

Schlussfassung

**Kurzstudie
„Energieberatung in der deutschen
Binnenschifffahrt“**

Aktenzeichen Vergabe: Z 30/SeV/288.3/1464/WS21

November 2015

Auftraggeber

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Postfach 20 01 00, 53170 Bonn

Referat WS 21 „Nationale See- und Binnenschifffahrtspolitik, Hafenwirtschaft“

Auftragnehmer

DNV GL SE, Brooktorkai 18, 20457 Hamburg

DNV GL – Maritime, Maritime Advisory, Shipping Advisory Germany

Kontakt: Merten Stein, Head of Department, Shipping Advisory Germany

merten.stein@dnvgl.com

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG.....	3
1.1	Ausgangslage	3
1.2	Gegenstand und Herangehensweise	3
2	BEDARFSERMITTLUNG FÜR ENERGIEBERATUNG IN DER BINNENSCHIFFFAHRT	5
2.1	Energieeffizienz in der deutschen Binnenschifffahrt: Einschätzung der gegenwärtigen Lage	5
2.1.1	Unternehmensstruktur und wirtschaftliche Lage in der Binnenschifffahrt	5
2.1.2	Relevanz des Themenbereichs „Bunkerverbrauch/Energieeffizienz (EE)“	6
2.1.3	EE-Strategie und Einsparziele	7
2.1.4	Abbildung von EE in der Aufbau- und Ablauforganisation	7
2.1.5	Überwachung und Berichtswesen von EE-Kennzahlen	8
2.1.6	Umsetzung von EE und kontinuierlicher Verbesserungsprozess	9
2.2	Bedarf an Energieberatung	10
2.3	Ansatzpunkte für erfolgreiche Energieberatung	11
3	BESCHREIBUNG RELEVANTER ENERGIEEINSPARMAßNAHMEN IN DER BINNENSCHIFFFAHRT	14
3.1	Vorgehensweise	14
3.2	Annahmen und Einschränkungen	15
3.3	Langliste der Energieeinsparmaßnahmen	16
3.4	Kurzliste der Energieeinsparmaßnahmen	18
3.4.1	Energiebewusstes Fahren: Aus- und Weiterbildung der Schiffsführer	18
3.4.2	Optimierung der Strömung im Propulsionsbereich	20
3.4.3	Rumpf- bzw. Linienoptimierung mittels CFD	22
3.4.4	Alternative Antriebskonzepte	25
3.4.5	Optimierung der Koppelstelle im Schubbetrieb	28
3.4.6	Kurzfristig zu Einsparerefolgen führende Maßnahmen („Quick Wins“)	29
4	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	30

1 EINLEITUNG

1.1 Ausgangslage

Die Bundesregierung ist an einer nachhaltigen Entwicklung des deutschen Transportsystems interessiert. Ebenso wie andere Bereiche muss auch der Verkehrssektor insgesamt seinen Beitrag zu den Energie- und Klimaschutzzielen leisten. Im Rahmen der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie hat sich die Bundesregierung u.a. zum Ziel gesetzt, den Endenergieverbrauch des Verkehrssektors zu reduzieren.

Das Binnenschiff hat einen relativ geringen Energieverbrauch im Vergleich zu den anderen Verkehrsträgern, jedoch ist eine weitere Verbesserung des Energieverbrauchs der Binnenschifffahrt insbesondere aus ökologischen Gründen grundsätzlich erforderlich und möglich.

Durch eine qualifizierte und unabhängige Energieberatung können Informationsdefizite abgebaut, Energiesparpotenziale aufgezeigt und entsprechende Lösungen technischer und betrieblicher Art vorgeschlagen werden. Die Energieberatung soll dabei wirtschaftlich sinnvolle Energieeinsparpotenziale auf dem Binnenschiff als auch beim Nutzerverhalten aufzeigen.

Die Energieberatung ist ein systematisches Verfahren zur Erlangung ausreichender Informationen über das bestehende Energieverbrauchsprofil eines Binnenschiffes zur Ermittlung und Quantifizierung der Möglichkeiten für wirtschaftliche Energieeinsparungen und Erfassung der Ergebnisse in einem Bericht.

Um Energieberatung auf Binnenschiffen mit nachvollziehbaren Ergebnissen durchführen zu können, muss zunächst eine speziell angepasste Methode der Informations- und Datenerhebung entwickelt und beschrieben werden, die es ermöglicht zu einer fundierten Beurteilung des Energieminderungspotenzials zu gelangen¹.

Es wurde festgestellt, dass die Nutzung des existierenden Förderprogramms „Energieberatung im Mittelstand“ des BAFA/ BMWI aus der Binnenschifffahrt heraus hinter den Erwartungen zurückliegt.²

In einem ersten Schritt sind der Bedarf für Energieberatung in der deutschen Binnenschifffahrt festzustellen sowie die wichtigsten Maßnahmen zur Erreichung von Verbrauchssenkungen (Energieeinsparmaßnahmen, im Folgenden EE-Maßnahmen) in der deutschen Binnenschifffahrt unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu identifizieren. Diese beiden Aspekte sind Gegenstand dieser Studie.

1.2 Gegenstand und Herangehensweise

Gegenstand der Studie „Energieberatung in der deutschen Binnenschifffahrt“ ist somit zum einen eine grobe Bedarfseinschätzung für Energieberatung, zum anderen die Ermittlung und Darstellung der wirtschaftlichsten EE-Maßnahmen in der deutschen Binnenschifffahrt.

Zur Abschätzung des Bedarfs an Energieberatung in Kapitel 2 wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber ein Fragenkatalog erstellt. Danach wurden Interviewpartner festgelegt und 6 Interviews durchgeführt.

¹ Quelle: Leistungsbeschreibung Vergabe Z 30/SeV/288.3/1464/WS21

² Quelle: BMVI Referat WS 21



Seite 4 von 32

Die Ermittlung und Darstellung der wirtschaftlichsten EE-Maßnahmen in Kapitel 3 erfolgt durch Aufstellung einer Langliste möglicher EE-Maßnahmen, aus der in einem zweiten Schritt die Kurzliste der 5 wirtschaftlichsten Maßnahmen abgeleitet wird. Die Ableitung erfolgt durch Abschätzung von Kosten (Aufwand) und Nutzen und der daraus resultierenden Amortisationszeit. Die in der Kurzliste enthaltenen Maßnahmen werden ausführlicher beschrieben. In der Beschreibung sind auch mögliche Beschränkungen bei der Umsetzung, bzw. Relevanz für verschiedene Schiffssegmente enthalten. Alle Abschätzungen basieren auf den im Rahmen dieser Studie geführten Interviews, Erfahrungen von DNV GL sowie auf Ergebnissen bereits durchgeführter Optimierungs- bzw. Forschungsprojekte.

In Kapitel 4 werden die Ergebnisse von Bedarfseinschätzung und wirtschaftlichster EE-Maßnahmen in den Kontext der Ausgangslage gesetzt und ein Ausblick auf die Hebung von Verbrauchssenkungspotenzialen in der deutschen Binnenschifffahrt gegeben.

2 BEDARFSERMITTLUNG FÜR ENERGIEBERATUNG IN DER BINNENSCHIFFFAHRT

Im Rahmen der Studie wurden Interviews mit ausgewählten Unternehmen der deutschen Binnenschifffahrt geführt (siehe Abbildung 1). Die Interviewpartner decken die Segmente Frachtschifffahrt (mit den Subsegmenten Container, Trockengüter, Schwergut, Tank, Gas, Bunker) und Fahrgastschifffahrt/Flusskreuzfahrten ab. Die in den Interviews gewonnenen Erkenntnisse sind relevant, auch wenn die Anzahl der Interviewpartner keine repräsentativen, sondern lediglich indikative Aussagen zulässt.

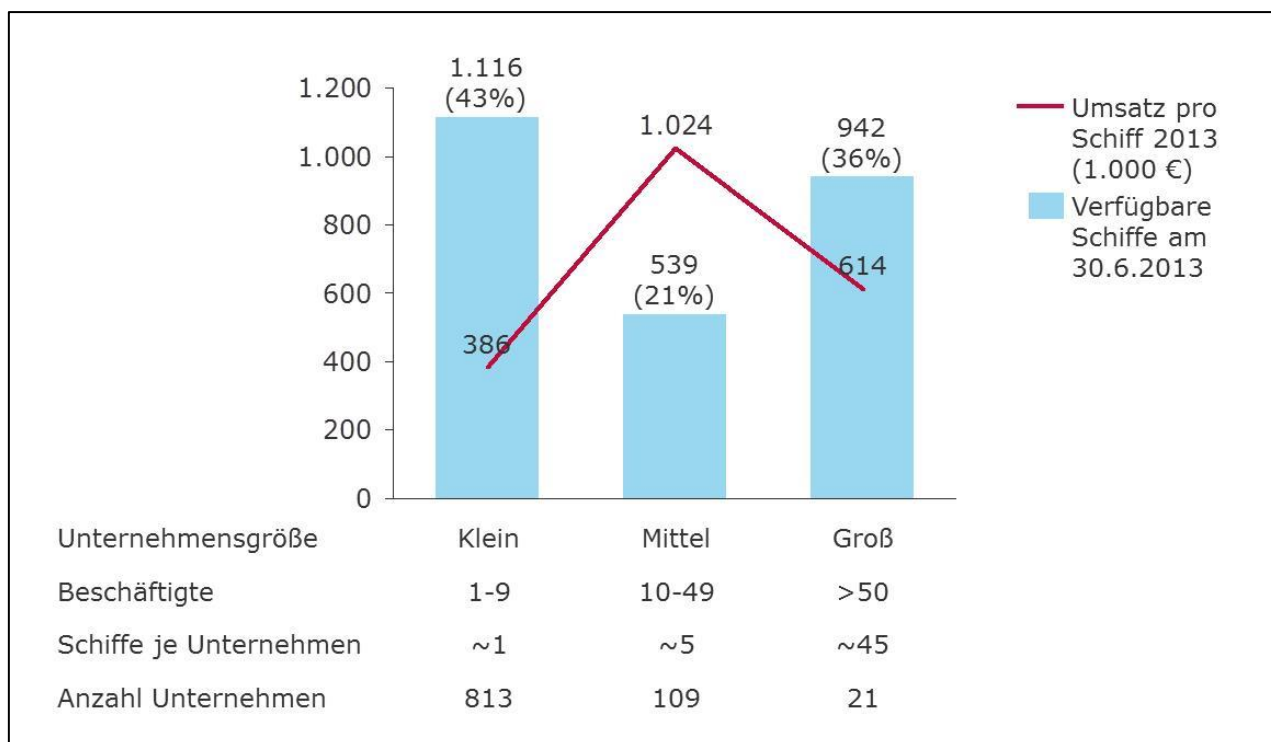
Unternehmen	# Schiffe einschl. eingecharterte	Größe bzgl. Segment	Segment	Position Interviewpartner
Binnenschiffsreederei 1	400	Groß	Container, Trockengüter, Schwergut, Bunker	Mitglied der Geschäftsführung
Binnenschiffsreederei 2	600	Groß	Container, Trockengüter, Schwergut, Tank, Gas	Leiter der Schiffstechnischen Abteilung
Binnenschiffsreederei 3	70	Mittel	Container, Trockengüter, Schwergut	Prokurist Werftbetrieb
Flusskreuzfahrtreederei	11	Mittel	Fahrgastkabinenschiffe	Direktor Strategische Entwicklung
Partikulier	1	Klein	Trockengüter, Schwergut	Eigner
Werft	-	-	Fokus Binnenschifffahrt: Fahrgastkabinenschiffe	Projektierung / Konstruktion

