

Umfangreiche Anlagen

zu Protokoll 4:

Strategie der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen der Rheinschifffahrt

- **Zusammenfassung**
- **Bericht**

**Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der
Treibhausgasemissionen in der Binnenschifffahrt**

Bericht des Untersuchungsausschusses zur Herbsttagung 2012

Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen in der Binnenschifffahrt *Zusammenfassung*

Anlässlich ihrer Herbsttagen 2009 hat sich die ZKR in ihrer Verantwortung für eine nachhaltige Rhein- und Binnenschifffahrt das Ziel gesetzt, die Treibhausgasemissionen der Rheinschifffahrt im Einklang mit den Emissionsminderungszielen ihrer Mitgliedstaaten zu senken. Zur Erreichung dieses Ziels hat die ZKR ihren Untersuchungsausschuss beauftragt, ihr einen Bericht vorzulegen und darin Maßnahmen und Möglichkeiten zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt zusammenzustellen, zu bewerten und einen Vorschlag zu unterbreiten, wie diese den Schifffahrtstreibenden sowie anderen potentiellen Nutzern in geeigneter Weise zugänglich gemacht werden können.

Der Bericht bezieht sich auf die Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt im engeren Sinne, nämlich die CO₂-Emissionen, die beim Betrieb der Binnenschiffe entstehen. Die Emissionen anderer Stoffe als CO₂ werden – mit Ausnahme von CH₄ – ebenso wenig betrachtet wie Emissionen, die nicht aus dem Betrieb der Schiffe resultieren. Der Zielsetzung des Berichts ist die Beschränkung nicht abträglich, da einerseits CO₂ das bei weitem bedeutendste von der Binnenschifffahrt emittierte Treibhausgas ist und andererseits andere Emissionen als die des Schiffsbetriebs wegen ihrer geringen Mengen – zumindest in einem ersten Ansatz – außer Betracht gelassen werden können. Emissionen aus der Ladung, wie sie in der Tankschifffahrt auftreten, sind nicht der Binnenschifffahrt, sondern den Produktionsketten, in die die Ladungen eingebunden sind, zuzurechnen. Dessen ungeachtet scheint es in Anbetracht des großen Anteils der flüssigen Güter am gesamten Ladungsaufkommen der Binnenschifffahrt sinnvoll, in einer gesonderten Studie die Treibhausgasemissionen aus der Ladung von Tankschiffen hinsichtlich ihres Umfangs zu bestimmen und Maßnahmen zu ihrer Reduktion auszuarbeiten und umzusetzen.

Zielsetzung zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt

Absolut gesehen sind die Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt im Verhältnis zu den gesamten Treibhausgasemissionen des Verkehrs und erst recht im Verhältnis zu allen anthropogenen Treibhausgasemissionen von sehr geringer Bedeutung. Dies resultiert aus der hohen Energieeffizienz der Binnenschifffahrt und aus ihrer überwiegend geringen Bedeutung im Verkehrsmix in Europa. Allerdings machen die mit der Binnenschifffahrt konkurrierenden Verkehrsträger Fortschritte bei der Reduzierung ihrer Treibhausgasemissionen. Will die Binnenschifffahrt ihren Wettbewerbsvorteil „Klimafreundlichkeit“ behalten, muss sie daher ebenfalls ihre Treibhausgasemissionen reduzieren.

Ein kontinuierlicher Anstieg der Treibhausgasmissionen des Verkehrs würde die globalen Emissionsminderungsziele der EU unterminieren. Daher sind Maßnahmen notwendig, um die Treibhausgasmissionen des Verkehrs in Einklang mit den globalen Klimaschutzzielen zu bringen. Während einzelne Staaten wie auch die Europäische Kommission Emissionsminderungsziele für den Verkehr insgesamt quantifiziert haben, ist das für die Binnenschifffahrt nicht der Fall. Eine derartige Quantifizierung ist objektiv insbesondere aufgrund der unvollständigen Kenntnisse der aktuellen Emissionen, der Emissionsminderungsmöglichkeiten sowie der wirtschaftlichen Gesamtentwicklung ein komplexes Unterfangen.

