



Bern, 1. November 2023

Klimaschutzpotenzial in der Schifffahrt

Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulates 19.3485
(Flach) vom 9. Mai 2019

1	Auftrag	
2	Technologische Einordnung des Postulats und Abgrenzung	3
3	Verkehrspolitische Ziele in Bezug auf die Emissionsverringerung.....	4
3.1	Seeschifffahrt.....	5
3.2	Gewerbliche Binnenschifffahrt auf europäischen Wasserstrassen	5
3.3	Gewerbliche Schifffahrt auf Schweizer Seen und Flüssen	6
3.4	Freizeitschifffahrt	6
4	Schrittweise Verschärfung der technischen Normen mit der Weiterentwicklung der Technologie	7
5	Beispiele elektrischer Passagierschiffe in der Schweiz	7
6	Beispiele innovativer Projekte am Rhein	8
7	Zukünftige Energieträger für die Schifffahrt.....	9
7.1	Batterien und Batteriesysteme.....	9
7.2	Wasserstoff.....	10
7.3	Methanol.....	10
7.4	Ammoniak.....	11
7.5	Synthetische Treibstoffe	11
8	Regulierungs- und Sicherheitsaspekte	12
9	Kostenschätzung für die Umrüstung und alternative Kraftstoffe	13
10	Energiequellen und Verfügbarkeiten.....	13
11	Sparsames Fahren und Abgasnachbehandlungssysteme als kurzfristige Massnahmen	14
12	Fazit - langfristig	15

1 Auftrag

Mit dem vorliegenden Bericht erfüllt der Bundesrat das Postulat Flach «Klimaschutzpotenzial in der Schifffahrt» (19.3485) vom 9. Mai 2019. Das Postulat hat folgenden Wortlaut:

«Der Bundesrat wird beauftragt, einen Bericht zur Schifffahrtspolitik vorzulegen und Massnahmen zur Realisierung von Klimaschutzpotenzialen in der Schifffahrt vorzuschlagen.»

In der Begründung geht das Postulat insbesondere auf die internationale Seeschifffahrt und die globalen CO₂-Emissionen dieses Sektors ein. Es erwähnt die Ziele der «International Maritime Organization» (IMO), die Emissionen bis 2050 um mindestens 50% im Vergleich zum Jahr 2008 zu senken. Flach untermauert seine Begründung mit einem Fallbeispiel einer Elektrofähre aus Norwegen, welche 120 Autos und 350 Passagiere transportiert.

In seiner Stellungnahme vom 4. September 2019 erklärt der Bundesrat:

«Innovative Lösungen zur Reduktion von CO₂-Emissionen zu ermöglichen und zu fördern ist im nationalen Interesse. Das Haupthindernis für die rasche Verbesserung der CO₂-Bilanz in der Schifffahrt liegt in der Finanzierbarkeit und den teilweise noch fehlenden marktreifen nachhaltigen Antrieblösungen. Der Bundesrat ist bereit, in einem kurzen Bericht einen Überblick zu nachhaltigen Lösungen in der Binnenschifffahrt vorzulegen.»

Das am 9. Mai 2019 eingereichte Postulat wurde am 3. Juni 2021 vom Nationalrat angenommen und an das Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) – Bundesamt für Verkehr (BAV) überwiesen.

2 Technologische Einordnung des Postulats und Abgrenzung

Im Interesse einer nachhaltigen und zukunftsgerichteten Schifffahrtspolitik soll der Bundesrat einen Bericht mit konkreten Aussagen über das Potenzial der Schifffahrtspolitik im Umweltbereich vorlegen. Dieser soll auch zeigen, in welchem Umfang eine Verschärfung der technischen Vorschriften den Übergang zu einer elektrifizierten und nachhaltigeren Schifffahrt beschleunigen könnte.

Das Postulat wurde an das UVEK überwiesen. Der Bundesrat hat bei der Annahme erklärt, dass er sich auf nachhaltige Lösungen für die Binnenschifffahrt in der Schweiz und auf dem Rhein beschränken wird, da die Schweiz in diesem geografisch und regulatorisch näher liegenden Bereich eher etwas bewegen kann als in der Seeschifffahrt. Er gibt einen Überblick über aktuelle und zukünftige technologische Möglichkeiten alternativer Antriebssysteme, über Energieträger und deren Verfügbarkeiten, über die Entwicklung technischer Vorschriften und die Schaffung rechtlicher Grundlagen, welche die Branche finanziell unterstützen sollen bei der Umrüstung der Flotten. Zudem weist der Bericht auf Gesetzesrevisionen hin, welche die Aufhebung von aktuellen Steuererleichterungen vorsehen (siehe Kapitel 3.2).

Zur besseren Einordnung des im Postulat erwähnten Beispiels der norwegischen Elektrofähren wird zu Beginn die folgende technologische Einschätzung vorausgeschickt: die norwegischen Elektrofähren charakterisieren sich durch kurze Fahrten mit anschliessenden Liegezeiten. Diese ermöglichen einen batterieelektrischen Antrieb dieser Schiffe, welcher für Schifffahrtsunternehmen und Passagiere sinnvoll eingesetzt werden kann. Die Batterien werden nach jeder Fahrt aufgeladen, was jedoch die Lebenserwartung der Batterien einschränkt. 4000 Ladezyklen geben die Batteriehersteller momentan als durchschnittliche Lebensdauer an¹; mit einmal Laden pro Tag halten die Batterien etwa 10 Jahre, mit 10 täglichen Ladungen halten sie vermutlich nur ein bis zwei Jahre. Momentan fehlen Studien zu den

¹ [Degradation of Commercial Lithium-Ion Cells as a Function of Chemistry and Cycling Conditions - IOPscience](#): Nach diesem Artikel und verschiedenen Praxiserfahrungen scheinen 3000 bis 4000 Zyklen für LFP üblich zu sein und 1000-2500 für NMC, sowie 500-100 Zyklen für NCA.

Gesamtemissionen der Fahrzeuge über ihren Lebenszyklus, einschliesslich der CO₂-Emissionen für den Bau und das Recycling der über die gesamte Lebensdauer des Schiffs verwendeten Batterien und Baukomponenten. Ein Dieselmotor in einem Schiff hat eine Lebenserwartung von etwa 30 bis 40 Jahren, die batteriebetriebene Fähre müsste in diesem Zeitraum mindestens dreimal ihre Batteriepakete ersetzen (bei täglich einer Ladung). Es braucht Recyclingmöglichkeiten, welche zurzeit in Europa entwickelt werden², sowie Risikoanalysen betreffend Umgang bei Bränden, Kollisionen und Lecks von elektrisch betriebenen Schiffen.