Abbildung 1: Interviewpartner

2.1 Energieeffizienz in der deutschen Binnenschifffahrt: Einschätzung der gegenwärtigen Lage

2.1.1 Unternehmensstruktur und wirtschaftliche Lage in der Binnenschifffahrt

Die deutsche Binnenschiffsflotte ist bekanntermaßen von einer Vielzahl kleiner Unternehmen mit einem oder wenigen Schiffen geprägt (siehe Abbildung 2). Den zahlenmäßig zweitgrößten Anteil an der Flotte halten wenige Großunternehmen, die nur zu einem Teil eigene Schiffe betreiben und ihren Betrieb wesentlich auf Partikuliere stützen. Umsätze je Schiff sind im Segment der kleinen Unternehmen am niedrigsten, was einerseits durch geringere Schiffsgrößen und umsatzärmere Segmente (eher Güter als Gas) begründbar scheint, andererseits die schwache Einnahmeposition kleiner Unternehmen widerspiegeln dürfte. In den Interviews wurde bestätigt, dass die starke wirtschaftliche Abhängigkeit der Partikuliere von ihrem Schiff und ihre oftmals wirtschaftlich angespannte Lage sich negativ auf ihr Investitionsvermögen und somit den Handlungsspielraum hinsichtlich kostenintensiver EE-Maßnahmen auswirken.

Abbildung 2: Unternehmensstruktur Binnenschifffahrt 2013³

2.1.2 Relevanz des Themenbereichs „Bunkerverbrauch/Energieeffizienz (EE)“

Aufgrund des hohen Bunkeranteils an den Gesamtbetriebskosten eines Binnenschiffs hat der Themenbereich „Energieeffizienz“ bekanntermaßen einen generell hohen Stellenwert in der Binnenschifffahrt. Energieeffizienz ist ein Maß für den Energieaufwand zur Erreichung eines festgelegten Nutzens. Im Fall der Binnenschifffahrt ist der Nutzen die Bewältigung einer bestimmten Transportleistung. Unter hoher Energieeffizienz ist hier somit die Ausführung einer definierten Transportleistung mit minimalem Treibstoffverbrauch zu verstehen.

Der hohe Stellenwert der Energieeffizienz konnte in den Interviews bestätigt werden. Niedrigere Bunkerkosten führen zu einer besseren finanziellen Ergebnissituation und einer besseren Positionierung/ Auftragslage der Unternehmen im Markt. Einsparungen an CO₂ stehen zunächst nicht im Vordergrund, sondern sind eher ein positiver Mitnahmeeffekt, der insbesondere bei größeren Unternehmen auch aktiv vermarktet wird. Teilweise ist Umweltfreundlichkeit bereits ein Entscheidungskriterium einiger Verloader bei der Vergabe, allerdings sind diese in der Regel nicht zur Zahlung von Preisaufschlägen für Umweltfreundlichkeit bereit.

³ Quelle: Analyse DNV GL auf Basis Daten von Destatis, Güterverkehrsstatistik der Binnenschifffahrt, Fachserie 8 Reihe 4, 2014

Der Anteil der Treibstoffkosten an den Gesamtbetriebskosten⁴ eines deutschen Binnenschiffs stellt sich zu derzeitigen Ölpreisen (Stand September 2015) ungefähr mit +/-10%iger Genauigkeit wie folgt dar⁵:

Gütermotorschiffe / Tankmotorschiffe:	30%
Schubboote:	35%
Fahrgastschiffe:	15%

2.1.3 EE-Strategie und Einsparziele

Das Vorhandensein einer EE-Strategie sowie konkreter und ambitionierter Bunker-Einsparziele ist zur Erreichung wesentlicher Verbrauchssenkungen in größeren Unternehmen generell hilfreich, da sie die Kommunikation bzgl. der Relevanz von Bunkerverbräuchen erleichtern und helfen, wesentliche Bereiche wie Geschäftsführung, Technische Abteilung, Betrieb, Chartering und Schiffsführer auf ein gemeinsames Einsparziel zu fokussieren. Das Aufstellen von Einsparzielen und die Messung der Zielerreichung helfen bei der Beurteilung von EE-Maßnahmen und dem aktiven Management von Einsparungen. Aus den Interviews haben sich nur wenige Hinweise auf die Existenz einer EE-Strategie und/oder konkreten Einsparzielen ergeben. Der Nachweis von realen Verbrauchssenkungen bzw. ihre Zuordnung zu einzelnen verbrauchssenkenden Maßnahmen ist häufig nicht einfach (siehe Abschnitt 2.1.5). Dementsprechend sind Anpassungen der Bunkermengen infolge zu erwartender Verbrauchssenkungen bei der Budgeterstellung häufig noch nicht die Regel.

2.1.4 Abbildung von EE in der Aufbau- und Ablauforganisation

In größeren Unternehmen wird die Umsetzung von EE-Maßnahmen durch das Vorhandensein einer klaren Verantwortung für Energieeffizienz in der Organisationsstruktur und eindeutige Regeln, Prozesse, Entscheidungswege etc. erleichtert bzw. erst ermöglicht. Dieses Verständnis scheint in den befragten Unternehmen geteilt zu werden, wenn auch eine klare Benennung eines verantwortlichen „Energiemanagers“ die Ausnahme war.

Wichtige Voraussetzungen für wesentliche Bunkereinsparungen sind ausreichende Kenntnisse und Fähigkeiten unter den Schiffsführern sowie eine stärkere Sensibilisierung für das Thema „Verbrauch“. Kenntnisse und Fähigkeiten in Bezug auf Verbrauch sind dabei keine neuen Themen - allerdings stellt die Bewertung neuer Entwicklungen zur Verbrauchssenkung (z.B. Additive, KWE-Anlage⁶) hinsichtlich Umsetzbarkeit und EE-Effekt eine Herausforderung insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen dar, da landseitige Kapazitäten im Unternehmen entweder fehlen (z.B. im Falle der Partikuliere) oder diese eine qualifizierte Bewertung häufig nicht vornehmen können. Hier ist ein klares Informationsdefizit bei kleinen und mittleren Unternehmen festzustellen. Auch Ausbildungsdefizite hinsichtlich kaufmännischer Kenntnisse insbesondere bei Partikulieren wurden von einigen Interviewpartnern offen angesprochen.

⁴ Gesamtbetriebskosten umfassen Kosten für Schiffsführer, Wartung/Reparatur, Versicherung, Schmierstoffe, Treibstoff, Abschreibung etc., jedoch keine landbasierten Kosten wie z.B. Verwaltung

⁵ Quelle: Interviewpartner

⁶ Kraftstoff-Wasser-Emulsion

2.1.5 Überwachung und Berichtswesen von EE-Kennzahlen

Die Messung von Hauptkennzahlen („KPIs“ – Key Performance Indicators) zur Optimierung von Bunkerverbräuchen und ein auf die Anforderungen eines Binnenschiffahrtsunternehmens zugeschnittenes einfaches Berichtswesen können Transparenz über Verbräuche schaffen. Transparenz ist eine entscheidende Voraussetzung

- zur Erkennung von Verbesserungspotenzialen aus dem Vergleich zwischen ähnlichen Schiffen mit vergleichbarem Fahrprofil bzw. über Zeit
- bei der Bewertung prototypisch umgesetzter Maßnahmen zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer Umsetzung auf weiteren Schiffen, insbesondere im Fall investitionsintensiver EE-Maßnahmen

Sie ist somit Grundvoraussetzung für signifikante Treibstoffeinsparungen. Die Schaffung von Transparenz gestaltet sich in der Praxis jedoch schwierig: Zum einen ist nur ein Teil der Flotte mit einer ausreichend genauen Verbrauchsmessanlage (z.B. temperaturkorrigierte Durchflussmessgeräte in Vor- und Rücklauf) ausgestattet. Zum anderen variieren die gemessenen Werte häufig stark, besonders infolge unterschiedlicher Motorlasten. Diese Parameter können derzeit nicht mit einfachen Methoden parallel zur Geschwindigkeit, Verbrauch usw. gemessen und kontinuierlich aufgezeichnet werden, was eine Filterung vergleichbarer Fahrzustände und einen Vergleich von Kennzahlen für Energieeffizienz erschwert.

Mögliche Kennzahlen für den Treibstoffverbrauch auf Binnenschiffen sind Liter Treibstoff/Stunde [l/h] oder Liter Treibstoff/Kilometer [l/km]. Die Energieeffizienz kann für Frachtschiffe durch den spezifischen Gesamtverbrauch, also den Treibstoffverbrauch in Relation zur Transportleistung in Liter Treibstoff/Tonnenkilometer [l/tkm] angegeben werden. Für andere Binnenschiffssegmente, z.B. für Fahrgastschiffe, Barkassen und Fähren werden andere Kennzahlen sinnvoll sein. Die Steuerung einzelner EE-Maßnahmen im Unternehmen bzw. auf einem Schiff erfordert konkret auf das Unternehmen/Schiff und die individuelle Maßnahme zugeschnittene Kennzahlen und Ziele.

Neben den oben beschriebenen Herausforderungen bei der Ermittlung von vergleichbaren Verbrauchswerten wird die Implementierung eines komplexeren EE-Berichtswesens aufgrund des Aufwands nur in größeren Unternehmen sinnvoll sein – den Interviews zufolge sind erste Schritte in diese Richtung in großen Unternehmen und für eigene Schiffe umgesetzt. Die Verfolgung einfacher Kennzahlen erscheint jedoch für alle Unternehmen bzw. Partikuliere zweckmäßig. Wichtig bei der Erstellung erster Berichte sind

- die Aufzeichnung auflaufender Verbrauchsdaten
- die Auswahl weniger, allgemein verständlicher und akzeptierter Kennzahlen sowie der Definition von Randbedingungen/Filterkriterien
- die Auswertung der Daten, die Berechnung von Kennzahlen und ihre grafische Darstellung über Zeit, gegenüber vergleichbaren Schiffen etc.

Laut Interviews nicht zu unterschätzen ist die psychologische Wirkung einer Verbrauchsanzeige im Steuerstand, die dem Schiffsführer kontinuierliche Rückmeldung über den aktuellen Verbrauch gibt und dadurch zu ersten Einsparerfolgen führen kann.