Allerdings wäre eine solche Quantifizierung der Zielsetzung für alle Betroffenen hilfreich. Es würde Unsicherheiten minimieren und ihnen erlauben, die politischen, wirtschaftlichen, technischen und andere Prozesse auf dieses Ziel auszurichten. Da die Mitgliedstaaten der ZKR für etwa drei Viertel der Verkehrsleistung und damit der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt in der EU verantwortlich zeichnen, ist es naheliegend, dass diese Staaten zusammen mit der ZKR eine Führungsrolle bei der Konkretisierung der Klimaschutzziele der Binnenschifffahrt übernehmen.

„Carbon Footprint“ der Binnenschifffahrt

Beim Gütertransport kann die CO₂-Intensität eines Verkehrsträgers durch die CO₂-Emissionen bezogen auf die Verkehrsleistung, überwiegend in g/tkm, aber zum Beispiel auch in g/TEUkm, dargestellt werden. Häufig wird dieses Verhältnis auch als CO₂-Emissionsfaktor¹ bezeichnet. Wie für andere Verkehrsträger auch, ist der CO₂-Emissionsfaktor das zentrale Element für die Bestimmung des „Carbon Footprint“ der Binnenschifffahrt. In einer Vielzahl von Studien wird versucht, den CO₂-Emissionsfaktor der Binnenschifffahrt zu quantifizieren. Die Bandbreite der aus diesen Studien resultierenden Werte ist jedoch so groß, dass damit weder eine zuverlässige Bestimmung des Carbon Footprints der Binnenschifffahrt für Zwecke der Verkehrs- oder der Klimaschutzpolitik möglich scheint, noch akkurat die CO₂-Emissionen von logistischen Ketten hergeleitet werden können. Einen Ausweg bietet ein Vorgehen, bei dem Daten von Binnenschifffahrtsunternehmen zum Kraftstoffverbrauch und der Verkehrsleistung verschiedener Schiffstypen mit Verkehrs- und Güterstatistiken zusammengeführt werden. Daraus dürften verlässliche und allgemein akzeptierte Werte zu den CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt resultieren. Dabei sollten einschlägige Studien berücksichtigt werden.

Die Bestimmung der spezifischen Emissionen eines Verkehrsträgers ist komplex und mit großen Unsicherheiten behaftet. Umso schwieriger ist es, die Emissionen verschiedener Verkehrsträger miteinander zu vergleichen. Zwischen den einschlägigen Studien scheint jedoch dahingehend Übereinstimmung zu bestehen, dass die spezifischen CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt in etwa so groß sind wie von Eisenbahnverkehren und deutlich geringer als die des Straßenverkehrs.

Grundsätzliche Strategien der Reduzierung der Treibhausgasemissionen des Verkehrs

Grundsätzlich können die folgenden Strategien zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Verkehrswesen genutzt werden:

1. Vermeidung von Verkehren,
2. Verlagerung von Verkehren auf klimafreundlichere Verkehrsträger,
3. Verminderung der spezifischen Emissionen.

In der Praxis wird die Verkehrspolitik versuchen, eine Kombination der drei grundsätzlichen Strategien umzusetzen.

Der vorliegende Bericht bezieht sich allein auf Strategieoption 3. Diese Option wird im vorliegenden Bericht vertieft betrachtet. Option 1 kann zu einer Begrenzung der Nachfrage nach Binnenschiffsverkehren führen. Option 2 ist nur dann für die Binnenschifffahrt gewinnbringend, wenn sie Erfolge bei der Reduzierung ihrer Treibhausgasemissionen erzielen wird.

¹ Im angelsächsischen Sprachgebrauch scheint der Begriff CO₂-Intensität üblich, im deutschen Sprachgebrauch der Begriff CO₂-Emissionsfaktor. Nachfolgend wird grundsätzlich der Begriff CO₂-Emissionsfaktor verwendet.