3 Verkehrspolitische Ziele in Bezug auf die Emissionsverringerung

Der Bundesrat hat am 27. Januar 2021 eine langfristige Klimastrategie verabschiedet, welche auf dem Übereinkommen von Paris gründet³. Die Strategie legt fest, dass das Ziel der Netto-Null Treibhausgasemissionen bis 2050 erreicht werden soll. In der Strategie werden Klimaziele für verschiedene Sektoren beschrieben, unter anderem auch für den Verkehr. Für die Umsetzung dieser Klimaziele in der Schifffahrt müssen verschiedene rechtliche Grundlagen geschaffen werden. Um eine bedeutende Emissionsreduktion in der Binnenschifffahrt zu erreichen, braucht es finanzielle Anreize, welche Anpassungen auf Gesetzesstufe verlangen, damit eine Teilförderung der gewerblichen Schifffahrt durch den Staat überhaupt möglich wird. Ohne finanzielle Förderung ist die Schifffahrt nicht in der Lage, Investitionen in Pilotprojekte zu tätigen und später die Umstellung der Flotte auf klimafreundliche Antriebe zu finanzieren. In den Entwürfen des neuen CO₂-Gesetzes und des Gütertransportgesetzes wurden diese Forderungen aufgenommen. Neue Schiffe, welche im Betrieb massgeblich weniger Treibhausgasemissionen und Luftschadstoffe ausstossen, kann der Bund mit Investitionsbeiträgen fördern. Das neue CO₂-Gesetz sieht ebenfalls vor, dass die Mineralölsteuerbefreiung für die konzessionierte Schifffahrt ausläuft. Zudem besteht mit dem Klima- und Innovationsgesetz (KIG)⁴ eine Fördermöglichkeit für neuartige Technologien und Prozesse. Voraussichtlich sollen auch Betreiber von Schiffen für entsprechende Massnahmen Fördermittel beantragen können.

Im National- und Ständerat wurden in den letzten Jahren verschiedene Postulate zum Thema emissionsfreier Verkehr eingereicht. Der Bundesrat verweist auf diese Arbeiten betreffend «Phase-out» von Verbrennungsmotoren und auf den Bericht **Fossilfreier Verkehr bis 2050**⁵ in Erfüllung der Postulate 20.4627, Grossen, 17.12.2020; 20.4640 Jauslin, 17.12.2020; 20.4694 Romano, 18.12.2020. Jener Bericht hält fest, dass in der Schweiz Massnahmen zum Phase-Out von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor im Gleichschritt mit der EU umgesetzt werden sollen, nicht unabhängig davon und auch nicht früher. Von verfrühten fahrzeugrechtlichen Massnahmen wie einem Typengenehmigungsstopp (mit der Folge eines «Zulassungsstopps» oder «Verkaufsstopps») sollte vollständig abgesehen werden, da diese im Konflikt mit den internationalen Verpflichtungen der Schweiz stehen würden. Dem Bericht zufolge könnten Massnahmen, die ein Phase-Out von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor ermöglichen, die Grundrechte der Wirtschaftsfreiheit und der Eigentumsgarantie beeinträchtigen. Diese Eingriffe wären jedoch durch die Verhältnismässigkeit der geplanten Massnahmen legitimiert und daher zulässig. Der Bericht spricht nur am Rande von der Schifffahrt, die Schlussfolgerungen können aber auf die Schifffahrt übertragen werden.

Die Umsetzung der Klimaziele muss für verschiedene Bereiche der Schifffahrt separat betrachtet werden, da diese unterschiedlichen Vorschriften, internationalen Abkommen und technischen Voraussetzungen unterliegen. Es ist zu unterscheiden zwischen der Seeschifffahrt (3.1), der gewerblichen Binnenschifffahrt auf europäischen Wasserstrassen (3.2), der gewerblichen Schifffahrt auf Schweizer Seen und Flüssen (3.4) und der Freizeitschifffahrt (3.5). In diesem Bericht geht der Bundesrat vor allem auf die gewerbliche Binnenschifffahrt in der Schweiz und in Europa ein.

² <https://battery-news.de/2023/01/27/batterie-recycling-in-europa-stand-01-2023/>

³ [Langfristige Klimastrategie 2050 \(admin.ch\)](#)

⁴ FF 2022 2403

⁵ <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/80421.pdf>

3.1 Seeschifffahrt

Für die Seeschifffahrt verweist der Bundesrat auf die angestossenen Arbeiten zur Revision des Seeschifffahrtsgesetzes vom 23. September 1953⁶ und auf die maritime Strategie vom 2. Juni 2023⁷. In der maritimen Strategie ist die Modernisierung der Schweizer Flagge eine der thematischen Prioritäten mit hohen Sicherheits- und Nachhaltigkeitsstandards, um den aktuellen Bedürfnissen der beteiligten Parteien besser Rechnung zu tragen. Auch in der Internationalen Seeschifffahrtsorganisation (IMO) ist das EDA aktiv an den Diskussionen betreffend klimafreundliche Schifffahrt involviert. Hier hat sich die Schweiz im Rahmen der Revision der IMO Treibhausgas-Strategie für eine Schärfung der Reduktionsziele auf Netto-Null 2050 eingesetzt. Die Treibhausgas-Strategie wurde mit diesem Ziel angenommen. Die Schweiz setzt sich für die Erreichung dieses Ziels durch technische und marktbasierte Massnahmen ein.

Ab 2024 erfolgt der Einbezug der Schifffahrt ins Emissionshandelssystem (EHS) der EU. Dabei werden alle Fahrten zwischen den Häfen der EU sowie von und zu Häfen von Drittstaaten erfasst, sofern sie mit Schiffen mit einer Bruttoregistrertonne von mindestens 5000 Bruttoregistertonnen erfolgen. In den Schweizer Rheinhäfen legen nur kleinere Schiffe an. Somit sind die Schweizer Rheinhäfen nicht Teil des Geltungsbereichs des EHS der EU. Die in der Schweiz ansässigen Schifffahrtsunternehmen nehmen jedoch am EHS der EU teil und müssen ab 2024 für die ausgestossenen Treibhausgasemissionen Emissionsrechte abgeben. Die administrative Verwaltung des EHS erfolgt für die im Inland ansässigen Schifffahrtsunternehmen nicht durch die Schweiz, sondern durch denjenigen Mitgliedstaat der EU, in dem die meisten Hafenanläufe des jeweiligen Schifffahrtsunternehmens zu verzeichnen sind.

3.2 Gewerbliche Binnenschifffahrt auf europäischen Wasserstrassen

Die wichtigste Wasserstrasse Europas ist der Rhein, über welchen gut 10% der Güter in die Schweiz importiert werden. Die Vorschriften für den Rhein werden in der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR) entwickelt, welche 1815 am Wiener Kongress eingesetzt wurde und mit der Revidierten Rheinschifffahrtsakte vom 17. Oktober 1868 (Mannheimer Akte)⁸ die rechtliche Grundlage für ihre Arbeiten erhalten hat. Der ZKR ist bewusst, wie wichtig innovative Projekte für die Weiterentwicklung umweltfreundlicher Technologien in der Schifffahrt sind. Die Schweiz hat 2018 zusammen mit allen Mitgliedsstaaten der ZKR die Mannheimer Erklärung⁹ unterzeichnet, die das Ziel einer de facto klimaneutralen Binnenschifffahrt 2050 verfolgt. Zur Erreichung dieses Ziels hat die ZKR eine Roadmap¹⁰ entwickelt, die eine Reihe von Massnahmen in Bezug auf Szenarien für die verschiedenen Typen von Binnenschiffen auflistet. Es werden auch Überlegungen zum Finanzierungsbedarf der Energiewende und zu möglichen «No-regret»-Investitionen, sowie zu einem Label-System angestellt. Die aktuellen technischen Vorschriften¹¹ enthalten bereits gewisse Vorgaben für elektrische Antriebe, Akkumulatoren, und Antriebssysteme, die mit Brennstoffen mit einem Flammpunkt von 55°C oder darunter betrieben werden (LNG, Methanol, Wasserstoff in Verbrennungsmotoren oder Brennstoffzellen). Detaillierte Vorschriften werden derzeit entwickelt (siehe Kapitel 7 und 8). Um schon heute innovative Schiffe als Pilotprojekte in Verkehr zu bringen, gibt die ZKR Empfehlungen an die Zulassungsbehörden, wie solche innovativen Schiffe doch zugelassen und die nötigen Sicherheitsstandards erfüllt werden können (siehe Kapitel 6).