2.1.6 Umsetzung von EE und kontinuierlicher Verbesserungsprozess

Ein ähnlich wie in der Seeschifffahrt vorgeschriebener kontinuierlicher Verbesserungsprozess⁷, der die Schritte Planen-Umsetzen-Überwachen-Bewerten/Verbessern sowie die anzuwendenden EE-Maßnahmen für jedes Schiff umfasst und idealerweise jährlich umgesetzt wird, könnte auch Binnenschifffahrtsunternehmen helfen, nicht nur einmalige, sondern kontinuierliche Verbrauchssenkungen zu erreichen. In der Binnenschifffahrt ist ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess nicht vorgeschrieben; in den Interviews gab keiner der Befragten an, einen solchen formalen Prozess umgesetzt zu haben. Allerdings merkten einige der Befragten an, das Thema „Energieeinsparungen“ auch ohne festgelegten Prozess regelmäßig anzugehen; zum Teil sind auch Anreizprogramme für Schiffsführer umgesetzt, z.B. in Form von Zulagen beim Erreichen bestimmter Verbrauchsziele.

⁷ SEEMP „Ship Energy Efficiency Management Plan“, siehe IMO Resolution MEPC.213(65)

2.2 Bedarf an Energieberatung

Die Relevanz von Energieeinsparungen in der Binnenschifffahrt wurde bereits in Abschnitt 2.1 beschrieben. Weiterhin besteht ein Informationsdefizit bezüglich der Umsetzbarkeit und des tatsächlichen Einspareffekts von EE-Maßnahmen, insbesondere bei kleinen und mittleren Unternehmen, mit den sich daraus ergebenden Fragen:

- Welche Maßnahmen funktionieren auf welchem Schiffstyp, welche nicht?
- Wie sind Versprechen von Zulieferern bezüglich Energieeinsparungen einzuordnen?
- Welche Umbauten stellen ein vertretbares Risiko für eine X Jahre alte Hauptmaschine dar?
- Welche EE-Maßnahmen sind am wirtschaftlichsten? Welche Maßnahmen sind bei einem kleinen Investitionsbudget sinnvoll?
- Wie kann man sich am effektivsten zum Thema Verbrauchssenkung fortbilden?
- Welche weitgehend kostenneutralen navigatorischen bzw. betrieblichen Verbesserungen kann man noch umsetzen?

Es besteht Bedarf an Energieberatung – alle Befragten unabhängig von der Unternehmensgröße gaben ein generelles bis starkes Interesse an qualifizierter Energieberatung an.

Die in der Ausgangslage, Abschnitt 1.1 gemachte Feststellung, dass die Nutzung des Förderprogramms „Energieberatung im Mittelstand“ aus der Binnenschifffahrt heraus hinter den Erwartungen zurück liegt, konnte in den Interviews bestätigt werden: Keiner der Befragten gab an, das Programm zu nutzen; Kenntnis des Programms war die Ausnahme. Ein Grund für die mangelnde Bekanntheit könnte die fehlende Auffindbarkeit bzw. mangelnde Prominenz des Terminus „Energieberatung im Mittelstand“ in den einschlägigen in der Binnenschifffahrt genutzten Portalen sein. Weiterhin ist die „Energieberatung im Mittelstand“ kein binnenschifffahrtsspezifisches Programm, was zu Zweifeln in Bezug auf Anwendbarkeit und Glaubwürdigkeit führt.

Vergleicht man nach Interviewlage den Bekanntheitsgrad und die Nutzung des Förderprogramms „Energieberatung im Mittelstand“ mit dem Motorenförderprogramm⁸ des Bundes, so kann davon ausgegangen werden, dass das binnenschifffahrtsspezifische Motorenförderprogramm einen höheren Bekanntheits- und Nutzungsgrad aufweist.

Aus dem Interesse der Branche an Energieberatung und der bisher geringen Nutzung des Angebots des entsprechenden Förderprogramms ergibt sich die Frage nach möglichen Ansatzpunkten für eine erfolgreiche Energieberatung.

⁸ „Förderprogramm für emissionsärmere Motoren von Binnenschiffen“

2.3 Ansatzpunkte für erfolgreiche Energieberatung

Es gibt zwei wesentliche Ansatzpunkte zur stärkeren Nutzung einer Energieberatung für die Binnenschifffahrt im Allgemeinen und der Förderprogramme im Besonderen:

1. Schaffung eines glaubwürdigen Beratungsangebots

- Bereitstellung von Energieberatern mit Qualifikation und Expertise in der Binnenschifffahrt. Als wesentliches Kriterium für die Nutzung einer Energieberatung nannten die Befragten ausreichende fachliche Eignung, fundiertes Expertenwissen, praktische Erfahrung mit EE-Maßnahmen und Kenntnis bewährter Vorgehensweisen („Best Practices“) in Bezug auf Verbrauchssenkungen in der Binnenschifffahrt seitens des Beraters – ähnlich anderen Bereichen, z.B. dem energieeffizienten Bauen und Sanieren im Hochbau
- Schaffung einer kontinuierlich zu erweiternden Übersicht erfolgreich umgesetzter verbrauchssenkender Maßnahmen in Neubau und Umbau (Retrofit) sowie einer Maßnahmenübersicht je Binnenschiffssegment. Eine solche Übersicht kann je Fall sinnvollerweise neben Details zum Schiff eine Beschreibung der vorgenommenen Maßnahme, des Kostenrahmens, die erwarteten/erreichten Treibstoffeinsparungen und einen Ansprechpartner beinhalten

2. Stärkung des Bekanntheitsgrades

- Stärkere Präsenz des Themas „Energieeffizienz“ in Internetportalen (über <https://www.elwis.de/Foerderprogramme/index.html> hinausgehend), bei Informationsveranstaltungen von Verbänden, durch Auslage von Informationsbroschüren z.B. in Hebestellen und Bunkerstationen, usw.
- Veröffentlichung einer Liste der für die Binnenschifffahrt qualifizierten Berater

Letztendlich muss sich eine erfolgreiche Energieberatung am Einsparergebnis in Liter Schiffsdiesel bzw. Kilogramm CO₂ messen lassen und sollte daher nicht nur im Kontext des Förderprogramms sowie der Empfehlung von EE-Maßnahmen (Kapitel 3), sondern umfassender betrachtet werden. Aus Sicht des Auftragnehmers sind die in Abschnitt 2.1 genannten Punkte

- EE-Strategie und Einsparziele
- Abbildung von EE in der Aufbau- und Ablauforganisation
 - Ausrichtung von Organisation, Verantwortlichkeiten, Regeln, Prozessen auf Energieeffizienz
 - Verstärkter Fokus in der Ausbildung von Schiffsführern auf Energieeffizienz und kaufmännische Aspekte
- Überwachung und Berichtswesen von EE-Kennzahlen
- Umsetzung von EE und kontinuierlicher Verbesserungsprozess

notwendige Voraussetzungen zur Erreichung von Verbrauchs- und CO₂-Einsparzielen in mittelgroßen und großen Unternehmen der Binnenschifffahrt. Ohne Umsetzung dieser „organisatorischen Rahmenbedingungen“ werden wesentliche Einsparpotenziale langfristig nicht gehoben werden können.

Ein Vorschlag für eine umfassende Energieberatung in der Binnenschifffahrt ist in Abbildung 3 dargestellt; sie gliedert sich sinnvollerweise in drei Schritte.

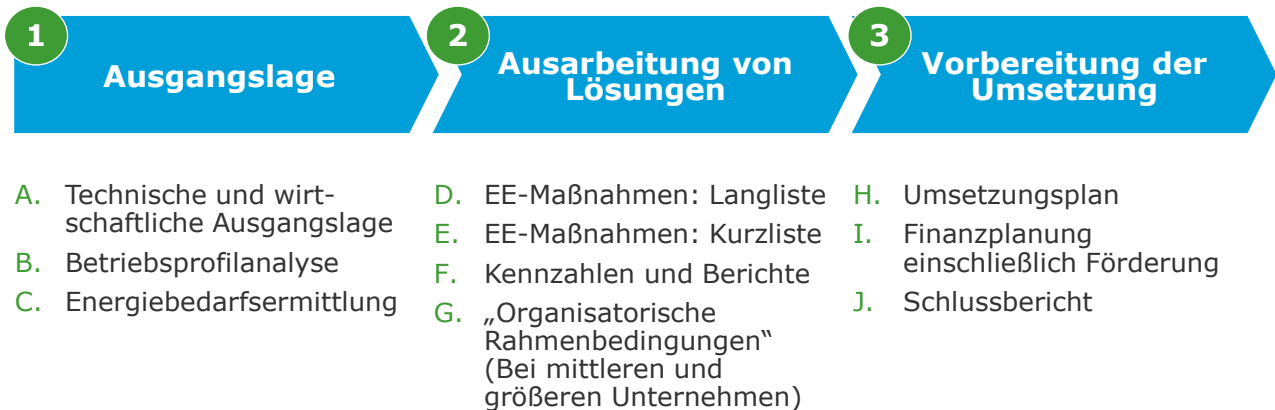


Abbildung 3: Aufbau Energieberatung Binnenschifffahrt

Es wird empfohlen, in einer detaillierten Energieberatung folgende Arbeitspakete zu berücksichtigen:

1. Verstehen der Ausgangslage

- A. Darstellung der technischen und wirtschaftlichen Ausgangslage (Alter des Schiffes, Bestand/Alter/Zustand von Maschinen und Systemen, vorgenommene Umbauten, bisherige Erfahrungen mit verbrauchssenkenden Maßnahmen, finanzieller Rahmen und Erwartungshorizont bzgl. zu erreichender Einsparungen, wo zutreffend Aufstellung des Unternehmens hinsichtlich EE, etc.)
- B. Ermittlung des Betriebsprofils (Zeitanteile in unterschiedlichen Fahrtzuständen, Fahrtgebieten etc.)
- C. Ermittlung des Energiebedarfs (Gesamtverbrauch, Verbrauch einzelner Verbraucher in realistischen Lastzuständen, etc.)

2. Ausarbeitung von Lösungen

- D. Erarbeitung einer Langliste konkret anwendbarer, technischer und betrieblicher EE-Maßnahmen, einschließlich ihrer Bewertung hinsichtlich Kosten/Aufwand, zu erwartender Einsparungen, möglicher weiterer Auswirkungen und Amortisationszeit unter Berücksichtigung der vorherigen Punkte
- E. Auswahl technisch und wirtschaftlich sinnvoller Maßnahmen unter Berücksichtigung der vorherigen Punkte (Kurzliste)
- F. Empfehlung pragmatischer EE-Kennzahlen und Berichte, die eine Erfolgskontrolle einzelner bzw. der Gesamtheit der EE-Maßnahmen unterstützen
- G. Bei mittleren und größeren Unternehmen: Ausarbeitung von Empfehlungen zu „organisatorischen Rahmenbedingungen“

3. Vorbereitung der Umsetzung

- H. Erarbeitung eines Umsetzungsplans (Geeignete Hersteller, Zeitplan zur Umsetzung technischer und betrieblicher EE-Maßnahmen, Zeitplan zur Umsetzung eventueller „organisatorischer Rahmenbedingungen“ etc.)
- I. Erarbeitung von Finanzierungsvorschlägen unter Berücksichtigung möglicher Förderung
- J. Ausarbeitung und Übergabe eines Schlussberichts

3 BESCHREIBUNG RELEVANTER ENERGIEEINSPARMAßNAHMEN IN DER BINNENSCHIFFFAHRT

3.1 Vorgehensweise

Dem Auftrag des BMVI folgend ist das Ziel dieses Abschnitts die Ermittlung und Darstellung von fünf wirtschaftlichen Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz auf einem Binnenschiff. Diese fünf Maßnahmen sollten sinnvollerweise von Binnenschiffverkehrsunternehmen für das betreffende Schiff, die Flotte oder Teile der Flotte genauer auf Anwendbarkeit und Wirtschaftlichkeit überprüft werden. Sie sind dementsprechend als eine Empfehlung anzusehen. Im Einzelfall können sich durchaus andere Maßnahmen als wirtschaftlicher herausstellen.