Randbedingungen im Hinblick auf die Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen in der Binnenschifffahrt

Die Binnenschifffahrt ist besonderen Randbedingungen unterworfen im Hinblick auf die Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen, die für andere Verkehrsträger nicht oder nur in einem sehr viel geringeren Ausmaß zutreffen. Diese Randbedingungen gilt es zu kennen und zu beachten, sollen Kraftstoffverbrauch und CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt bestimmt oder reduziert werden. Binnenschiffe verkehren in relativ flachen Gewässern und sind damit grundsätzlich den Gesetzmäßigkeiten der Flachwasserhydrodynamik ausgesetzt. Dies bestimmt ganz wesentlich den Leistungsbedarf der Binnenschiffe und damit deren Kraftstoffverbrauch sowie deren CO₂-Emissionen.

Maßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt

Den Schiffseignern bietet sich eine Vielzahl möglicher schiffstechnischer Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen. Sie können daraus die für ihre Schiffe und deren Einsatzfälle die wirtschaftlich und technisch Günstigsten auswählen. Unter gleichzeitiger Umsetzung mehrerer Maßnahmen scheint eine Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen von 10 % bis 50% gegenüber derzeit üblichen Schiffen möglich. Bei Umbauten vorhandener Schiffe ist das Einsparungspotential deutlich kleiner. Jede Quantifizierung möglicher Einsparungspotentiale hängt jedoch von einer Vielzahl von Randbedingungen ab, die sich je nach Schiffstyp und Einsatzbedingungen deutlich ändern können. Große Einsparungspotentiale ergeben sich aus der Vergrößerung der Abmessungen und Tragfähigkeit der Schiffe. Wegen ihrer überragenden Bedeutung für die künftige Entwicklung der Emissionen bedarf dieser Zusammenhang einer vertieften Betrachtung. Grenzen setzen hier vor allem die Infrastruktur. Sofern größere Schiffsabmessungen Ausbaumaßnahmen erfordern, sind die ökologischen Belange des Gewässerausbaus zu beachten.

Bei den betrieblichen Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen ergeben sich grundsätzliche Ähnlichkeiten zu den technischen Maßnahmen. Den Schiffseignern bietet sich eine Vielzahl möglicher Maßnahmen und sie können daraus die für ihre Schiffe und deren Einsatzfälle die wirtschaftlich Günstigsten auswählen. Unter gleichzeitiger Umsetzung mehrerer Maßnahmen scheint eine Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen von 10 % bis 40 % gegenüber dem derzeit üblichen Betrieb der Schiffe möglich. Anders als bei den schiffstechnischen Maßnahmen gibt es bei den betrieblichen Maßnahmen keine wesentlichen Unterschiede zwischen Neubauten und vorhandenen Schiffen. Das größte Einsparungspotentiale ergibt sich aus der Optimierung der Geschwindigkeit der Schiffe; die Optimierung besteht darin, unter Berücksichtigung der vorgegebenen Ankunftszeit und den auf den einzelnen Streckenabschnitten der Fahrtroute anzutreffenden Fahrwasserverhältnissen eine möglichst niedrige Geschwindigkeit zu wählen. Jede Quantifizierung möglicher Einsparungspotentiale hängt jedoch von einer Vielzahl von Randbedingungen ab, die sich je nach Schiffstyp und insbesondere den Einsatzbedingungen deutlich ändern können. Während im allgemeinen Schiffseigner und Schiffsführer durch ihr Handeln den Kraftstoffverbrauch und damit die Emissionen der Schiffe bestimmen, gibt es unter den betrieblichen Maßnahmen einige, für die die Wasserstraßenverwaltungen die notwendigen Voraussetzungen schaffen müssen, wie beispielsweise die Einführung bestimmter Applikationen der Binnenschifffahrtsweginformationssysteme (RIS).