Um die klimapolitischen Ziele zu erreichen, müssen die ZKR-Mitgliedstaaten¹² heute einzelne Rechtsgrundlagen untersuchen und gegebenenfalls anpassen, wie zum Beispiel das Abkommen von 1952 über die zoll- und abgabenrechtliche Behandlung des Gasöls, das als Schiffsbedarf in der Rheinschifffahrt verwendet wird (Gasölabkommen)¹³. Laut diesem Abkommen werden auf Gasöl, welches Schiffe für ihren Antrieb und für die Erzeugung von Bordstrom brauchen, keine Zölle oder sonstige Abgaben

⁶ SR 747.30

⁷ <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/79168.pdf>

⁸ SR 0.747.224.101

⁹ <https://www.zkr-kongress2018.org/900-de.html>

¹⁰ « Roadmap der ZKR zur Verringerung der Emissionen in der Binnenschifffahrt»: Zentralkommission für die Rheinschifffahrt - Roadmap der ZKR zur Verringerung der Emissionen (ccr-zkr.org)

¹¹ [Europäischer Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe \(ES-TRIN\)](#): ES-TRIN 2023 (cesni.eu)

¹² Die fünf Mitgliedstaaten sind Belgien, Deutschland, Frankreich, die Niederlande und die Schweiz.

¹³ SR 0.631.253.224.1

erhoben. Damit neue Energieträger gefördert werden können und die Branche mit Anreizen finanziell unterstützt werden kann, braucht es eine Anpassung des Abkommens, welche mit den aktuellen klimapolitischen Zielen zu vereinbaren ist. Wie eine Anpassung des Gasölabkommens im Detail ausgestaltet werden soll, wird aktuell unter den ZKR-Mitgliedstaaten verhandelt.

3.3 Gewerbliche Schifffahrt auf Schweizer Seen und Flüssen

In der Schweiz verkehren etwa 150 Passagierschiffe konzessionierter Schifffahrtsunternehmen und etwa gleich viele Güterschiffe, welche Sand und Kies transportieren. Es gibt auch in diesen Bereichen Bestrebungen, diese Schiffe mit alternativen Treibstoffen zu betreiben; die Umrüstung ist allerdings teuer und es braucht finanzielle Anreize. Das neue CO₂-Gesetz soll voraussichtlich am 1. Januar 2025 in Kraft treten. Es beinhaltet unter anderem Fördermassnahmen für die konzessionierte Schifffahrt, welche die Ablösung älterer Motoren durch klimafreundliche Antriebssysteme finanziell möglich machen soll. Ebenfalls am 1. Januar 2025 soll das Klima- und Innovationsgesetz (KIG) in Kraft treten. Gemäss Artikel 6 sichert der Bund Finanzhilfen für die Anwendung von neuartigen Technologien und Prozessen zu, die der Umsetzung der Netto-Null-Fahrpläne oder einzelner Massnahmen davon dienen. Voraussichtlich sollen auch Betreiber von Schiffen für entsprechende Massnahmen Fördermittel beantragen können. Der Entwurf des revidierten Gütertransportgesetzes beinhaltet unter anderem Fördermassnahmen für klimafreundliche Antriebe für die Güterschifffahrt auf dem Rhein und auf den Schweizer Seen.

Um die Ziele einer Emissionsreduktion in der Schifffahrt umsetzen zu können, ist die finanzielle Unterstützung innovativer Projekte wichtig. Im öffentlichen Verkehr finanziert das Programm «Energiesstrategie im öffentlichen Verkehr 2050»¹⁴ (ESöV) beispielsweise auch innovative Projekte aus der Schifffahrt. Der Bundesrat ist überzeugt, dass innovative Projekte in Feldversuchen Erfahrungen und Wissen generieren, welche der Weiterentwicklung der Technologien dient. Nur auf diesem Weg wird es möglich sein, weitgehend klimaneutrale und gleichzeitig sichere Energieträger und Antriebssysteme zur Marktreife zu bringen.

Die seit 2020 erhobenen Energiekennzahlen¹⁵ zeigen, dass die Personenschifffahrt mit ca. 7% den drittgrössten Anteil am CO₂-Ausstoss des öffentlichen Verkehrs ausmacht. Das sind 0.026 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente; der gesamte Sektor Verkehr in der Schweiz emittiert aus fossilen Treibstoffen 13.87 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr¹⁶. Der Bundesrat setzt sich seit einigen Jahren für eine Politik der schrittweisen Emissionsminderung bei neuen Schiffsmotoren ein. Die Anforderungen für die Typenzulassung wurden hinsichtlich der Emissionsgrenzwerte schrittweise verschärft. In der Schweiz wurde das durch eine Revision der Verordnung über die Anforderungen an Schiffsmotoren auf schweizerischen Gewässern (VASm)¹⁷ umgesetzt, welche im gewerblichen Bereich die gleichen Anforderungen wie die EU festlegt (NRMM-Verordnung; EU 2016/1628)¹⁸. Neben den Emissionsgrenzwerten müssen auch die technischen Normen (weiter)entwickelt werden, um eine angemessene Sicherheit für neue Technologien (z. B. im Zusammenhang mit grossen Batterien an Bord) zu gewährleisten.

3.4 Freizeitschifffahrt

In der Freizeitschifffahrt setzen die Hersteller heute vor allem bei kleinen Segelbooten auf elektrische Motoren, welche ihnen bei der Einfahrt in den Hafen oder bei Flaute weiterhelfen. Bei den Motorbooten gibt es einzelne Hersteller, welche Elektroboote verkaufen, einige auch mit Foils. Bei foilenden Booten wird der Rumpf aus dem Wasser gehoben, so dass sie in diesem schwebenden Zustand auf weniger Widerstand treffen und sich mit weniger Energieaufwand fortbewegen können. Allerdings sind dazu höhere Geschwindigkeiten nötig, welche bei viel Verkehr das Foilen nicht ermöglichen. Die Reichweite

¹⁴ Bundesamt für Verkehr BAV Energiesstrategie 2050 ([admin.ch](#)).

¹⁵ Energiekennzahlen öV 2020 (Bundesamt für Verkehr, 2023)

¹⁶ Treibhausgasemissionen des Verkehrs ([admin.ch](#))

¹⁷ SR 747.201.3

¹⁸ Règlement (UE) 2016/1628 du Parlement européen et du Conseil du 14 septembre 2016 relatif aux exigences concernant les limites d'émission pour les gaz polluants et les particules polluantes et la réception par type pour les moteurs à combustion interne destinés aux engins mobiles non routiers, modifiant les règlements (UE) n° 1024/2012 et (UE) n° 167/2013 et modifiant et abrogeant la directive 97/68/CE

elektrisch betriebener Boote ist allerdings durch die Speicherleistung und das Gewicht der Batterien beschränkt.

Die Internationale Schifffahrtskommission für den Bodensee macht sich zurzeit Gedanken, wie auch die Freizeitschifffahrt einen Umstieg auf alternative Energie für den Schiffsantrieb schaffen kann. Im Grundsatz stellen sich die Fragen, ob ein «Phase-out» für Verbrennungsmotoren auch in der Freizeitschifffahrt gemacht werden soll und wenn ja wann. Auf EU-Ebene gibt es momentan keine konkreten Bestrebungen für ein «Phase-out» für die Freizeitschifffahrt.

Wie bei der Grossschifffahrt fehlt auch für die Freizeitschifffahrt heute weitgehend die Ladeinfrastruktur in den Häfen.

