punktzahl erhält die Hybridvariante. Sie stellt einen technisch sicheren Kompromiss mit Option auf rein-

batterieelektrischen Antrieb dar.

!

Danke !

Maritime Beratung
Björn Pape
Heideweg 3b
D-21279 Appel

BACKUP

FÖRDERUNG

Name des Förderprogramms	Gegenstand der Förderung	Zuwendungsempfänger	Art und Höhe der Zuwendung	Abwicklung der Fördermaßnahme durch	Kommentar
Förderrichtlinie für Maßnahmen der Marktaktivierung im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie Phase 2 (Marktaktivierung)	Investitionen für Fahrzeuge (Straße, Schiene, Wasser) mit einem Brennstoffzellenantrieb sowie ggf. Investitionen in die für den Betrieb der Fahrzeuge notwendige Betankungsinfrastruktur	juristische Personen des öffentlichen und des Privatrechts	Nicht rückzahlbarer Zuschuss. Maximal 40% des Mehraufwandes, der durch den Einsatz förderfähiger Technologie entsteht.	Projekträger Jülich	
Anschaffung brennstoffzellenbetriebener kommunaler Spezialfahrzeuge	Gesamtausgaben der Beschaffung von brennstoffzellen-elektrisch angetriebenen Spezialfahrzeugen	Niedersächsische Kommunen und deren Unternehmen	Nicht rückzahlbarer Zuschuss. Maximal 50% der Beschaffungskosten oder 350,000€ je Fahrzeug	Investitions- und Förderbank Niedersachsen (NBank)	Anwendbarkeit auf Schiffe nicht gegeben
Interessenbekundungsverfahren: Förderung Wasserstoff-IPCEI (Important Projects of Common European Interest)	Entwicklung und Herstellung leichter und schwerer LKW/Nutzfahrzeuge, Busse, Fracht- und Personenzüge, PKW in Flottenanwendungen, Luft- und Schifffahrt mit Antrieb auf Wasserstoffbasis	In der Bekanntmachung des Interessenbekundungsverfahrens nicht beschrieben. Wahrscheinlich juristische Personen des öffentlichen und des Privatrechts	Nach IPCEI-Mitteilung bis zu 100% der förderfähigen Kosten	In der Bekanntmachung des Interessenbekundungsverfahrens nicht beschrieben	Interessenbekundungsverfahren endete am 19.02.2021
Wasserstoffrichtlinie des Landes Niedersachsen	Pilot- und Demonstrationsvorhaben der Wasserstoffwirtschaft. Innovationsprojekte mit Modellcharakter	Landkreis Lüneburg	Nicht rückzahlbarer Zuschuss. Maximal 40% des Mehraufwandes, der durch den Einsatz förderfähiger Technologie entsteht	Investitions- und Förderbank Niedersachsen (NBank)	Nach mündlicher Auskunft und mit Blick auf die Wasserstoffrichtlinie des Landes Niedersachsen, hält die NBank eine Förderung des Fährneubaus mit wasserstoffbasiertem Antrieb für möglich

ENERGIEKOSTEN

Energieträger	Energiepreis, Bereitstellung Kaikante	Wirkungsgrad des Hauptenergiewandlers	Energiepreis, Bereitstellung Propellerwellenflansch	Jährlicher Bedarf [MWh]	Jährliche Kosten [€]	Quelle/Basis
Dieselmotorkraftstoff (fossil)	13 ct/kWh	35% (Verbrennungsmotor)	37,1 ct/kWh	1.364	50.604	Preis pro Kilogramm Dieselmotorkraftstoff 1,50€. Brennwert 42.700kJ/kg
Methan (fossil)	7 ct/kWh	30% (Verbrennungsmotor)	23,3 ct/kWh	1.592	37.094	Preis pro Kilogramm komprimiertes Erdgas 1,00€. Brennwert 50.000kJ/kg
Elektrischer Strom	39 ct/kWh	96% (Elektromotor)	40,6 ct/kWh	768	31.181	STATISTA, bundesdurchschnittliche Strompreise an PKW-Ladesäulen, Stand 2020
Wasserstoff	28,5 ct/kWh (nicht grün!)	50% (Brennstoffzelle), 96% (Elektromotor) → 48%	59,4ct/kWh	1.088	64.627	Preis pro Kilogramm Wasserstoff an der Tankstelle 9,50€. Brennwert 120.000kJ/kg
PtL-Dieselmotorkraftstoff PtL	30 ct/kWh	35% (Verbrennungsmotor)	85,7 ct/kWh	1.364	116.895	AGORA Verkehrswende: Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe

*Gemeinsames Positionspapier der Stadt Bleckede und des
Amt Neuhaus sowie der Kreistagsabgeordneten
Wilhelm Kastens, Martin Gödecke und Frank Stoll
zur Fortentwicklung des Themas Fähre „Amt Neuhaus“*