Alternative Kraftstoffe und Energieträger für die Binnenschifffahrt

Die Binnenschifffahrt nutzt heute fast ausnahmslos Gasöl oder Diesel als Kraftstoff. Gasöl und Diesel verursachen bedeutende CO₂-Emissionen bei ihrer Verbrennung. Hinsichtlich der Entwicklungen auf dem Kraftstoffmarkt ist längerfristig für die Binnenschifffahrt ein Umstieg auf alternative Kraftstoffe und Antriebsformen eine Möglichkeit, die nicht nur CO₂ einspart, sondern auch die Zukunftsfähigkeit sichert. Diese alternativen Energieträger müssen kohlenstoffärmer oder gar kohlenstofffrei und zeitlich länger oder gar unbegrenzt verfügbar sein. Flüssige

Biokraftstoffe bieten sich zwar theoretisch als logische Nachfolge für die heutigen Mineralöle als Kraftstoffe an, werden jedoch in den erforderlichen Mengen nicht nachhaltig produziert werden können. Daher wird sich ein Mix von Kraftstoffen in der Binnenschifffahrt etablieren, bestehend aus Flüssig-Erdgas (LNG) sowie flüssigen und gasförmigen Biokraftstoffen. Auch elektrische Energie, an Bord gespeichert in Batterien oder durch Umwandlung in Wasserstoff oder synthetisches Methan, dürfte zumindest in bestimmten Anwendungsfällen zum Antrieb von Binnenschiffen genutzt werden. Die Nutzung dieser Energieträger bedarf umfangreicher Vorarbeiten, auch im Hinblick auf die Rechtsvorschriften für die Binnenschifffahrt. Insbesondere muss sichergestellt werden, dass der künftige Energiemix ermöglicht, die Emissionsminderungsziele der Binnenschifffahrt zu erreichen. Daher ist für den Umstieg der Binnenschifffahrt auf alternative Energieträger eine Strategie notwendig. Diese muss staatenübergreifend abgestimmt sein, da die Binnenschifffahrt in Europa international ausgerichtet ist. Bei der Entwicklung der Strategie könnte die ZKR gefordert sein, wenn die auf Ebene der EU und der Staaten zu erwartende verkehrssektorübergreifende Kraftstoffstrategie die Binnenschifffahrt nicht ausreichend berücksichtigt.

Unterstützende Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen

Wichtigste unterstützende Maßnahmen sind die Bereitstellung von Informationen für die Schifffahrttreibenden, die Einführung von Indikatoren und Managementplänen zur Energieeffizienz und von Umweltzeichen sowie finanzielle Anreizsysteme. Sie können einerseits entscheidend dazu beitragen, dass die Betroffenen die bekannten Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen tatsächlich in der betrieblichen Praxis einführen und sind andererseits schon teilweise sehr weit entwickelt oder gar in der Anwendung. Um die volle Wirksamkeit der unterstützenden Maßnahmen in der Binnenschifffahrt zu erreichen, ist es notwendig,

- die Entwicklung der unterstützenden Maßnahmen zu Ende zu führen, wo noch nicht geschehen, und dabei – sofern notwendig – auch Maßnahmen anderer Bereiche für die Binnenschifffahrt zu adaptieren,
- den bisher schon national angewendeten Unterstützungsmaßnahmen zu einer europaweiten Anwendung oder zumindest einer Anwendung in der Rheinschifffahrt zu verhelfen,
- ähnlich der IMO transparente und allgemein akzeptierte Standards zu setzen, auf die sich alle Betroffenen, einschließlich staatlicher Stellen zum Beispiel im Rahmen von direkten oder indirekten Subventionen, beziehen können.

Wegen der überaus positiven Effekte der unterstützenden Maßnahmen und da sie zudem freiwilliger Natur sein können, sollten die vorgenannten Arbeiten prioritär behandelt und möglichst bald angegangen werden. Die Natur der Arbeiten verlangt einen übergreifenden Ansatz in mehrfacher Hinsicht: die Arbeiten sind grenzüberschreitend, alle Betroffenen einschließend und technische wie auch betriebliche Aspekte berücksichtigend anzulegen.

Zusätzlicher Nutzen der Reduzierung der Treibhausgasemissionen

Aus Maßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen können weitere Nutzen resultieren:

- Resultiert die Reduzierung der Treibhausgasemissionen aus einer Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs, so werden fast immer auch die Schadstoffemissionen reduziert.
- Resultiert die Reduzierung der Treibhausgasemissionen aus dem Einsatz von LNG oder der (indirekten) Nutzung elektrischer Energie aus alternativen Quellen, führt dies zu einer signifikanten oder fast vollständigen Reduzierung der Schadstoffemissionen.