Zum Zweck der Identifikation von fünf Maßnahmen wird zunächst auf Basis der unten genannten Quellen eine Langliste der relevanten Maßnahmen erstellt (siehe 3.3 Langliste der Energieeinsparmaßnahmen). Die Maßnahmen werden in drei Bereiche „Technische Maßnahmen – Strömung“, „Technische Maßnahmen – Maschinen, Antrieb“ und „Betriebliche Maßnahmen“ gruppiert. Maßnahmen, die die Verkehrs-, IT- oder sonstige Infrastruktur betreffen, stehen nicht im Fokus dieser Studie.

Im nächsten Schritt werden für jede Maßnahme wesentliche Auswahlkriterien abgeschätzt. Diese Auswahlkriterien sind:

- Einsparpotential: Das Einsparpotenzial wird direkt in [%] abgeschätzt, oder in [l] Treibstoff und in Relation zu einem angenommenen Durchschnittsverbrauch in [%] ermittelt
- Abschätzung der Amortisationszeit: Die Amortisationszeit wird auf Basis des Einsparpotenzials in Euro/Jahr und der angenommenen Investitionskosten ohne die Berücksichtigung von Finanzierungskosten ermittelt. Eventuell anwendbare Förderungen, die die Amortisationszeit verkürzen können, sind nicht berücksichtigt. Großen Einfluss auf die Amortisationszeit hat der Treibstoffpreis sowie der zugrunde liegende Verbrauch des Schiffes – je höher der Treibstoffpreis bzw. je größer der Verbrauch, desto kürzer die Amortisationszeit. Für die in Kapitel 3 beschriebenen Maßnahmen werden folgende Eckwerte zugrunde gelegt:
 - Ein durchschnittlicher Dieselpreis von September 2014 bis August 2015 von ~500 Euro/t
 - Ein Beispielschiff mit 110m Länge, 1100kW Hauptmaschine und 400t Jahresverbrauch
- Abschätzung des Restumsetzungspotenzials: Als Restumsetzungspotenzial wird der Anteil der Binnenschiffe definiert, der die betreffende Maßnahme noch nicht umgesetzt hat

Die Auswahl von fünf Maßnahmen der Langliste für die Kurzliste der fünf Maßnahmen erfolgt durch Quantifizierung der Auswahlkriterien:

- Einsparpotential: Maßgabe BMVI „>5%“
- Amortisationszeit: Maßgabe BMVI „wirtschaftlich“, also möglichst kurze Amortisationszeit
- Restumsetzungspotenzial: Sinnvollerweise hoch. Möglichst geringe Einschränkungen, was das Schiffssegment betrifft

Zuletzt werden die fünf ausgewählten Maßnahmen in sinnvoller Detailtiefe beschrieben (siehe Abschnitt 3.4).

Alle in Kapitel 3 genannten Ausgangsdaten bzw. Abschätzungen basieren im Wesentlichen auf den im Folgenden genannten Quellen. Umfang und Anzahl der ausgewerteten Quellen richteten sich dabei nach dem beauftragten Studienumfang.

- DNV GL Experten in den Fachgebieten
 - Hydrodynamik
 - Motoren- und Anlagentechnik
 - Alternative Antriebe und LNG
- DNV GL Schiffstyp-Experte „Binnenschiffe“
- Interviews mit ausgewählten Unternehmen der Binnenschifffahrt
- „Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen in der Binnenschifffahrt“, Bericht des Untersuchungsausschusses zur Herbsttagung 2012 (Anlage 2 zu Protokoll 2012-II-4 der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt, 29. November 2012)
- „Strömungstechnische Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen von Binnenschiffen“, Dipl.-Ing. J. Zöllner, DST, Vortrag beim ZKR Kongress „Rheinschifffahrt und Klimawandel“, 24./25. Juni 2009 in Bonn

3.2 Annahmen und Einschränkungen

Die Abschätzungen beruhen auf einer Reihe von Annahmen – ebenso sind einige Einschränkungen zu beachten:

- Die in 3.3 und 3.4 genannten Werte sind Abschätzungen auf Basis der oben genannten Quellen und stellen die Mittelwerte einer Bandbreite dar. Es wird kein Anspruch auf Genauigkeit im einzelnen Anwendungsfall erhoben – vielmehr dienen die Abschätzungen der generellen Priorisierung und der Auswahl in der Praxis umsetzbarer Maßnahmen
- Die Langliste der Maßnahmen in 3.3 erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit
- Einige Maßnahmen sind nicht oder nur ansatzweise in der kommerziellen Praxis erprobt – auch die wissenschaftliche Untersuchung ist zum Teil nicht umfänglich abgeschlossen
- Einige Maßnahmen sind nur für bestimmte Schiffstypen relevant, z.B. die Optimierung der Koppelstelle im Schubbetrieb
- Maßnahmen können in Kombination angewendet werden bzw. sich gegenseitig ausschließen - mit der Folge, dass eine einfache Addition der Einsparpotenziale nie und eine sinnvolle Umsetzung aller Maßnahmen auf einem Schiff nicht immer möglich ist

Grundsätzlich existiert häufig ein Bündel möglicher Maßnahmen, aus denen sich Reederei bzw. Partikulier die für sein Schiff und dessen Einsatzfall die wirtschaftlich und technisch günstigsten auswählen kann. Dieses sollte vor dem Hintergrund der Flotte bzw. des Schiffes und Kenntnis der individuellen technischen Details, der Fahrprofile, des Fahrtgebietes, der Ladungsart etc. geschehen.

3.3 Langliste der Energieeinsparmaßnahmen

Die in Abbildung 4 „Langliste der Energieeinsparmaßnahmen“ dargestellten Abschätzungen hinsichtlich Einsparpotenzial, Amortisationszeit und Restumsetzungspotenzial dienen der Priorisierung von Maßnahmen. Genaue Werte für unterschiedliche Binnenschiffstypen, Größen- und Altersklassen bedürfen weiterer Untersuchung.

Die in der Langliste abgeschätzten Werte sind vor Anwendung im Einzelfall für das individuelle Schiff zu prüfen.

Potenziale zur Einsparung von Treibstoff bestehen sowohl auf der technischen als auch auf der betrieblichen Seite. Genereller Vorteil vieler betrieblicher Maßnahmen ist ihre kurze Amortisationszeit infolge geringer Investitionskosten. Aus diesem Grund dürften diese auch für Unternehmen und Partikuliere mit geringer Investitionskraft in Betracht kommen.

Legende
Top 5 wirtschaftliche Maßnahme ("Kurzliste")
Kurzfristig zu Einsparerfolgen führende Maßnahmen ("Quick Wins")

Abgeschätzte Mittelwerte einer Bandbreite		
groß (8-10%)	kurz (<1 Jahr)	hoch (>80%)
mittel (5-7%)	mittel (1-5 Jahre)	mittel (≥50-80%)
klein (0-4%)	lang (>5 Jahre)	niedrig (<50%)

Maßnahme	Anwendbarkeit		Einsparpotential % angesetzt	Amortisationszeit (ohne Förderung) Jahre	Restumsetzungs- potential %	
	Nr.	Name				Neubau
1 Technisch - Strömung						
1.1	Optimierung der Strömung im Propulsionsbereich	x	x	groß	mittel	niedrig
1.2	Rumpf- bzw. Linienoptimierung mittels CFD	x	x	groß	mittel	hoch
1.3	Optimierung der Koppelstelle im Schubbetrieb	x	x	groß	mittel	mittel
1.4	Effizientere Propulsionsorgane - z.B. gegenläufige Propeller	x		mittel	mittel	mittel
1.5	Alternative Propulsionsorgane - z.B. "whale tail", Blattkettenantrieb	x		mittel	mittel	hoch
1.6	Luftschmierung	x		mittel	mittel	hoch
1.7	Pflege von Propeller und Rumpf - Kontrolle und Reparatur	x	x	klein	kurz	mittel
1.8	Retrofit Propeller		x	klein	mittel	mittel
1.9	Anströmung Bug verbessern - Optimierte Anker/Ankertaschen etc.	x	x	klein	mittel	hoch
1.10	Anströmung Bugschraubenkanal optimieren	x		klein	mittel	hoch
2 Technisch - Maschinen, Antrieb, etc.						
2.1	Vater-Sohn-Konzept anstelle gleichstarker Hauptmaschine(n)	x	x	groß	lang	hoch
	Dieselektrischer anstelle Diesel-Antrieb	x	x	groß	lang	hoch
	Hybrid- (Diselelektrisch + Batterie) anstelle Diesel-Antrieb	x	x	groß	lang	hoch
	LNG- anstelle Diesel-Antrieb	x	(x)	groß	lang	hoch
2.2	Kraftstoff-Wasser-Emulsions (KWE)-Anlage	x	x	mittel	lang	hoch
2.3	Restwärmenutzung "groß" - Nutzung Abgasrestwärme für Ladung/Economizer	x	x	mittel	mittel	mittel
2.4	Wartung Hauptmaschine und Aggregat - Allg. Maschinenpflege bzgl. Energieeffizienz	x	x	klein	kurz	mittel
2.5	Einsatz von Additiven im Kraftstoff	x	x	klein	mittel	mittel
2.6	Neue Hauptmaschine - nach 25 Jahren/ halber Lebensdauer		x	klein	lang	niedrig
2.7	Leichtbau - resultierend in höherer Beladung	x		klein	mittel	mittel
2.8	Energieeffiziente Auslegung von Hilfsmaschine/ Verbrauchern - Frequenzgesteuerte Pumpen	x	x	klein	mittel	mittel
2.9	Restwärmenutzung "klein" - Nutzung Abgasrestwärme für Heizung Wohnbereich	x	x	klein	mittel	niedrig
2.10	Solarenergie - Einbau von Solarmodulen zur Teilabdeckung des Elektrizitätsbedarfs	x	x	klein	mittel	hoch
3 Betrieblich						
3.1	Energiebewusstes Fahren: Aus- und Weiterbildung der Schiffsführer	x	x	groß	kurz	mittel
3.2	Leerfahrer koppeln - Abstimmung zwischen Wettbewerbern	x	x	groß	kurz	hoch
3.3	Optimierung der Reiseplanung auf Basis Inland ECDIS etc.	x	x	mittel	kurz	mittel
3.4	Automatische Bahnführung - Optimierung/Reduzierung der Ruderbewegungen	x	x	mittel	kurz	mittel

Abbildung 4: Langliste der Energieeinsparmaßnahmen

3.4 Kurzliste der Energieeinsparmaßnahmen

Aus der Bewertung der in der Langliste aufgezählten Maßnahmen ergibt sich die Empfehlung der fünf wirtschaftlich sinnvollsten Maßnahmen („Kurzliste“):

- Energiebewusstes Fahren: Aus- und Weiterbildung der Schiffsführer
- Optimierung der Strömung im Propulsionsbereich
- Rumpf- bzw. Linienoptimierung mittels CFD
- Alternative Antriebskonzepte
- Optimierung der Koppelstelle im Schubtrieb

Die im Folgenden abgeschätzten Werte für Energieeinsparpotenzial, Investitionskosten und Amortisationszeit sind vor Anwendung im Einzelfall vom Eigner, der Reederei oder einem Energieberater für das individuelle Schiff zu prüfen.