Die Fähre ist für die Region des Ostkreises primär ein wichtiges Verkehrsmittel, um die täglichen Pendlerbewegungen über die Elbe sicherzustellen. Darüber hinaus dient die Fähre als innergemeindliche Verbindung der Stadt Bleckede zu dem rechtselbischen Ortsteil Neu Bleckede und ist für Gewerbetreibende und Landwirte eine regelmäßig genutzte Verkehrsform. Die besondere Lage der Stadt Bleckede und der Gemeinde Amt Neuhaus im Biosphärenreservat Niedersächsische Elbtalaue führt dazu, dass die Region für Naherholung und touristische Ausflüge ein beliebter Ausflugsort ist. Hierbei kommt der Fähre sowohl für Radfahrer als auch für Touristen eine besondere Bedeutung zu und ist somit auch aus diesem Grund heraus ein wichtiger Baustein zur touristischen Fortentwicklung unserer Region.

Es ist erfreulich, dass die vorgelegte Untersuchung technischer Optionen als Vorlage zur Entscheidung über die Zukunft des Fährdienstes Bleckede – Neu Bleckede vom 05.05.2021 durch das Büro Maritime Beratung, Björn Pape, faktenbasiert eine Einschätzung zum aktuellen technischen Zustand der Fähre gegeben hat und ferner auch technische Weiterentwicklungsmöglichkeiten hinsichtlich fortschrittlicher Antriebsarten aufzeigt. Dieses Gutachten ist eine wichtige Grundlage, um die bisherige Diskussion zu diesem Thema zu fokussieren und realistische und umsetzbare Möglichkeiten auszuloten – unter der obersten Prämisse, die Fähre als wichtiges Verkehrsmittel in der Region langfristig zu stärken.

Für die anstehenden Diskussionen nehmen die Unterzeichner dieser Unterlage folgende Positionen ein und werben darum, sich dieser Position in breiter Mehrheit anzuschließen:

1. Die heutige Fähre ist in einem leistungstauglichen Zustand und es besteht zur Aufrechterhaltung dieses Verkehrsmittels hinsichtlich der Ertüchtigung aktuell kein Handlungs- und Entscheidungsdruck. Ein weiterer Einsatz dieser Fähre ist für die nächsten Jahre (technisch) sichergestellt.
2. Sollte sich kurzfristig der Bedarf ergeben, die Antriebstechnik umstellen zu müssen oder eine neue Fähre zu beschaffen, wird sich für die Umrüstung auf eine zu dem Zeitpunkt geeignete Lösung z. B. aus Hybridtechnik oder z. B. einer Dieselvariante nach Euro 6-Norm ausgesprochen.

Hierzu zeigt das vorliegende Gutachten, welches bei der Auswahl der Technik herangezogen werden sollte, die richtigen Handlungsansätze auf.

3. Die besondere Lage im Biosphärenreservat als Modellregion für nachhaltige Entwicklung sieht vor, dass innovative und ökologische Techniken insbesondere bei öffentlichen Verkehrsmitteln zum Einsatz kommen sollen. Es muss das langfristige Ziel sein, die Fähre mit einer Antriebstechnik auszustatten z. B. Wasserstoff, der diesem Anspruch und dieser Region und den wichtigen ökologischen Ansätzen und Klimazielen des Landkreises Lüneburg gerecht wird. Da diese Technik jedoch noch Marktreife erlangen muss und insbesondere im Schiffbau noch viele Fragen dazu offen sind (siehe Projektrisiken im Pape-Gutachten) und auch die Umsetzung einen Vorlauf benötigt z. B. um Möglichkeiten zur Förderung einer Umstellung auszuschöpfen oder sich als Modellregion zu bewerben, sollte zunächst der Markt und die Fortentwicklung der Technik durch die Kreisverwaltung beobachtet werden und der Landkreis Lüneburg ganz konkret das Thema Wasserstoffwirtschaft befördern um Netzwerke und Infrastrukturen aufzubauen und Wertschöpfungsketten in diesem Bereich zu etablieren.
4. Die besonderen Anforderungen, die an die Fähre gestellt werden, die sich z. B. aus der Strömungslage ergeben, einen Hochwasserfall oder sonstige Umstände, sind in die Prüfung mit einzubeziehen. Die bisherige Einsatz- und Taktzeit der Fähre muss in diesem Umfang mindestens erhalten bleiben und darf nicht aufgrund innovativer technischer Umrüstung verschlechtert werden. Die Hauptaufgabe muss es sein, einen dauerhaft und standhaften Fährbetrieb übers Jahr zu gewährleisten.