4 Schrittweise Verschärfung der technischen Normen mit der Weiterentwicklung der Technologie

In der Schifffahrt existiert heute noch keine etablierte, sichere und einfach einsetzbare Energiealternative zu fossilen Brennstoffen, insbesondere für grosse Schiffe, welche lange unterwegs sind, ohne nachtanken zu können. Der Bundesrat ist der Ansicht, dass momentan keine Verschärfung der Vorschriften vorgenommen werden sollte, welche in naher Zukunft zu einem Verbot von fossilen Treibstoffen in Schiffsmotoren führt. Dagegen braucht es zurzeit eine Förderung für den Ersatz alter Motoren und den Bau innovativer Schiffe durch die Bereitstellung wirtschaftlicher Anreize für die Realisierung neuer Projekte im Bereich der Emissionsminderung.

Eine zu schnelle Verschärfung technischer Vorschriften könnte das Gegenteil bewirken und zum Beispiel dazu führen, dass Antriebssysteme und Batterien zu schwer und sperrig werden und dass auf einen Energieträger gesetzt wird, welcher sich im Nachhinein als nicht geeignet für gewisse Schiffstypen herausstellt. In der Konsequenz werden technologische Weiterentwicklungen gehemmt. Innovative Projekte sollen möglichst technologieoffen entwickelt werden können. Je nach Schiffstyp und Fahrprofil muss ein anderes Antriebssystem und ein anderer Energieträger eingesetzt werden. Schub- und Schleppboote brauchen andere Maschinenleistungen als zum Beispiel kleine Passagierschiffe oder Güterschiffe. Auch müssen alternative Energien in genügender Menge, am richtigen Ort und zu einem bezahlbaren Preis vorhanden sein, nachhaltig produziert werden sowie sicher und kompakt in einem Schiff untergebracht werden können. Finanzierungsinstrumente und auch normative Vorgaben sollen darum möglichst technologieneutral gestaltet werden.

5 Beispiele elektrischer Passagierschiffe in der Schweiz

Trotz technischer und finanzieller Hürden gibt es zunehmend gute praktische Beispiele in der Schifffahrt, welche auf alternative Energien setzen: kleine elektrische Schiffe, welche ihre Batterien über Nacht aufladen können oder mittelgrosse Schiffe, welche ihre Batterien zwischen den Fahrten aufladen können, kommen vermehrt auf den Markt. In der Schweiz verkehren derzeit einige kleine elektrische Passagierschiffe, wie die drei neuen Limmatboote in Zürich oder die elektrischen Mouettes in Genf, bei welchen die Batterien über Nacht geladen werden können. Die Flotte der Mouettes mit maximal 60 Passagieren pro Schiff soll in den nächsten Jahren vollständig elektrifiziert werden. Einzelne Pilotprojekte wurden über das Programm ESöV gefördert: So verkehrt auf dem Luganersee das elektrische Passagierschiff Ceresio, welches 240 Personen fasst. Um einen ganzen Tag fahren zu können, muss es neben der Ladung über Nacht einmal pro Tag an einer Schnellladestation aufgeladen werden: diese ist zurzeit in Planung. Auf dem Greifensee wird das elektrische Motorschiff Heimat zwischen den Fahrten aufgeladen. Mit den beiden Schiffen Ceresio und Heimat wurden gut 90jährige Dieselschiffe elektrifiziert. Die Machbarkeit solcher Umbauten älterer Schiffe müssen von Fall zu Fall beurteilt werden; Platzverhältnisse, Gewichtsveränderungen oder die Kosten für einen solchen Umbau sind sehr unterschiedlich.

Sollen Schiffe im Ganztageseinsatz im engen Fahrplanbetrieb uneingeschränkt zum Einsatz kommen, sind weitere technologische Varianten zu prüfen. Auch in der Passagierschifffahrt wird der Bau und

Einsatz von kleinen, foilenden Passagierschiffen geprüft, welche die Passagiere auf dem Wasserweg schnell und klimaneutral ans Ziel bringen. Verschiedene sicherheitstechnische Aspekte dieser schnellen Schiffe müssen für die Zulassung noch geklärt werden. Vermutlich werden diese Schiffe mit elektrischer Energie aus Batterien oder Wasserstoff betrieben werden können.

Derzeit gibt es in der Passagierschiffahrt auf den Schweizer Seen jedoch noch keine praktischen Beispiele für grössere, rein elektrisch betriebene Schiffe. Die Energiespeichertechnologie erlaubt es zurzeit noch nicht, die erforderliche Betriebsautonomie zu gewährleisten. Der Einsatz von seriellen Hybrid-Motoren ist ein erster Schritt, den Treibstoffverbrauch und damit die CO₂-Emissionen zu reduzieren; ein diesel-elektrisches Schiff kann bis zu 30% CO₂ einsparen, da die Dieselgeneratoren immer im optimalen Drehzahlbereich laufen. Solche diesel-elektrischen Schiffe verkehren schon auf verschiedenen Seen.

In Zukunft sind aber auch auf Schweizer Seen vollständig klimaneutrale Antriebstechnologien anzustreben. Eine Studie aus dem Jahr 2021¹⁹ hat gezeigt, dass der Betrieb eines emissionsfreien Fahrgastschiffs auf einer kurzen Linie im Westen des Genfersees (Nyon - Yvoire) nicht nur technisch, sondern auch wirtschaftlich machbar wäre. Aus verschiedenen Gründen wie etwa fehlender Ladinfrasturktur wurde das Projekt aber noch nicht realisiert. Das Programm ESöV unterstützt aktuell den Umbau des diesel-elektrischen Fahrgastschiffs MS Saphir mit 300 Plätzen auf dem Vierwaldstättersee in ein klimaneutrales Elektro-Motorschiff, dessen Antrieb vermutlich aus einem Wasserstoff-Batterie-Hybridsystem bestehen wird.

6 Beispiele innovativer Projekte am Rhein

Die ZKR fördert mit ihren Empfehlungen betreffend die Zulassung innovativer Schiffe die Entwicklung der Innovation in der Binnenschiffahrt und ist ein bedeutendes Kompetenzzentrum in Europa. Die eingereichten Projekte sind unterschiedlich und betreffen Energieträger wie CNG (Methan), Wasserstoff oder Methanol. Ebenfalls werden verschiedene Energiewandler verwendet (Brennstoffzellen/Verbrennungsmotor). Die meisten Projekte werden auf Güterschiffen realisiert. Sie ermöglichen es, Erfahrungen mit einer Reihe neuer Technologien zu sammeln, um die technischen Standards danach anzupassen.

Die Mehrheit der Projekte basiert zurzeit auf Wasserstoff-Brennstoffzellen. Ein 110 m langes Containerschiff wurde zum Beispiel so umgebaut und verkehrt seit 2023 zwischen Rotterdam und Antwerpen²⁰. Mehrere Projekte sehen einen Energiespeicher mittels Wasserstoffcontainern vor, welche ausgetauscht werden können. Diese Technologie ist jedoch sehr teuer. Die Lagerung von Wasserstoff auf Schiffen muss unter erhöhten Sicherheitsbedingungen erfolgen. Bisher gibt es noch keine zertifizierten Container für die Lagerung von Wasserstoff. Eine Herausforderung wird sein, Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen in ausreichenden Mengen zu produzieren und am richtigen Ort zur Verfügung stellen.