3.4.1 Energiebewusstes Fahren: Aus- und Weiterbildung der Schiffsführer

Beschreibung

Energiebewusste (treibstoffsparende) Fahrt ist in der Binnenschifffahrt nicht neu. In Interviews und Expertengesprächen wurde allerdings deutlich, dass hier noch erhebliche Potenziale zu heben sind, da der Themenkomplex sowohl im Aus- als auch im Weiterbildungscurriculum meist noch eine untergeordnete Rolle spielt und dem Thema in seiner Bedeutung nicht gerecht wird.

Beispielhafte Elemente, die Aus- und Weiterbildung in der Binnenschifffahrt im Hinblick auf Energieeffizienz umfassen sollten, sind:

- Konstante Geschwindigkeit: Freie Fahrt, Überholvorgänge
- Reduzierung der Geschwindigkeit bei Kleinwasser
- Optimierung Kurvenfahrt
- Vermeidung Leerlauf
- Minimierung Leerfahrten auf Einzelschiffebene
- Optimierte Beladung
- Abstimmung zwischen Verloader/Disponent und Schiff etc.
- Kaufmännische Bewertung von Maßnahmen
- Quellen für Erfahrungsaustausch

Als klassische Form der Wissensvermittlung gelten ein- bis mehrtägige Präsenzs Schulungen. Ergänzend bzw. alternativ können Schulungsinhalte auch digital/online, z.B. als internetbasiertes Seminar („Webinar“), vermittelt werden. Vorteile hiervon liegen in der besseren Eintaktung der Inhalte in den

täglichen Arbeitsablauf (nicht ortsgebunden) sowie einer Wiederholbarkeit. Hauptnachteil ist eine eingeschränkte Diskussion zwischen Teilnehmern und Schulungsleiter.

In jedem Fall wichtig für den Aus- und Weiterbildungserfolg sind die Glaubwürdigkeit der Schulungsinhalte bzw. des Schulungsleiters sowie der direkte Praxisbezug von Beispielen. Theoretische Inhalte können mit Schulungen am Simulator ergänzt werden⁹.

Abschätzung Energieeinsparpotenzial, Investitionskosten und Amortisationszeit

Das Einsparpotenzial wird, je nach Stand Schiffsführer und Schiff, konservativ mit 5-10% veranschlagt. Ähnliche Programme haben in den Niederlanden (vgl. „Smart Steaming“¹⁰) zu Einsparungen von knapp 7% pro Jahr geführt.

Die entstehenden Kosten je Schiffsführer setzen sich zusammen aus

- den direkten Aus- und Weiterbildungskosten und
- der entgangenen Arbeitszeit des Schiffsführers während der Weiterbildung.

Die Gesamtkosten werden je Schiffsführer mit ~Euro 2.000 abgeschätzt.

Die sich ergebende Amortisationszeit ohne Förderung wird mit ca. 1-2 Monaten abgeschätzt. Die Amortisationszeit kann bei erfüllten Zuwendungsvoraussetzungen durch Inanspruchnahme des entsprechenden Förderprogramms¹¹ zur Aus- und Weiterbildung verkürzt werden.

Anwendbarkeit und Einschränkungen

Die verbesserte und breit angelegte Aus- und Weiterbildung der Schiffsführer zum energiebewussten Fahren birgt erhebliches Potential für Treibstoffeinsparungen und ist dabei im Vergleich zu vielen anderen Maßnahmen wenig kapitalintensiv.

Verbesserte Aus- und Weiterbildung mit Fokus auf energiebewusstes Fahren sind in allen Schiffssegmenten und -größenklassen anwendbar.

⁹ Vgl. „Kraftstoffsparendes Fahren / TOPO-Training“, siehe Homepage des Bundesverbandes der Deutschen Binnenschifffahrt e.V. (BDB)

¹⁰ „Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen in der Binnenschifffahrt“, Bericht des Untersuchungsausschusses zur Herbsttagung 2012, Anlage 2 zu Protokoll 2012-II-4 der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt, 29. November 2012, S. 83ff

¹¹ „Richtlinie zur Förderung der Aus- und Weiterbildung in der deutschen Binnenschifffahrt“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, 29. April 2015 (BAnz AT 18.05.2015 B4)

3.4.2 Optimierung der Strömung im Propulsionsbereich

Beschreibung

Dem Propulsionsbereich mit Tunnel, Propeller, Düse und Ruder kommt bei Binnenschiffen besondere Bedeutung zu. Ursache hierfür sind vor allem eingeschränkte Tiefgänge insbesondere bei Kleinwasser und möglicher Lufteintrag im Tunnel bei Leerfahrten. Diese Randbedingungen führen zu einer starken Einschränkung der Freiheitsgrade im Design des Propulsionsbereichs. Weiterhin resultiert z.B. ein limitierter Propellerdurchmesser in hoher Propellerbelastung, welche wiederum zu einer Minderung des Propulsionswirkungsgrades führt. Bei geringer Wassertiefe treten infolge der Wasserlage häufig Strömungsablösungen und eine suboptimale Anströmung des Propellers auf.

Die im Folgenden dargestellten Elemente sind geeignet, die Strömungsverhältnisse im Propulsionsbereich und somit die Energieeffizienz zu verbessern:

- Düse: Die Düse erzeugt aufgrund ihrer Form einen Teil des Schubs und entlastet damit den Propeller. Durch die geringere Propellerbelastung erhöht sich dessen Wirkungsgrad. Weiterhin hat die Düse eine Schutzfunktion für den Propeller, z.B. bei Grundberührung. Weitere Details finden sich in Kornev¹². Ein erheblicher Anteil der Binnenschiffsflotte dürfte bereits mit Düsen ausgestattet sein, in der nicht aus-/umgerüsteten Flotte verbleibt jedoch ein noch nicht gehobenes Energieeinspar-Potenzial. Beim nachträglichen Einbau einer Düse sind in der Regel Anpassungen an Propeller und Tunnel zu berücksichtigen.
- Abstromplatte: „... Die unterschiedlichen Geschwindigkeiten von Propellerstrahl (hohe Geschwindigkeit) und Hinterschiffsumströmung (niedrige Geschwindigkeit) führen zu einer zusätzlichen Verwirbelung, die als Widerstand in Erscheinung tritt. Der Einbau einer so genannten Abstromplatte kann die Vermischung der unterschiedlichen Wassergeschwindigkeiten weiter hinter das Schiff verlagern, welches sich widerstandsmindernd auswirkt. ...“¹³. Die Abstromplatte verhindert bzw. vermindert außerdem das Ansaugen der Luft (Ventilation) und seine negativen Folgen auf den Propellerwirkungsgrad. Näheres findet sich in Zöllner¹³.
- Variabler Tunnel: Bei kleinen Tiefgängen (z.B. bei Leerfahrt oder geringer Beladung) kann es bei Schiffen mit entsprechend großen Propellern zu Lufteintrag in den Propellerzustrom und somit stark sinkender Effizienz kommen. Aus diesem Grund wurden variable Tunnel entwickelt, die auch bei geringen Tiefgängen in ausgeklapptem Zustand eine Heranführung des Zustromwassers an den Propeller gewährleisten und bei entsprechend größerem Tiefgang hydraulisch an den Schiffsrumpf angelegt werden können (siehe auch Zöllner, 2009). Von deutschen Reedern werden laut Interviews 2015 erste Schiffe mit variablem Tunnel in Dienst gestellt.

Abschätzung Energieeinsparpotenzial, Investitionskosten und Amortisationszeit

Beim Einbau von bzw. Retrofit von Düse, Abstromplatte und variablem Tunnel werden jeweils Einsparpotenziale von rund 10% abgeschätzt (Zöllner 2009, Interviews).

Die entstehenden Gesamtkosten von Einbau bzw. Retrofit je Schiff werden wie folgt abgeschätzt:

- Düse: ~ Euro 30.000 (Kosten stark abhängig von erforderlichen Anpassungen an Propeller und Tunnel)

¹² „Propellertheorie“, Prof. Dr.- Ing. Nikolai Kornev, Universität Rostock, Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik, 2009

¹³ „Strömungstechnische Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen von Binnenschiffen“, Dipl.-Ing. J. Zöllner, DST, Vortrag beim ZKR Kongress „Rheinschifffahrt und Klimawandel“, 24./25. Juni 2009 in Bonn

Seite 21 von 32

- Abstromplatte: ~ Euro 10.000
- Variabler Tunnel: ~ Euro 60.000

Die sich ergebenden Amortisationszeiten ohne Förderung werden somit auf ca. ein halbes Jahr (Abstromplatte) bzw. eineinhalb bis drei Jahre (Düse und variabler Tunnel) abgeschätzt. Die Amortisationszeit kann bei erfüllten Zuwendungsvoraussetzungen durch Inanspruchnahme des entsprechenden Förderprogramms¹⁴ zur nachhaltigen Modernisierung von Binnenschiffen verkürzt werden.

Anwendbarkeit und Einschränkungen

- Düse: Generell auf allen Schiffstypen in Neubau und Retrofit anwendbar
- Abstromplatte: Generell auf allen Schiffstypen mit Welle in Neubau und Retrofit anwendbar
- Variabler Tunnel: Generell auf allen Schiffstypen der Frachtschiffahrt mit variablen Tiefgängen in Neubau und Retrofit anwendbar. Schwerpunkt auf Schiffe mit signifikantem Anteil an Leerfahrten bzw. Fahrten in Teilladung

Die drei Elemente sind auch in Niedrigwassersituationen einsetzbar; die Entwicklung von Düse und variablem Tunnel ist maßgeblich von Fahrsituation bei Niedrigwasser getrieben.

¹⁴ „Richtlinie über Zuwendungen für Binnenschiffahrtsunternehmen zur nachhaltigen Modernisierung von Binnenschiffen“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, 21. Juli 2015 (BAnz AT 29.07.2015 B2)

3.4.3 Rumpf- bzw. Linienoptimierung mittels CFD

Beschreibung

Rumpf- bzw. Linienoptimierung eines Schiffes bedeutet die Verbesserung der Form des Schiffsrumpfes sowie des Propellers zur Reduzierung des Leistungsbedarfs bei vorgegebenem Betriebsprofil, Gewichtsreduktion, Erhöhung der Zuladung und infolgedessen geringerem Treibstoffverbrauch je Tonnenkilometer.