Fazit:

- A. Mittelfristigen Weiterbetrieb der jetzigen Fähre
- B. Bei sich kurzfristig ergebenden Ersatzbedarf: Innovativer Antrieb z. B. Hybridlösung
- C. Eine Fähre mit Perspektive soll eine Wasserstofffähre sein, um auch den weltweiten Klimaverständigungen z. B. aus dem Pariser Abkommen Rechnung zu tragen

Gezeichnet

Für die Stadt Bleckede

Dennis Neumann, Bürgermeister

Für die Gemeinde Amt Neuhaus

Andreas Gehrke, Bürgermeister

Wilhelm Kastens

Kreistagsabgeordneter, Mitglied AG Fähre

Martin Gödecke

Kreistagsabgeordneter, Mitglied AG Fähre

Frank Stoll

Kreistagsabgeordneter, Mitglied AG Fähre



LANDKREIS LÜNEBURG

Protokoll

Sitzung am: 25.05.2021, 13.05-14.34 Uhr, Sitzungssaal
Arbeitsgruppe: Verbesserung Mobilität im Amt Neuhaus
Thema: Zukunftsperspektiven Fähre Amt Neuhaus
Teilnehmer: Herr Vorsitzender Achim Gründel
Herr Martin Gödecke
Herr Wilhelm Kastens
Herr Andreas Köhlbrandt
Herr Christian-Eberhard Niemeyer
Herr Rolf Rehfeldt
Herr Frank Stoll
Herr Berni Wiemann
Herr Landrat Jens Böther
Herr Erster Kreisrat Jürgen Krumböhrer
Herr Fachdienstleister Sebastian Heilmann (Protokoll)
Herr Bürgermeister Andreas Gehrke
Herr Bürgermeister Dennis Neumann
Herr Björn Pape (Gutachter)

Herr Gründel eröffnet die Sitzung um 13:05 Uhr.

Herr Pape trägt vor und fokussiert dabei auf die Zusammenfassung aus dem Gutachten zu den möglichen Antriebsarten (S. 23):

- Wasserstoff: v.a. hohe Kosten, mit hohem Projektrisiko; Stand heute ist eine klassische Ausschreibung nicht ratsam; technische und regulatorische Regelwerke liegen noch nicht vor, es müssten Einzelfallprüfungen durchgeführt werden
- Batterieelektrische Variante kann im Regelbetrieb funktionieren, wenn bei jedem oder jedem zweiten Ladevorgang geladen wird, im Hochwasserfall wäre sie nicht ausreichend. Größere Batterien, die auch weniger Ladevorgänge benötigen würden, würden die Nutzlast der Fähre zu stark einschränken.
- Hybridantrieb elektrisch funktioniert auch heute schon, der Verbrennungsmotor würde nur in der Hochwassersituation einsteigen.

Herr Köhlbrandt stellt fest, dass im Gutachten bei der Bewertung die Herstellung von Batterien nicht unter dem Aspekt der Klimaneutralität berücksichtigt wurde.

Herr Rehfeldt erkundigt sich, ob durch Solarpaneele am Schiffskörper eine Stromversorgung bei Hochwasser sichergestellt werden könne. Herr Pape verneint dies. Durch Solarpaneele kann nur ein geringer Teil des Energiebedarfs der Fähre gedeckt werden.

Herr Pape erläutert, dass mindestens 20.000 Zyklen für eine Batterie möglich sein sollten und dass die Normalladezeit beim Laden während des laufenden Betriebs auf nur einer Elbseite 8 Minuten beträgt. In der Hauptverkehrszeit pendelt die Fähre heute aber in einem kürzeren Intervall mit ca. 2,5 bis 3 Minuten pro Landungsvorgang. Es wird festgehalten, dass dieser Zeitraum auch zukünftig angesetzt werden soll, damit keine zu großen Rückstaus entstehen.

Herr Gödecke meint, dass Wasserstoff für die Seeschifffahrt gerade anfängt interessant zu werden. Aktueller Handlungsbedarf bestehe hinsichtlich der Amt Neuhaus nicht. Ein neuer Euro 6 Diesel-Motor ließe sich einbauen, falls etwas kurzfristig ausfällt. VW habe die Herstellung von Feststoffbatterien angekündigt, was abgewartet werden könne.

Herr Pape betont, dass Schiffskörper und Antriebskonzept aufeinander abgestimmt sein müssen.

Herr Köhlbrandt betont, dass die Wasserstoffregion weiter forciert werden sollte.

Herr Neumann stellt das Positionspapier von Amt Neuhaus, Stadt Bleckede und einiger KTA vor (siehe Anhang) und verweist auf die dortige Positionierung

Herr Krumböhrer stellt dar, dass es in der Batterietechnik noch einiges an Innovationspotential gibt, u.a. z.B. ist es die Feststoffbatterie von VW, wobei es bis zur Marktreife durchaus noch einige Jahre dauern könne; selbiges gelte für die Wasserstofftechnik. Eine strategische Aussage seitens der Arbeitsgruppe zur bevorzugten Antriebsart wäre wünschenswert, um das Projekt voranzutreiben. Momentan liefen Gespräche mit E.ON Avacon; Hafen Lüneburg/Elektra; OHE/Schiene. Im Falle einer Entscheidung für einen Wasserstoffantrieb käme die seltene Vergabeart der „Innovationspartnerschaft“ in Frage. Dies sei aufwändig und würde länger dauern. Auf der anderen Seite ist die Amt Neuhaus betriebsbereit.