Die ZKR hat 2022 beispielsweise eine Empfehlung für das 90 m langes Containerschiff «*Alphenaar*» erteilt, das mit zwei austauschbaren Batteriecontainern betrieben wird, die über feste Steckverbindungen mit dem Schiff verbunden sind.²¹ Jeder Container enthält mehrere Batterieracks mit einer Leistung von 1000 kW und einer Energiekapazität von über 2000 kWh. Mit zwei Batteriecontainern kann das Schiff zwischen 60 und 120 km weit fahren. Die entladenen Batteriecontainer können innerhalb von 15 Minuten an einer Ladestation ausgetauscht werden. Die Station kann zwei Container parallel in zweieinhalb Stunden aufladen. Eine interessante Besonderheit dieses Systems ist die Pay-per-Use-Finanzierung der Batteriecontainer. Dadurch können die Kosten für den Umbau bestehender Schiffe auf den Antrieb begrenzt werden. Das Schiff fährt derzeit in der Region Rotterdam, wo die erste Ladestation in Betrieb ist. Batterien haben ein erhöhtes Risiko der Erhitzung (thermal runaway) und Feuer. Für die Container wurden spezielle Sicherheitsmassnahmen getroffen betreffend Stoss- und Feuerfestigkeit, Belüftungssystem, Kühlsystem, Schaumlöschsystem usw. Zudem werden die Wechselbatterie-

¹⁹ [Bateau zéro émission sur le Léman, MobyFly, 2022](#)

²⁰ FPS Maas Retrofit Project – Future Proof Shipping

²¹ ZES System - Zero Emission Services

Container von den Frachtcontainern getrennt gelagert. Ausserdem erfordert die Handhabung dieser Energiequelle eine spezielle Ausbildung der Besatzung und eine enge Zusammenarbeit mit den Häfen.

7 Zukünftige Energieträger für die Schifffahrt

In diesem Kapitel werden verschiedene Energiequellen, ihre Speichermöglichkeiten und ihre Vor- und Nachteile für die Schifffahrt dargestellt. Die Angaben basieren unter anderem auf einer breit angelegten Studie der ZKR zu technologischen Möglichkeiten und dem Finanzbedarf für die Umrüstung der Binnenschifffahrt hin zu klimafreundlichen Antrieben.²² In dieser Studie werden mehrere Alternativen zu fossilen Brennstoffen analysiert, die alle ihre spezifischen Vor- und Nachteile haben.

Das Ziel für das Jahr 2050 ist es, die Verbrennung fossiler Brennstoffe einzustellen und diese Energiequelle durch nachhaltig produzierte Energie zu ersetzen, die z.B. mittels Sonne, Wind, Wellen, Wasserverdunstung oder Wärme produziert wird. Die Energiequelle, die zur Herstellung eines Energieträgers verwendet wird, ist häufig mit einer Farbe gekennzeichnet, z.B.: grüner Wasserstoff ist Wasserstoff, der durch Elektrolyse mit Strom aus erneuerbaren Quellen hergestellt wird, blauer Wasserstoff aus fossilen Brennstoffen mit CO₂-Abscheidung, grauer aus fossilen Brennstoffen ohne CO₂-Abscheidung, schwarzer aus Kohle. Für die Elektrolyse von violetter, rosa oder rotem Wasserstoff stammt die Energie aus Kernkraft.

Die verwendete Energiequelle in Kombination mit der Gesamteffizienz des Prozesses bestimmt die tatsächliche CO₂-Belastung durch die Produktion eines bestimmten Energieträgers. Zudem hat jede Art der Energiespeicherung ihren eigenen Wirkungsgrad, d.h. jedes Mal, wenn eine Energieumwandlung erfolgt, geht ein Teil der Energie in Form von Wärme und Entropie verloren. Verbrennungsmotoren, Brennstoffzellen, Batterien und elektrische Antriebe haben unterschiedliche Wirkungsgrade, was sich stark auf den Gesamtenergieverbrauch auswirkt. Das Gewicht des Schiffs hat zudem grossen Einfluss auf die Effizienz. Je schwerer ein Schiff ist, desto mehr Energie muss aufgewendet werden, um es in Bewegung zu setzen, weil der hydrodynamische Widerstand aufgrund der grösseren Verdrängung zunimmt. Des Weiteren haben Schiffspropeller unterschiedliche Wirkungsgrade und müssen auf den Schiffsrumpf abgestimmt werden.

Die vielversprechendsten Energieträger für die Schifffahrt sind derzeit:

- elektrische Energie, die in Akkumulatoren verschiedener Art gespeichert wird;
- Wasserstoff (flüssig oder gasförmig);
- Methanol;
- synthetische Treibstoffe.

Diese Energieträger erfordern eine oder mehrere Energieumwandlungen, um ein Schiff in Bewegung zu setzen. Die folgenden Unterkapitel geben einen Überblick über die verschiedenen Energieträger sowie ihre Verwendung und die zu überwindenden technischen und finanziellen Hindernisse.

7.1 Batterien und Batteriesysteme

Batterien bieten die Möglichkeit, elektrische Energie durch einen elektrochemischen Prozess (oder elektrostatisch bei Superkondensatoren) zu speichern und sie durch einen zweiten elektrochemischen Prozess verfügbar zu machen, wobei beide Umwandlungen mit Energieverlusten und Wärmeabgaben verbunden sind. Batterien werden in einer breiten Palette von Anwendungen mit sehr unterschiedlichen Anforderungen eingesetzt, die Entwicklungen gehen in verschiedene Richtungen.

Ohne im Detail auf alle untersuchten chemischen Formulierungen und die elektrochemischen Prozesse einzugehen, weisen Batterien die folgenden grundlegenden Parameter auf:

²² «Study on Financing the Energy Transition towards a zero-emission European IWT Sector». Die Schweiz hat einen Teil der Studie finanziert: <https://www.ccr-zkr.org/12080000-de.html>

- Energiedichte (Gewicht-Energie-Verhältnis);
- Merkmal "C" (Prozentsatz der lieferbaren und speicherbaren Leistung im Verhältnis zur Kapazität);
- Energieeffizienz beim Laden und Entladen;
- Anfälligkeit gegenüber Umweltparametern;
- Anforderungen an Stabilität, Sicherheit und Brandschutz.

Batteriesysteme in der Schifffahrt bestehen in der Regel aus mehreren tausend Zellen. Die einzelnen Batteriezellen werden zu Batteriemodulen zusammengeschaltet, um die erforderliche Spannung zu erreichen. Dank der Vernetzung dieser Einheiten können grosse Systeme mit hoher Kapazität zusammengestellt werden. Der Vorteil ist, dass die Batteriesysteme in den Schiffsrumpf integriert werden können oder in separaten Batterieschränken, z.B. in einem Container, untergebracht werden können. Die Batterieschränke können austauschbar auf dem Schiff gelagert werden. Diese Lösung ist besonders für Schiffe interessant, auf denen regelmässig Container umgeschlagen werden, aber auch für neu konzipierte Schiffe mit einem austauschbaren Batteriepack im Rumpf.

Für den grossflächigen Einsatz elektrisch betriebener Schiffe müssen sowohl die Stromproduktion, die Ladeinfrastruktur in den Häfen als auch die Zubringerleitungen ausgebaut werden. Durch den Aufbau dieser Infrastruktur kann eine grosse Flexibilität und Ortsunabhängigkeit für das Laden entstehen.