Linienoptimierungen von Schiffsrümpfen können entweder in Schleppversuchen oder mittels hydrodynamischer Simulationen (numerische Strömungsmechanik, engl. CFD = Computational Fluid Dynamics) vorgenommen werden. Die kontinuierliche Weiterentwicklung der Rechenverfahren und der erforderlichen Rechenkapazitäten haben über die letzten zwei Jahrzehnte CFD auch im Schiffbau etabliert. Anders als bei Modellversuchen können im „numerischen Schlepptank“ hunderte von Varianten parallel untersucht werden. Damit ist CFD inzwischen für die Linienentwicklung den klassischen Schleppversuchen überlegen.

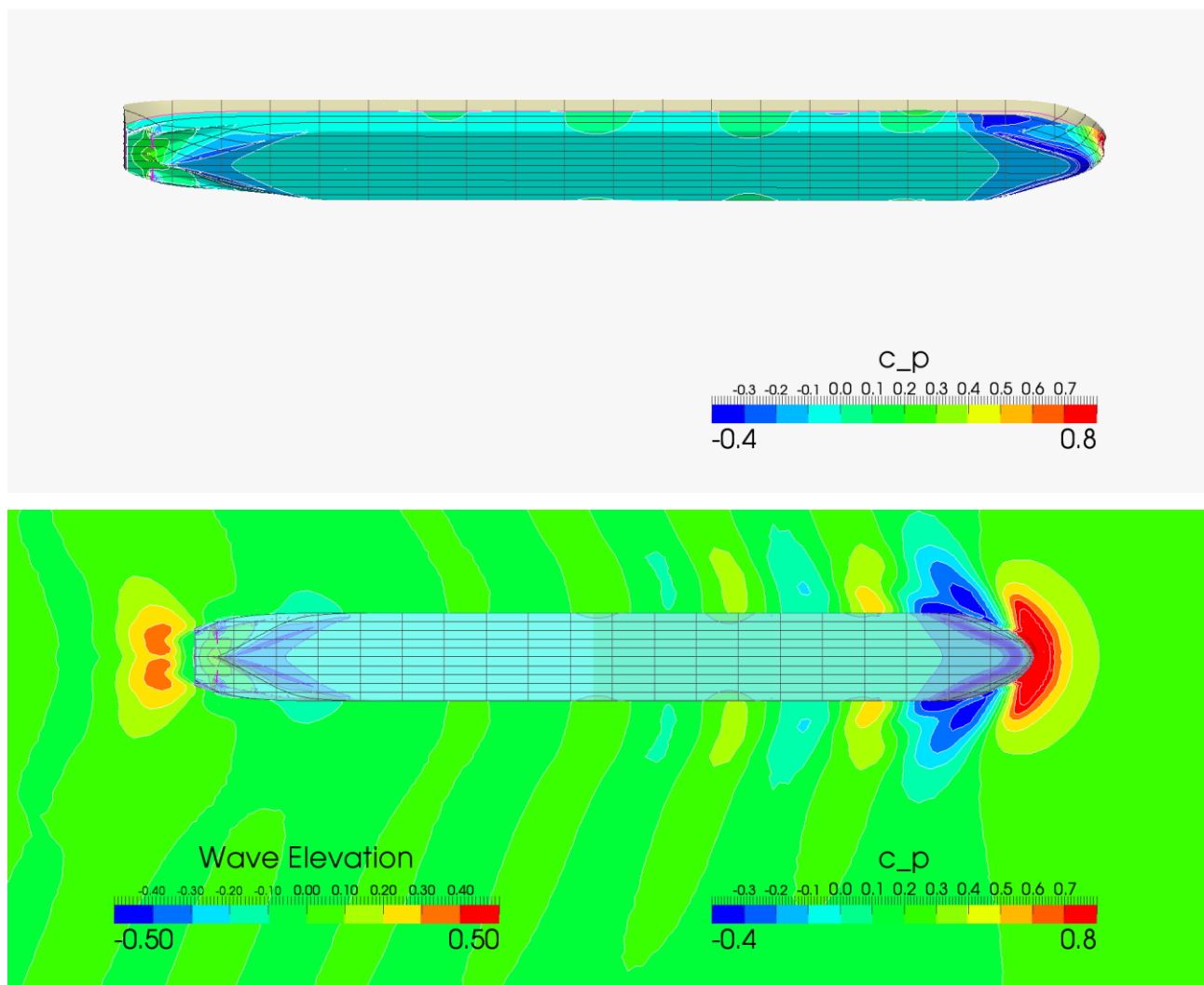


Abbildung 5: Beispiel einer CFD-Analyse für ein Binnenschiff¹⁵

¹⁵ Quelle: DNV GL Maritime Advisory, Fluid Engineering and Fluid Dynamics

Bei der CFD-gestützten Optimierung von Binnenschiffen wird der Rumpf als parametrisches Modell mit typischerweise etwa 50 Parametern dargestellt. So wird eine Familie an Schiffsformen vorgegeben, die einerseits sehr viele mögliche Formen erlaubt, andererseits aber immer „vernünftige“ Schiffsformen mit harmonischen Übergängen erzeugt.

Ein Optimierungsalgorithmus steuert die Variation der Parameter und berechnet automatisch (zehn-) tausende Linienvarianten. Jede Variante wird mit CFD hinsichtlich Widerstand und Propulsionseffizienz analysiert. Aus diesem Fundus möglicher Varianten werden die vielversprechendsten ausgewählt und im Detail untersucht. In der Praxis erfolgt häufig auch noch ein Modellversuch zur Bestätigung der CFD-Analyse.

Bei der Optimierung werden Varianten sogenannter „genetischer Algorithmen“ eingesetzt. Diese Algorithmen ahmen Evolutionsstrategien nach. Dabei werden parallel mehrere Varianten (typischerweise 20 bis 50) in einem Optimierungszyklus untersucht. Die Vorgehensweise ist sehr robust, d.h. auch bei vielen lokalen Optima wird das globale Optimum gefunden. Der Algorithmus ist speziell auf moderne Parallelrechner zugeschnitten.

Bei den CFD Simulationen wird häufig zweistufig vorgegangen. Zunächst wird mit einem vereinfachten Modell auf Basis der Potentialtheorie (= Wellenbildung wird explizit erfasst, Reibung nur angenähert) ein großer Lösungsraum untersucht. Dann wird in der Nähe der besten Lösungen mit einem genaueren und aufwändigeren CFD-Modell erneut optimiert. Dieses CFD-Modell erfasst dann auch brechende Wellen, Reibung explizit und hat ein besseres Propellermodell. Die Vorgehensweise, erst weit/grob zu suchen und in der Endphase der Optimierung zu verfeinern, hat sich in der Praxis als effizient und genau bewährt und ist Stand der Technik.

Die gesamte Optimierung erfolgt auf Basis des vom Auftraggeber vorgegebenen Betriebsprofils einschließlich Wassertiefen und spezifischer Randbedingungen. Randbedingungen in der Binnenschifffahrt sind typischerweise Länge, Breite und Tiefgang, aber z.B. auch Mindestbreiten im Motorenbereich, um dort ausreichend Platz zur Anordnung der Motoren zu haben¹⁶.

Abschätzung Energieeinsparpotenzial, Investitionskosten und Amortisationszeit

Rumpf- bzw. Linienoptimierung mittels CFD haben beim Binnenschiff Einsparpotenziale von konservativ 10% ergeben (DNV GL Projekterfahrung). Einsparpotenziale ergeben sich aus der Reduzierung der Maschinenleistung und erhöhter Zuladung.

Die entstehenden Gesamtkosten im Neubau belaufen sich auf ~Euro 150.000 für die CFD-Optimierung eines Rumpfdesigns. Mehrkosten im eigentlichen Bau sind nicht zu erwarten. Aufgrund signifikanter Einmalkosten ergeben sich attraktive Amortisationszeiten vor allem bei Rümpfen, die in Serie gebaut werden. Bei 2 Rümpfen bzw. Schwesterschiffen gleichen Designs wird die Amortisationszeit ohne Förderung auf ca. 3-4 Jahre abgeschätzt.

Im Retrofit werden üblicherweise nur Bug- und/oder Heckbereich eines Schiffes untersucht und ggf. umgebaut. Zu den Kosten der CFD-Optimierung addieren sich hier die Baukosten, die z.T. erheblich sein dürften und die Amortisationszeit entsprechend erhöhen.

¹⁶ Quelle: DNV GL Maritime Advisory, Fluid Engineering and Fluid Dynamics

Zu beachten ist generell, dass die Kosten einer CFD-Optimierung für *ein* Rumpfdesign anfallen; beim Neubau oder Retrofit mehrerer baugleicher Schwesterschiffe legen sich diese Einmalkosten auf die entsprechende Anzahl von Schiffen um, die Amortisationszeiten fallen dann entsprechend kürzer aus.

Die Amortisationszeit kann bei erfüllten Zuwendungsvoraussetzungen durch Inanspruchnahme des entsprechenden Förderprogramms¹⁷ zur nachhaltigen Modernisierung von Binnenschiffen weiter verkürzt werden.

Anwendbarkeit und Einschränkungen

Eine Rumpfoptimierung mittels CFD (Neubau) bzw. Linienoptimierung Bug und Heck (Retrofit) ist generell für alle Schiffstypen anwendbar und sollte in Verbindung mit einer Optimierung der Propulsionsorgane durchgeführt werden.

¹⁷ „Richtlinie über Zuwendungen für Binnenschiffahrtsunternehmen zur nachhaltigen Modernisierung von Binnenschiffen“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, 21. Juli 2015 (BANz AT 29.07.2015 B2)

3.4.4 Alternative Antriebskonzepte

Beschreibung

In der Binnenschifffahrt werden derzeit fast ausschließlich dieselbetriebene 4-Takt-Verbrennungsmotoren eingesetzt. Diese besitzen in der Regel einen optimalen Lastbereich bei 80-90% der maximalen Leistung, in dem der motorspezifische Verbrauch in [g/kWh] ein Minimum hat. Die Motorleistung ist auf die höchste erforderliche Last, in der Regel Vollladung / maximaler Tiefgang bei maximaler Geschwindigkeit, ausgelegt. Allerdings wird die volle Leistung in vielen Fällen nur einen Teil der Zeit abgerufen, in dem anderen Zeitanteil liegt die Motorleistung deutlich unter der Auslegungslast, womit erhöhte spezifische Verbräuche bzw. Gesamtverbräuche verbunden sind: Beispielsweise liegt bei einem typischen 4-Takt-Dieselmotor der spezifische Verbrauch bei 30% Last rund ein Viertel über dem spezifischen Verbrauch bei 80% Last¹⁸.

Im Folgenden werden kurz alternative Antriebskonzepte vorgestellt, die dem Umstand des Teillastbetriebs Rechnung tragen (Ausnahme: LNG) und somit zu geringeren Verbräuchen führen können. Entscheidender Einflussfaktor für die Wirtschaftlichkeit der aufgeführten Konzepte ist das für das Schiff geforderte Betriebsprofil.