Herr Rehfeldt stellt fest, dass die Debatte zum Thema schon zu lange dauert; 80% aller Batterien sind recyclingfähig. Die Wasserstofftechnik käme nicht in Betracht, weil sie nur einen geringen Wirkungsgrad aufweise.

Herr Krumböhrer entgegnet, dass der geringere technische Wirkungsgrad der Wasserstoffantriebe bekannt sei. In der aktuellen Diskussion ginge es aber um eine volks- und betriebswirtschaftliche Gesamtbetrachtung, die durchaus attraktive ökonomische Wirkungsgrade verspricht, wenn Energiequellen genutzt werden, die ansonsten verloren gehen würden wie z.B. überschüssige Windenergie oder anderweitig ohnehin vorhandene Wasserstoffträger.

Herr Niemeyer schlägt vor in einem Jahr eine Ausschreibung zu machen.

Herr Kastens findet, dass ein kurzfristiger Betrieb der Amt Neuhaus sichergestellt sei und aktuell sowohl Batterie-, als auch Wasserstoffantriebe noch nicht reif seien. Ihre Entwicklungen sollen aber weiter beobachtet werden.

Herr Gehrke macht deutlich, dass örtliche Rahmenbedingungen zu beachten seien. Für eine Ausschreibung müssten 1-2 Jahre zugrunde zu legen sein. Sind. Kurze Stillstandzeiten für evtl. Ladevorgänge sowie gute Ladebedingungen seien wichtig.

Herr Rehfeldt betont, soweit die Nutzung von Wasserstoff in Rede stehe, müsse es grüner Wasserstoff sein.

Herr Krumböhrer stimmt dem zu. Es brauche vor Ort Marktanreize, damit die Produktion von grünem Wasserstoff überhaupt weiter in Gange kommt. Der Landkreis könne hierfür als Abnehmer einen Beitrag leisten.

Herr Gründel schlägt vor, dass die Verwaltung weiter den Markt beobachten möge.

Herr Böther fasst zusammen:

1. Das Gutachten belegt, dass die aktuelle Fähre noch gut fährt und auch in den nächsten Jahren ihren Dienst tun kann. Deshalb sei ausreichend Zeit vorhanden, um
2. unmittelbar in die Gestaltung einer Fähre mit dem innovativen Antriebskonzept Wasserstoff einzusteigen und eine „Innovationspartnerschaft“ anstreben, mit der auch Fördermittel beschafft werden würden, und somit
3. heute den klaren Weg einzuschlagen, dass wir in die Planung einer Wasserstofffähre einsteigen.

Herr Gründel schlägt vor, dass die AG jetzt in dieser Richtung eine Empfehlung abgibt, damit die Verwaltung klarer planen kann.

Herr Wiemann schlägt vor die Arbeitsgruppe Fähre nicht weiterzuführen und die Diskussion stattdessen in den Mobilitätsausschuss zu verlagern.

Herr Gödecke verlässt Sitzung um 14.12 Uhr.

Zusammenfassung und Empfehlung:

- **Aktuell fährt die Fähre weiter, da sie sich technisch in gutem Zustand befindet. Das ist auch für die nächsten Jahre zu erwarten.**
- **Die Stromerzeugung für den Elektromotor der neuen Fähre soll auf Wasserstoffbasis stattfinden.**
- **Um dies zu ermöglichen soll eine Ausschreibung mittels einer „Innovationspartnerschaft“ angegangen werden.**

Diese Stellungnahme wird einstimmig bei einer Enthaltung (Herr Rehfeldt) für die weiteren Gremien empfohlen, wobei die Entscheidung direkt durch den KA/KT gefällt werden soll, da der Mobilitätsausschuss bereits beteiligt war.

Ein Plädoyer für Erhalt der Arbeitsgruppe wird abgegeben durch die Herren Neumann, Kastens und Köhlbrandt. Auch von der Verwaltung wird sich für den Erhalt der AG ausgesprochen.

Die nächste inhaltliche Befassung mit dem Thema Fähre („Innovationspartnerschaft“) wird dann im Mobilitätsausschuss stattfinden; das jetzige Ergebnis muss dem Mobilitätsausschuss dennoch mitgeteilt werden.

Ein nächster Termin soll bei Bedarf stattfinden.

Herr Gründel schließt die Sitzung um 14:34 Uhr.

gez. Heilmann