7.2 Wasserstoff

Da Wasserstoff in der Natur selten als reines Molekül, sondern meist in chemischer Verbindung mit anderen Elementen vorkommt, muss diese getrennt werden, um reinen Wasserstoff zu erhalten. Derzeit wird intensiv daran geforscht, wie dieser Prozess so energieeffizient und klimaneutral wie möglich gestaltet werden kann. Wasserstoff (H_2) ist unter normalen Bedingungen ($20^\circ C$ und 1 bar) gasförmig und hat eine Dichte von $0,0899 \text{ kg/m}^3$. Wasserstoff kann als komprimiertes Gas oder als Flüssigkeit transportiert werden. Die fortschrittlichsten Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff sind die Erdgas-Reformierung, bei der CO_2 freigesetzt wird (grauer Wasserstoff) und die Elektrolyse von Wasser. Wird hierfür erneuerbarer Strom eingesetzt, entsteht erneuerbarer Wasserstoff (grüner Wasserstoff). Wasserstoff kann als Kraftstoff in Verbrennungsmotoren oder Brennstoffzellen verwendet werden.

Neben Lastwagen gibt es heute bereits einzelne Schiffe²³ (siehe auch Kapitel 6), die Wasserstoff- und Brennstoffzellen nutzen. Die Klassifikationsgesellschaften entwickeln die ersten technischen Sicherheitsvorschriften, und auch im Europäischen Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe (ES-TRIN) werden Vorschriften derzeit ausgearbeitet. In der Schifffahrtsbranche der Schweiz werden aktuell erste Projekte mit Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie evaluiert (Kap. 5).

Wasserstoff hat den Vorteil, dass er z.B. mit Sonnenstrahlung oder Wasserkraft dann produziert werden kann, wenn die Verbraucher diesen Strom nicht benötigen und so Energie gut gespeichert werden kann. Die Haupthindernisse für die Entwicklung dieser Technologie sind einerseits die Notwendigkeit, ein sehr teures und technisch komplexes Tankstellennetz für Wasserstoff aufzubauen, zweitens die Sicherheit auf den Schiffen zu gewährleisten und drittens die hohen Umwandlungsverluste bei der Herstellung des Wasserstoffs sowie in der Brennstoffzelle bzw. im Verbrennungsmotor. Im Vergleich zum batterieelektrischen Antrieb werden dadurch $2\frac{1}{2}$ bis 3mal so viel erneuerbarer Strom benötigt. Wasserstoff kann flüssig oder gasförmig gespeichert werden. In der flüssigen Form müssen die Speicher mit bis zu $-250^\circ C$ noch zuverlässig funktionieren, in der gasförmigen Form müssen sie einem Druck zwischen 350 – 700 bar standhalten können. Ein Kilogramm Wasserstoff entspricht etwa 3 kg Dieselmotorkraftstoff, wenn er auf 350 bar komprimiert wird. Bei $25^\circ C$ nimmt er ein Volumen von etwa 33 Litern ein.

7.3 Methanol

Methanol ist ein Schlüsselprodukt der chemischen Industrie, das unter normalen atmosphärischen Bedingungen in flüssiger Form vorliegt und bei seiner Lagerung keine besonderen Risiken birgt. Es

²³ [Mit Wasserstoff auf dem Wasser: Erstes emissionsfreies Schubschiff der Welt probt auf Spree und Havel | rbb24](#)

wird hauptsächlich für die Herstellung anderer Chemikalien wie Formaldehyd, Essigsäure und Kunststoffe verwendet. Jährlich werden ca. 98 Millionen Tonnen (Mt) produziert, die fast ausschliesslich aus fossilen Brennstoffen (Erdgas oder Kohle) gewonnen werden.

Die Methanolproduktion hat sich in den letzten zehn Jahren fast verdoppelt, wobei ein grosser Teil dieses Wachstums auf China entfällt. Nach den derzeitigen Trends könnte die Produktion bis 2050 auf 500 Mt pro Jahr ansteigen und 1,5 Gigatonnen (Gt) CO₂ pro Jahr freisetzen, wenn Methanol ausschliesslich aus fossilen Brennstoffen gewonnen wird. Heute werden etwa 0.3 Gt CO₂ pro Jahr bei der Produktion und Verwendung von Methanol freigesetzt.

Erneuerbares Methanol kann mit Hilfe von erneuerbarer Energie und nachwachsenden Rohstoffen auf zwei Wegen hergestellt werden, entweder aus Biomasse oder aus abgeschiedenem CO₂. Bio-Methanol wird aus Biomasse hergestellt, z.B. aus forst- und landwirtschaftlichen Abfällen und Nebenprodukten, Biogas aus Deponien, Abwasser, festen Siedlungsabfällen und Schwarzlauge aus der Zellstoff- und Papierindustrie. Grünes E-Methanol wird unter Verwendung von aus erneuerbaren Quellen abgeschiedenem CO₂ (Bioenergie mit Kohlenstoffabscheidung und -speicherung sowie direkter Luftabscheidung) und grünem Wasserstoff hergestellt.

Jährlich werden weniger als 0,2 Mio. t erneuerbares Methanol produziert, hauptsächlich als Bio-Methanol. Sowohl Bio-Methanol als auch E-Methanol sind chemisch identisch mit dem aus fossilen Brennstoffen hergestellten Methanol.

In Europa wurde bereits mit der praktischen Erprobung von Methanol als Brennstoff für Brennstoffzellen begonnen²⁴. Es sind noch einige technische Grenzen zu überwinden, aber diese Technologie würde keine Hochdruck-Speichersysteme erfordern, was die Implementierungskosten erheblich senken würde. Das Fahrgastschiff MS Innogy auf dem Baldeneysee in Deutschland nutzt beispielsweise grünes Methanol in einem Brennstoffzellensystem. Hauptnachteil ist sein tiefer Heizwert von rund 20 MJ/kg (Vergleich zu Diesel: 42 MJ/kg). Der im Vergleich zu Diesel rund doppelte Preis ergibt damit eine Vervielfachung der Treibstoffkosten bei der Umrüstung eines heute mit Diesel, resp. Gasöl betriebenen Schiffes.

7.4 Ammoniak

Auch die Verwendung von Ammoniak als Treibstoff in der Binnenschifffahrt wird in Betracht gezogen. Da Ammoniak keinen Kohlenstoff enthält, ist es ein Brennstoff ausserhalb des Kohlenstoffkreislaufs und hat (abgesehen von möglichen Emissionen von Stickoxiden) keine direkten Auswirkungen auf das Klima. Seit den 1940er Jahren gab es immer wieder Versuche, Ammoniak als Brennstoff zu verwenden. Bevor Ammoniak als klimafreundlicher Brennstoff eingesetzt werden kann, müssen neue Verfahren zu seiner Herstellung Marktreife erlangen. Hauptnachteil von Ammoniak ist seine hohe Toxizität. Ein Unfall mit Ammoniak kann schnell einen Giftwolkengefährdungsbereich mit einem Radius von 600 m zur Folge haben, weshalb sich die Verwendung in der Nähe von Wohngebieten sowie auf Gewässern nicht gut eignet.

Ammoniak lässt sich aber etwas besser speichern als reiner Wasserstoff, weshalb die Umwandlung von Wasserstoff in Ammoniak zur Speicherung eine interessante und viel diskutierte Option ist. Neben der direkten Verwendung des Ammoniaks als Brennstoff kann unter geeigneten Bedingungen auch Wasserstoff wieder zurückgewonnen und verwendet werden.

7.5 Synthetische Treibstoffe

Drop-in-Treibstoffe sind ein synthetischer und vollständig austauschbarer Ersatz für herkömmliche, aus Erdöl gewonnene fossile Treibstoffe. Für ihre Verwendung braucht es keine wesentlichen Anpassungen des Motors oder des Treibstoffsystems. Schmiermittel oder Motorsteuerungsparameter müssen even-

²⁴ »Stolt IJssel« fährt bald mit Methanol - Binnenschifffahrt Online (binnenschifffahrt-online.de)

tuell angepasst werden, um die Effizienz und/oder die Umweltverträglichkeit zu verbessern. Sie können in den derzeit verfügbaren Motoren entweder in reiner Form oder im Gemisch mit herkömmlichen Treibstoffen verwendet werden.