Vater-Sohn-Konzept

Beim Vater-Sohn-Konzept werden jeweils eine Hauptmaschine („Vater“) und eine kleinere Maschine („Sohn“) über ein Getriebe auf eine Welle geschaltet. Bei voll beladener Bergfahrt wird die Hauptmaschine betrieben, während in der leeren Talfahrt die kleinere Maschine zum Einsatz kommt. Eine Reduktion des Gesamtverbrauchs ergibt sich aus der an die jeweilige Leistungsanforderung angepassten Motorleistung – beide Motoren werden nahe ihrem Effizienzoptimum betrieben, was bei entsprechenden Betriebsprofilen die entstehenden Getriebeverluste überkompensiert.

Dieselelektrischer Antrieb

Hier treiben unterschiedlich große Dieselgeneratoren über Elektromotoren Propellerwelle und Bugschrauben an. Je nach Leistungsbedarf kommen die verschiedenen Generatoren bzw. eine Kombination zum Einsatz; eine Verbrauchsreduktion ergibt sich auch hier aus näher am Optimum betriebenen Dieselmotoren. Die Verluste aus der Energieumwandlung mechanisch-elektrisch-mechanisch werden bei einem entsprechenden Teillastanteil durch effizienter betriebene Dieselgeneratoren überkompensiert.

Hybridantrieb

Hybridantriebe bezeichnen Antriebskonzepte unter Einbeziehung von Batteriesystemen als Energiespeicher. Die eigentliche Energieerzeugung obliegt klassischen Diesel- oder LNG-Motoren (perspektivisch auch Landstrom unter Verzicht auf Verbrennungsmotoren, in diesem Fall spricht man vom reinen Batterieantrieb). Der Batterie als Energiespeicher kommt dabei eine Ausgleichsfunktion bei Lastspitzen zu, wodurch der Verbrennungsmotor entsprechend kleiner ausgelegt und nahe seinem Effizienzoptimum betrieben werden kann.

Derzeit sind Hybridantriebe z.B. in Norwegen auf >20 Fähren und Seeschiffen installiert. Ein reiner Batterieantrieb befindet sich auf einer norwegischen Fähre im Praxistest (nächtliche Vollladung, Tagesrhythmus mit 20 Minuten Fahrt und 10 Minuten Schnellladung).

¹⁸ „In Focus – The Future is Hybrid“, DNV GL, 2015, S. 16: Der spezifische Verbrauch eines typischen 4-Takt-Dieselmotors bei 30% bzw. 80% Last beträgt ca. 230 g/kWh bzw. 183 g/kWh

Weitere Vorteile hybrider Antriebe sind sofortige Verfügbarkeit bei Leistungsanforderung, Lärm- und Vibrationsreduzierung, zeitweise emissionsfreie Fahrt sowie eine erhöhte Ausfallsicherheit¹⁹.

LNG-Antrieb

Liquefied Natural Gas (LNG, „Flüssigerdgas“) ist eine alternative Primärenergiequelle zu Diesel im Transport- und Verkehrssektor. LNG-Antriebe nutzen tiefkaltes, verflüssigtes Erdgas als Treibstoff – die für den Einsatz erforderliche Technik ist am Markt verfügbar. Eine Dual-Fuel Auslegung der Maschine ermöglicht die Nutzung von LNG und Diesel.

Entscheidend für den zukünftigen Einsatz wird aufgrund derzeit signifikanter Investitionskosten neben der Verfügbarkeit von LNG entlang der Binnenschiffahrtswege die Wirtschaftlichkeit und somit der LNG-Preis sein. Die Entwicklung zukünftiger LNG-Preise in Relation zum Dieselpreis entzieht sich einer Vorhersage, allerdings ist aufgrund des Interesses der LNG-Versorger an steigenden Absätzen von einem entsprechend attraktiven Preisniveau in Relation zum Dieselpreis auszugehen. In den vergangenen Jahren war der prozentuale Kostenvorteil von LNG gegenüber Dieseltreibstoff im Falle hoher Ölpreise größer als zu Zeiten niedriger Ölpreise²⁰. Neben der rein wirtschaftlichen Betrachtung weist LNG als Treibstoff Vorteile in der CO₂-Bilanz auf (wenn Methanschlupf effektiv adressiert ist) sowie bei Schadstoffemissionen SO_x, NO_x und Partikeln²¹.

LNG als Schiffstreibstoff befindet sich im Praxiseinsatz, sowohl in der See- und Küstenschiffahrt (z.B. in Norwegen) als auch in der Binnenschiffahrt (z.B. in den Niederlanden).

Abschätzung Energieeinsparpotenzial, Investitionskosten und Amortisationszeit

Vater-Sohn-Konzept

Das Energieeinsparpotenzial wird (in starker Abhängigkeit vom Betriebsprofil) mit ca. 10% abgeschätzt. Gegenüber einem herkömmlichen Dieselantrieb fallen zusätzliche Kosten infolge der Dopplung der Motoren und dem erforderlichen Getriebe/Kupplung je Antriebsstrang an. Abschätzung: Kosten ~150.000 Euro, Amortisationszeit ohne Förderung ~7-8 Jahre.

Dieselelektrischer Antrieb

Das Energieeinsparpotenzial wird (in starker Abhängigkeit vom Betriebsprofil) mit ca. 10% abgeschätzt. Zusätzliche Kosten ergeben sich aus Dopplung der Motoren/Generatoren, elektrischem Antriebsmotor und Steuerelektrik. Kosten ~200.000 Euro, Amortisationszeit ohne Förderung ~10 Jahre.

Hybrid-Antrieb

Das Energieeinsparpotenzial wird (in starker Abhängigkeit vom Betriebsprofil) mit ca. 10% abgeschätzt. Zusatzkosten fallen für Generatoren, Batterien, Konverter sowie elektrischen Antriebsmotor an. Abschätzung: Kosten ~300.000 Euro, Amortisationszeit ohne Förderung ~15 Jahre.

¹⁹ „In Focus – The Future is Hybrid“, DNV GL, 2015

²⁰ Analyse DNV GL

²¹ „LNG als Alternativkraftstoff für den Antrieb von Schiffen und schweren Nutzfahrzeugen“, Kurzstudie Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), 2014

LNG-Antrieb

Das Einsparpotenzial wird (in starker Abhängigkeit vom Diesel- und LNG-Preis) derzeit mit ca. 25% abgeschätzt. Bei der Nutzung von LNG als alternativem Treibstoff entstehen Zusatzkosten für den Tieftemperatur-Tank, Leitungen/Ventile, Steuerungs- und Überwachungssysteme. Eventuell können sich weitere Kosten aus dem derzeit (infolge noch nicht in Kraft getretener Mindestanforderungen) noch erforderlichen Einzelgenehmigungsverfahren ergeben. Abschätzung: Mehrkosten von ~0,9 Mio. Euro im Neubau (Retrofit ~1,4 Mio. Euro), womit sich Amortisationszeiten im Neubau ohne Förderung von 16-20 Jahren ergeben. Die relativen Mehrkosten des LNG-Antriebs sind bei größeren Schiffen bzw. leistungsstärkeren Antrieben gegenüber den größeren Einspareffekten gering – infolgedessen sinkt die Amortisationszeit mit zunehmender installierter Antriebsleistung²².

Alle oben genannten Amortisationszeiten können bei erfüllten Zuwendungsvoraussetzungen durch Inanspruchnahme des entsprechenden Förderprogramms²³ zur nachhaltigen Modernisierung von Binnenschiffen verkürzt werden.

Anwendbarkeit und Einschränkungen

Die vorgestellten Konzepte sind generell für Neubau und Retrofit aller Schiffstypen anwendbar.

Vater-Sohn-Konzept und dieselelektrischer Antrieb sind aufgrund ihrer oben beschriebenen Charakteristika insbesondere bei Betriebsprofilen sinnvoll, die jeweils signifikante Zeitanteile in unterschiedlichen Lastbereichen aufweisen, z.B. in der Frachtschiffahrt auf Flüssen – mit Volllast in Bergfahrt einerseits und niedriger Teillast in Talfahrt andererseits.

Hybridantriebe sind in folgenden Konstellationen denkbar: a) Zum Ausgleich von Lastspitzen – hier können Batterie und Elektromotor einen kleiner ausgelegten Verbrennungsmotor im Fall von Lastspitzen ergänzen, in der Frachtschiffahrt z.B. beim Manövrieren oder während der Be- und Entladung. b) Zum Betrieb des Verbrennungsmotors mit optimaler Last – in diesem Fall wird der Verbrennungsmotor nur zum Laden der Batterie im optimalen Lastpunkt betrieben und bleibt ansonsten ausgeschaltet, während der batteriegespeiste Elektromotor den Antrieb im niedrigen Lastbereich übernimmt, z.B. während der leeren Talfahrt.

Einschränkungen ergeben sich für LNG aus dem derzeit noch lückenhaften Bunkernetz und fehlenden Vorschriften – eine flächendeckende Verfügbarkeit infolge allgemeiner Nachfrage in Industrie und Verkehr ist zu erwarten. In der Binnenschiffahrt scheinen LNG-Antriebe aufgrund des im Vergleich zum Dieselantrieb erhöhten Tankraumbedarfs vor allem für größere Frachtschiffe bzw. infolge geringerer Emissionen in der Fahrgastschiffahrt geeignet zu sein.

²² „Contribution to Impact Assessment of Measures for Reducing of Emissions in Inland Navigation“, Panteia, June 2013

²³ „Richtlinie über Zuwendungen für Binnenschiffahrtsunternehmen zur nachhaltigen Modernisierung von Binnenschiffen“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, 21. Juli 2015 (BANz AT 29.07.2015 B2)

3.4.5 Optimierung der Koppelstelle im Schubbetrieb

Beschreibung

Im Schubbetrieb tritt bei der Umströmung der Koppelstelle eine Unstetigkeit in der Schiffssilhouette auf. Aus dieser Unstetigkeit resultieren eine Strömungsablösung/Wirbel sowie Oberflächenwellen, die effizienzmindern wirken und einen Teil der Maschinenleistung für sich beanspruchen – also zu erhöhtem Verbrauch bei vergleichbarer Geschwindigkeit bzw. zu niedriger erzielbarer Geschwindigkeit bei gleichem Verbrauch führen.

Wird die Unstetigkeitsstelle in ihrer Ausprägung gemildert und somit sowohl die Wirbel- als auch die Wellenbildung reduziert, können eine Steigerung der Effizienz, Anpassung der Maschinenauslegung und Senkung des Verbrauchs erreicht bzw. ermöglicht werden. In Modell- und Großversuchen konnte gezeigt werden, dass der Einsatz von keilförmigen Volumenelementen an der Koppelstelle einen zweistelligen Prozentsatz an Leistungs- und somit Treibstoffeinsparung mit sich bringen kann²⁴.

Anforderungen im Praxiseinsatz werden bei Einsatz von variablen Volumenelementen eine praktikable Handhabung und Lagerung sowie ausreichende Robustheit der Elemente sein. Eine hydrodynamische Optimierung der Koppelstelle mittels CFD (siehe Abschnitt 3.4.3 Rumpf- bzw. Linienoptimierung mittels CFD) kann sowohl für ständig als auch nur zeitweise gekoppelte Einheiten vorgenommen werden, wobei bei nur zeitweise gekoppelten Verbänden beide Betriebszustände (gekoppelt/nicht gekoppelt) untersucht werden müssten.