Zu den synthetischen Treibstoffen, die für die Binnenschifffahrt als wichtig angesehen werden, gehören GTL (Gas-to-Liquid) und HVO (Hydrotreated Vegetable Oil). Wenn Biomasse als Ausgangsmaterial verwendet wird, ist auch der Begriff BTL (Biomass-to-Liquid) gebräuchlich. BTL wird vollständig aus erneuerbarer Energie gewonnen.

Die Zusammensetzung von HVO ähnelt der von GTL- und BTL-Treibstoffen, die durch Fischer-Tropsch-Synthese aus Erdgas und vergaster Biomasse hergestellt werden. HVO darf nicht mit Biodiesel verwechselt werden, der ein Fettsäuremethylester (FAME) ist und bei der Verwendung als Ersatzkraftstoff in einem herkömmlichen Motor Probleme verursachen könnte. Die Erhöhung von FAME-Mischungen ist eine grössere Herausforderung als HVO. Der Rohstoff für HVO stammt aus erneuerbaren Quellen. Es kann sich um pflanzliche und tierische Rückstände aus der Lebensmittelindustrie oder um Rückstände aus der Pflanzenölverarbeitung handeln.

Synthetischer Kraftstoff, der vollständig aus erneuerbaren Energiequellen hergestellt wird, heisst PTL. In diesem Fall steht das P für Power. Zur Abtrennung des Wasserstoffs wird ein Elektrolyseur mit Strom aus erneuerbaren Energiequellen betrieben. Neben nachwachsenden Rohstoffen hängt die Realisierbarkeit dieser Kraftstoffe in hohem Masse von billigem, erneuerbarem Strom ab. Die Herstellung von PTL-Treibstoffen, oder E-Fuels, ist extrem energieaufwendig. Besonders viel Energie ist nötig, um per Elektrolyse aus Wasser zunächst Wasserstoff herzustellen. Diesem Wasserstoff wird dann CO₂ zugeführt. Wird dieses CO₂ direkt aus der Luft gewonnen (sog. «Direct Air Capture»), steigt der Energiebedarf nochmals beträchtlich. Bei den viel geringeren Wirkungsgraden von Verbrennungsmotoren ergibt sich ein Gesamtwirkungsgrad von ca. 13%, rein elektrische Antriebe, die aus regenerativen Quellen kommen auf ca. 69%²⁵.

Dieser Energieträger ist bisher die aussichtsreichste Lösung für die Zukunft des emissionsfreien Luftverkehrs und könnte auch im Schiffsverkehr sinnvoll eingesetzt werden, wobei die limitierenden Faktoren die Produktionskosten und -mengen sowie der schlechte Wirkungsgrad sind. Die Schifffahrt würde bei diesen Treibstoffen in harter Konkurrenz zur Luftfahrt stehen, welche Batterien oder Wasserstoff nur sehr limitiert einsetzen kann. Eine Priorisierung oder Steuerung der Verfügbarkeiten über alle Sektoren müsste vorgenommen werden. Falls die Produktion synthetischer Kraftstoffe knapp ist und die Preise hoch, steht zu befürchten, dass die Schifffahrtsunternehmen diese nicht bezahlen können.

8 Regulierungs- und Sicherheitsaspekte

Die Behörden und die Klassifikationsgesellschaften arbeiten heute mehr denn je an der Weiterentwicklung der technischen Vorschriften für die Binnenschifffahrt, damit sie neuen Energieträgern für den Schiffsantrieb gerecht werden können. Zwischen dem geltenden Recht und den möglichst schnell zu erreichenden Regulierungen für den Einsatz neuer Energieträger und Antriebe besteht eine grosse Diskrepanz. Zum Beispiel werden heute für den gewerbsmässigen Einsatz von Schiffen keine flüssigen Treibstoffe mit einem Flammpunkt unter 55° Celsius verwendet (also keine Benzin-Motoren²⁶). Bei gasförmigen Treibstoffen ist der Flammpunkt teilweise schon heute unter diesem Wert und in einigen Jahren werden vielleicht Treibstoffe mit einem Flammpunkt unter 0° C und mit hochexplosiven Eigenschaften eingesetzt.

Es liegt auf der Hand, dass die neuen technischen Vorschriften so gestaltet werden müssen, dass sie sowohl den Fortschritt im Bereich der grünen Technologien als auch den Schutz von Menschen, Umwelt

²⁵ [Klimaneutrale Kraftstoffe? Warum E-Fuels umstritten sind - SWR Aktuell](#)

²⁶ z.B.: SBV Art. 29, Abs. 2

und Geräten gewährleisten. Auf europäischer Ebene werden die technischen Normen im ES-TRIN festgelegt, welcher alle 2 Jahre aktualisiert wird.²⁷ Sowohl die Rheinschiffsuntersuchungsordnung (Rhein-SchUO) der ZKR als auch die europäische Richtlinie (EU) 2016/1629²⁸ verweisen direkt auf diese technischen Standards. Die Schweiz aktualisiert ihrerseits die technischen Vorschriften, welche für die Schiffe gelten, die auf Schweizer Seen verkehren. Diese Vorschriften lehnen sich grösstenteils an die Standards des ES-TRIN an, auch betreffend neue Technologien und Energieträgern wie beispielsweise Wasserstoff oder Methanol. Die für die Schweiz relevanten technischen Vorschriften sind neben dem Binnenschiffahrtsgesetz²⁹ und der Binnenschiffahrtsverordnung³⁰ insbesondere die Schiffbauverordnung, die dazugehörigen Ausführungsbestimmungen und die Verordnung über die Anforderungen an Schiffsmotoren auf schweizerischen Gewässern. Des Weiteren bestehen an den Grenzgewässern Staatsverträge, welche teilweise spezielle Vorgaben für Motoren machen wie die Bodensee-Schiffahrts-Ordnung³¹. Für die Finanzierung einer Umrüstung der Schiffe zu klimaneutralen Fahrzeugen sollen rechtliche Grundlagen für die Schweiz im neuen CO2-Gesetz und im revidierten Gütertransportgesetz geschaffen werden.

Für den Betrieb von Schiffen mit alternativen Energieträgern, müssen sowohl Konzepte für die Ausbildungen der Mannschaft erstellt werden, als auch die Feuerwehren und Rettungsdienste auf die neuen Gefahren sensibilisiert werden.

9 Kostenschätzung für die Umrüstung und alternative Kraftstoffe

Die ZKR schätzt in ihren Studien, dass die Umrüstung und die Neubeschaffung von Schiffen mit umweltfreundlicheren Antriebstechnologien 1.5 bis 2.5mal höhere Investitionskosten verursacht als der Ersatz mit konventionellen Antrieben oder die Beschaffung heute üblicher Schiffe. Die Differenz im Investitionsvolumen entsteht aus unterschiedlich fortgeschrittenen Technologien. Hochgerechnet auf die gesamteuropäische Binnenschiffahrtsflotte kommt die Studie somit auf Mehrkosten von 2.6 bis 7.7 Milliarden für die umweltfreundliche Schifffahrt³². Die Unterhalts- und Betriebskosten könnten in Zukunft hingegen leicht sinken.

Auf Schweizer Seen und Grenzgewässern sind heute gut 150 Passagierschiffe und 150 Güterschiffe in Betrieb: rechnet man für die Umrüstung der Antriebstechnologie mit Mehrkosten zwischen 0.8 bis 1 Million CHF pro Schiff, fehlen der Branche 240 bis 300 Millionen im Vergleich zum Ersatz der Schiffe mit konventionellen Motoren und Energieträgern. Vermutlich werden die Kosten leicht sinken, wenn die alternativen Antriebe und Speichersysteme für die Schifffahrt Marktreife erlangt haben. Es fallen hingegen Kosten für den Aufbau der Ladeinfrastruktur und die neuen Lieferketten an.

Betreffend den Treibstoffpreisen lässt sich Folgendes festhalten: Für komprimierten Automobilwasserstoff liegt der Preis in Deutschland für ein Kilogramm bei 350 bar derzeit zwischen 13,5 und 20 Euro. HVO ist in Deutschland momentan nicht erhältlich, da der Verdacht auf Palmölrückstände besteht. Die Preise für HVO sind z.B. in Österreich ca. 0.15 Cent/Liter teurer als für Diesel. Der Preis für Bio-Methanol und E-Methanol auf dem europäischen Markt liegt zwischen 0.8 bis 2 Euro pro Liter.

10 Energiequellen und Verfügbarkeiten

Die Herausforderung der nächsten 30 Jahre besteht darin, dass alle Erdölprodukte, die in der Schweiz heute für die Industrie, das Heizen und den Verkehr eingesetzt werden, durch gleichwertige Produkte aus erneuerbaren Energiequellen ersetzt werden müssen. Wichtig bei diesem Vergleich ist die Unter-

²⁷ [Standards und Erläuterungen - CESNI - Comité Européen pour l'Élaboration de Standards dans le domaine de la Navigation Intérieure](#)

²⁸ Directive (UE) 2016/1629 du Parlement européen et du Conseil du 14 septembre 2016 établissant les prescriptions techniques applicables aux bateaux de navigation intérieure, modifiant la directive 2009/100/CE et abrogeant la directive 2006/87/CE

²⁹ SR 747.201

³⁰ SR 747.201.1

³¹ SR 747.223.1

³² https://www.ccr-zkr.org/files/documents/EtudesTransEner/Deliverable_RQ_C_Edition2.pdf

scheidung der Endenergie, die heute verbraucht wird (s.u.) sowie die daraus entstehende Nutzenergie, wie beispielsweise Wärme oder Fortbewegung. Bei der Elektrifizierung im Wärme- und Mobilitätsbereich muss aufgrund des weit höheren Wirkungsgrads des Elektroantriebs und der Wärmepumpen nicht jede fossile Kilowattstunde durch eine elektrische Kilowattstunde ersetzt werden. Der Endenergieverbrauch im Landverkehr sowie im Wärmebereich kann mit der Elektrifizierung um bis zu zwei Drittel gesenkt werden.

Der aktuelle Endverbrauch an Energieträgern der Schweiz stellt sich wie folgt dar (Jahr 2022)³³

- 26.8% Elektrizität
- 45.4% Erdölprodukte (Heizöl, Treibstoffe, Erdölbrennstoffe)
- 13.3% Gas
- 5.4% Holz
- 0.5% Kohle
- 2.8% Fernwärme
- 1.6% Industrieabfälle
- 4.2% andere erneuerbare Energien (z.B. Sonne, Umweltwärme)

Alle erwähnten Technologien (Batterien / mit Wasserstoff, Methanol oder synthetischen Kraftstoffen betriebene Brennstoffzellen / mit Wasserstoff, Ammoniak oder synthetischen Treibstoffen betriebene Verbrennungsmotoren) sind grundsätzlich praktikable Alternativen zu Dieselmotoren für den Transport zu Wasser, zu Lande und in der Luft. Der primäre Energiebedarf muss aber letztlich immer durch erneuerbare Energieträger gedeckt werden können. Es bleibt im Moment noch offen, welche Technologie(n) und welche Treibstoffe sich im Schifffahrtsbereich langfristig durchsetzen wird (Effektivität). Wie effizient die jeweilige Technologie ist, wird von den mehr oder weniger unvermeidlichen Transport-, Speicher- und Umwandlungsverlusten abhängen.

11 Sparsames Fahren und Abgasnachbehandlungssysteme als kurzfristige Massnahmen

Die Emissionsreduktion in der Schifffahrt muss schrittweise bewerkstelligt werden und muss sowohl mit der Entwicklung neuer Antriebstechnologien als auch mit der Erhöhung der Produktion erneuerbarer Energien einhergehen. Zudem ist es wichtig, dass die Dekarbonisierung in der Schifffahrt und die Nutzung von alternativen Energieträgern durch Forschung unterstützt und begleitet wird. Kurzfristig kann ein Teil der Emissionen eingespart werden, wenn Motoren, welche an ihr Lebensende kommen mit den neusten Motoren und den dazugehörigen Abgasnachbehandlungssystemen ersetzt werden. Einsparungen von CO₂-Emissionen werden so vor allem durch den geringeren Treibstoffverbrauch neuerer Motoren erreicht, solange die Motoren mit fossilen Treibstoffen betrieben werden. Durch intelligentes Fahren kann der Verbrauch von Treibstoff in Schiffen weiter reduziert werden. Auf dem Rhein beinhaltet das z. B. eine bessere Reiseplanung, kürzere Wartezeiten an Schleusen und die Entwicklung einer Teilautomation der Binnenschifffahrt, welche durch digitale Unterstützung erreicht werden kann. Für die Schweizer Seen gibt es einfach umzusetzende Massnahmen zur CO₂-Reduktion, wie z.B. die Reduktion der Kursgeschwindigkeit bei Kursschiffen (Anpassung Fahrplan z.T. notwendig), oder die Reduktion von Fahrten mit Dampfschiffen, die einen drei- bis viermal höheren Energieverbrauch pro Kilometer haben als Motorschiffe.

Bei kleinen Schiffen kann der Einsatz von Batterien und Elektromotoren schon heute eine valable Lösung sein; der Strom muss aber möglichst lokal und nachhaltig produziert werden. Zudem muss das Schiff einen Tag lang mit einer Batterieladung fahren können ohne nachzuladen, damit die Betriebskosten nicht zu stark ansteigen.

³³ BFE: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2022: [11454-Ges-Stat_2022_Web.pdf](#)

12 Fazit - langfristig

Langfristig ist die Schifffahrt von der Produktion erneuerbarer Energien, der Erhöhung der Kapazität der Stromnetze sowie einem Tankstellennetz für neue Energieträger (z.B.: Wasserstoff, Methanol, Elektrizität, synthetische Treibstoffe) abhängig. Für eine grossflächige Umrüstung zu grünen Antrieben in der Schifffahrt müssen die spezifischen Technologien Marktreife erlangen und für das Gewerbe finanzierbar werden. Diese Entwicklung muss parallel mit dem Ausbau der entsprechende Ladeinfrastruktur einhergehen. Heute müssen die rechtlichen Grundlagen für Finanzierungsmöglichkeiten geschaffen werden, um innovative Schiffe und Antriebe als Pilotprojekte und später die Markteinführung alternativer Antriebe zu fördern.

Für die gewerbliche Schifffahrt bleibt hervorzuheben, dass ein Schiff ein Vielfaches eines Lastwagens, Autos oder Busses laden kann und so dazu beiträgt, die Emissionen pro gefahrenen Kilometer pro Tonne Ladung oder pro Person zu reduzieren. Auf dem Wasser gibt es noch freie Transportkapazitäten, welche sinnvoll genutzt werden sollten.