Abschätzung Energieeinsparpotenzial, Investitionskosten und Amortisationszeit

Das Einsparpotenzial wird mit Verweis auf die vom DST durchgeführten Untersuchungen²⁴ konservativ auf 10% geschätzt. Die Investitionskosten können im Rahmen dieser Studie nur grob abgeschätzt werden. Bei Kosten im unteren fünfstelligen Eurobereich für die Anwendung von Volumenelementen ergäbe sich eine Amortisationszeit von rund zwei Jahren – eine CFD-basierte Optimierung hingegen ist mit deutlich höheren Einmalkosten anzusetzen (siehe Abschnitt 3.4.3).

Die Amortisationszeit kann bei erfüllten Zuwendungsvoraussetzungen durch Inanspruchnahme des entsprechenden Förderprogramms²⁵ zur nachhaltigen Modernisierung von Binnenschiffen verkürzt werden.

Anwendbarkeit und Einschränkungen

Das beschriebene Konzept ist generell im Neubau von Schub- und Koppelverbänden und in der fahrenden Flotte anwendbar. Zur besseren Abschätzung von Anwendbarkeit, Energieeinsparpotenzial, Investitionskosten und Amortisationszeit scheinen weitere Untersuchungen in enger Zusammenarbeit mit der europäischen Binnenschifffahrt sinnvoll.

²⁴ „Strömungstechnische Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen von Binnenschiffen“, Dipl.-Ing. J. Zöllner, DST, Vortrag beim ZKR Kongress „Rheinschifffahrt und Klimawandel“, 24./25. Juni 2009 in Bonn;
„Verminderung des Antriebsleistungsbedarfs eines Koppelverbandes, bestehend aus schiebendem Motorschiff und Schubleichter, durch Auffüllen der Koppelstelle mit flexiblen Elementen“, Dipl.-Ing. Joachim Zöllner, Dipl.-Ing. Hermann Lochte-Holtgreven, VBD-Bericht 1533 - August 2000

²⁵ „Richtlinie über Zuwendungen für Binnenschifffahrtsunternehmen zur nachhaltigen Modernisierung von Binnenschiffen“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, 21. Juli 2015 (BAnz AT 29.07.2015 B2)

3.4.6 Kurzfristig zu Einsparergebnissen führende Maßnahmen („Quick Wins“)

Die in diesem Abschnitt aufgezählten Maßnahmen verdienen vor dem Hintergrund ihres niedrigen Kostenaufwandes und dem im Vergleich dazu signifikanten Energieeinsparpotenzial Erwähnung – ihre Umsetzung wird in vielen Fällen bereits Standard im täglichen Binnenschiffahrtsbetrieb sein.

Pflege von Propeller und Rumpf – Kontrolle und Reparatur

Propeller:

- Regelmäßige Sichtkontrolle
- Nacharbeiten von Kanten
- Propeller wuchten und Steigung kontrollieren

Rumpf:

- Anker vollständig vorhieven
- Kein „Mitschleppen“ von Reibhölzern etc. außenbords
- Beseitigung größerer Ausformungen/Beulen, besonders im Bugbereich
- Auf ebenen Auftrag des Coatings achten
- Stark überstehende Schweißungen glätten

Wartung Hauptmaschine und Aggregat – Allg. Maschinenpflege bzgl. Energieeffizienz (Luftfilter etc.)

- Luftfilter regelmäßig säubern/wechseln, Kontrolle durch Unterdruckanzeiger mit Alarm bei Erreichen des maximal zulässigen Ansaugunterdrucks
- Maschinen kühlwasserseitig regelmäßig entlüften, um Hitzenester zu unterbinden
- Vorgeschriebene Öle fahren und Wechselintervalle einhalten
- Kraftstoff/Wasser-Abscheider im Kraftstoffzulauf regelmäßig kontrollieren
- Einspritzorgane regelmäßig kontrollieren lassen
- Ladeluftdruck/Abgastemperaturen kontrollieren
- Ladeluftkühlerelemente und Turbolader regelmäßig säubern/warten/ersetzen
- Auf freie Zuluft zum Motor achten
- Kraftstoff nicht zu warm fahren, ggf. Kühler im Rücklauf installieren
- Vorgeschriebenen Kraftstoff bunkern, auf Proben bestehen und ggf. bei Leistungsabfall bzw. Mehrverbrauch gebunkerte Kraftstoffqualität überprüfen lassen

4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Energieeffizienz und Treibstoffverbrauch spielen in der deutschen Binnenschifffahrt quer durch alle Segmente und Unternehmensgrößen eine signifikante Rolle. Treiber dafür sind im Wesentlichen der hohe Anteil der Bunkerkosten an den Gesamtbetriebskosten, die wirtschaftlich schwierige Lage etlicher Unternehmen, insbesondere vieler Partikuliere, sowie gesellschaftliche und gesetzliche Rahmenbedingungen.

So relevant das Thema, so schwierig ist häufig die Umsetzung effektiver, verbrauchssenkender Maßnahmen: Zum einen fehlen häufig finanzielle Mittel zur Umsetzung investitionsintensiver Maßnahmen, zum anderen fundierte Kenntnisse und Fähigkeiten zur kaufmännischen Bewertung und Umsetzung derselben. Beide Faktoren dürften wiederum bei Partikulieren stärker ausgeprägt sein als in mittleren und größeren Unternehmen.

Interesse und der Bedarf an wirksamer Energieberatung sind generell groß, jedoch ist das Angebot an professioneller Energieberatung für die Binnenschifffahrt gering und die Kenntnis staatlicher Förderprogramme schwach ausgeprägt.

Signifikante Potenziale zur Einsparung von Treibstoff bestehen sowohl auf betrieblicher als auch auf technischer Seite. Aus der vorliegenden Bewertung ergeben sich fünf priorisierte Maßnahmen, die im Einzelfall zur Prüfung empfohlen werden:

- Energiebewusstes Fahren: Aus- und Weiterbildung der Schiffsführer
- Optimierung der Strömung im Propulsionsbereich
- Rumpf- bzw. Linienoptimierung mittels CFD
- Alternative Antriebskonzepte
- Optimierung der Koppelstelle im Schubtrieb

Vorteil vieler betrieblicher Maßnahmen, z.B. der Aus- und Weiterbildung von Schiffsführern zum energiebewussten Fahren, ist ihre kurze Amortisationszeit infolge geringer Kosten. Technische Maßnahmen sind häufig investitionsintensiv und weisen somit längere Amortisationszeiten auf. Explizit sei in diesem Zusammenhang jedoch auf die staatlichen Förderprogramme (<https://www.elwis.de/Foerderprogramme/index.html>) hingewiesen, die sowohl Aus- und Weiterbildung als auch technische Maßnahmen finanziell fördern. Bei erfüllten Zuwendungsvoraussetzungen können diese zu einem geringeren Bedarf an Eigenmitteln bzw. verkürzten Amortisationszeiten führen und dürften daher gerade für Unternehmen und Partikuliere mit geringer Investitionskraft ausschlaggebend für die Durchführung von EE-Maßnahmen sein.

Infrastrukturelle Maßnahmen wie der Ausbau und Erhalt deutscher Wasserstraßen und technischer Bauwerke, Leit- und Informationssysteme etc. können einen weiteren erheblichen Beitrag zur Senkung des Treibstoffverbrauchs in der heimischen Binnenschifffahrt leisten – diese sind nicht Gegenstand der Studie, seien aufgrund ihres signifikanten Einflusses auf die Energieeffizienz jedoch erwähnt.

Neben Förderprogrammen und der Empfehlung von EE-Maßnahmen scheint in mittleren und großen Unternehmen ein umfassenderer Ansatz zur Erzielung von Verbrauchs- und CO₂-Senkungen erforderlich. In der Gruppe der Partikuliere erscheint ein verstärkter Fokus auf kaufmännische Fähigkeiten zur Bewertung von EE-Maßnahmen sinnvoll, z.B. durch Aus- und Weiterbildung.

Zusammenfassend werden zur Senkung des Treibstoffverbrauchs in der deutschen Binnenschifffahrt folgende Schritte empfohlen:

- Benennung qualifizierter Energieberater für die Binnenschifffahrt
- Angebot umfassender Energieberatung in drei Schritten zur Erzielung substantieller Verbrauchssenkungen
 1. Verstehen der Ausgangslage
 2. Ausarbeitung von Lösungen
 3. Vorbereitung der Umsetzung
- Umsetzung eines breiten Ansatzes zur Steigerung der Energieeffizienz
 - Detaillierte Bewertung technischer und betrieblicher Maßnahmen zur Verbrauchssenkung
 - Berücksichtigung „organisatorischer Rahmenbedingungen“
- Bessere Kommunikation staatlicher Förderprogramme und des Leistungsangebots qualifizierter Energieberater
- Schaffung einer kontinuierlich zu erweiternden Übersicht erfolgreich umgesetzter verbrauchssenkender Maßnahmen sowie einer Maßnahmenübersicht je Binnenschiffssegment
- Verstärkter Fokus auf kaufmännische Fähigkeiten in Aus- und Weiterbildung in der Gruppe der Partikuliere
- Allgemein bessere Kommunikation des Themenbereiches Verbrauchsreduktion, z.B. Herausgabe einer Broschüre über die wichtigsten betrieblichen und schiffstechnischen Maßnahmen, Aufbau einer Webseite als Informationsplattform für alle wesentlichen Aspekte der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen

Zum weiteren Aufbau praxisrelevanter Aspekte der Energieeinsparung in der Binnenschifffahrt scheinen vertiefende Untersuchungen zu folgenden Themen besonders sinnvoll:

- Relevanz von EE-Maßnahmen in unterschiedlichen Binnenschiffssegmenten und unter Berücksichtigung verschiedener Betriebsprofile
- Effizienz kombinierter Einsparmaßnahmen
- Eckpunkte und Details eines praktikabel umsetzbaren Kennzahlen- und Berichtswesens

Der Fokus der Binnenschifffahrt auf treibstoffsparendes Verhalten und unterstützende technische Maßnahmen wird mit einem auf mittlere bis lange Sicht erwarteten Anstieg der Rohöl- und Treibstoffpreise weiter steigen. Politische und infrastrukturelle Rahmenbedingungen können weitere Verbrauchssenkungen der Binnenschifffahrt beschleunigen und damit den Anteil der im Vergleich zu anderen Massentransportmitteln wenig energieintensiven Binnenschifffahrt am deutschen und europäischen Gesamttransportvolumen stärken.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Interviewpartner	5
Abbildung 2: Unternehmensstruktur Binnenschifffahrt 2013	6
Abbildung 3: Aufbau Energieberatung Binnenschifffahrt	12
Abbildung 4: Langliste der Energieeinsparmaßnahmen	17
Abbildung 5: Beispiel einer CFD-Analyse für ein Binnenschiff	22