- Eine Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs mindert auch den Verbrauch von Ressourcen, nämlich Mineralöl. Dies stärkt die Nachhaltigkeit der Binnenschifffahrt und reduziert ihre Kosten.
- Wird die Reduzierung der Treibhausgasemissionen durch eine Reduzierung der eingesetzten Antriebsleistung erreicht, so wird das in der Regel auch zu einer Verminderung des Wellenschlags und der Strömungsänderungen im umgebenden Wasserkörper führen. Dies wiederum trägt zu einer Verminderung der Belastung des Gewässerbetts und der Sohle bei. Negative Auswirkungen der Binnenschifffahrt auf die Gewässerökologie werden minimiert.

Szenarien für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt

Der Binnenschifffahrt steht eine große Zahl von Maßnahmen zur Verfügung, die Treibhausgasemissionen aus dem Schiffsbetrieb zu reduzieren. Diese Maßnahmen umfassen den Betrieb der Schiffe, deren Bau und deren Ausrüstung. Die weitgehende Anwendung dieser Maßnahmen in der Zukunft könnte als konservatives Szenario bezeichnet werden, da diese Maßnahmen bereits Einzug in die Binnenschifffahrt gehalten haben und grundsätzlich von ihr akzeptiert scheinen.

Darüber hinaus gibt es eine große Gruppe von Maßnahmen, die auf eine "Decarbonisierung" des Kraftstoffs abzielen, also darauf, Kraftstoffe oder alternative Energieträger mit einer besseren CO₂-Bilanz zu nutzen. Diese Maßnahmen finden bisher allenfalls in Ausnahmefällen in der Binnenschifffahrt Anwendung. Eine zusätzliche Anwendung dieser Maßnahmen über die erstgenannten hinaus könnte daher als ein optimistisches Szenario im Hinblick auf die Reduzierung der Treibhausgasemissionen angesehen werden.

Gemeinsam für beide Szenarien und von besonderer Bedeutung ist die Erhöhung der mittleren Tragfähigkeit der Schiffe als Ergebnis der fortschreitenden Modernisierung der Binnenschifffahrtsflotte. Eine modellhafte Berechnung der Treibhausgasemissionen für diese Szenarien zeigt, dass nach dem konservativen Szenario die Gesamtemissionen auch bei einer Zunahme der Verkehrsleistung in etwa konstant bleiben und nach dem optimistischen Szenario signifikant abnehmen könnten. Insbesondere für die Verkehrs- und Umweltpolitik scheinen folgende mögliche Schlussfolgerungen daraus von Bedeutung:

- Eine breite Anwendung der heute schon verschiedentlich genutzten technischen und betrieblichen Energieeinsparungsmaßnahmen sowie eine weitergehende Zunahme der durchschnittlichen Schiffsgröße ermöglichen, die absolute Menge der betrieblichen Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt auch bei einer kontinuierlichen Zunahme der Güterverkehrsleistung in etwa konstant zu halten.
- Eine deutliche Reduzierung der absoluten Menge der betrieblichen Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt bei einer gleichzeitigen kontinuierlichen Zunahme der Güterverkehrsleistung wird dann möglich sein, wenn im großen Umfang neben LNG auch Bio-Kraftstoffe oder alternative Energieträger eingesetzt werden. Solche Kraftstoffe müssen jedoch auf ihre Verträglichkeit mit vorhandenen Motoren und Abgasnachbehandlungssystemen erprobt werden.

Kosten und Barrieren der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen

Fundierte Entscheidungen im Hinblick auf Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bedürfen ausreichender Kenntnisse der damit verbundenen Kosten. Bemerkenswert scheint, dass einige der in diesem Bericht dargelegten Maßnahmen zu einer Kostenreduktion beitragen, aber dennoch in der Binnenschifffahrt bis jetzt nur sehr begrenzt Anwendung finden.

Weiterführende Arbeiten

Abgesehen von der Identifizierung und Entwicklung von praktischen Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs steht die Binnenschifffahrt erst am Anfang eines langfristigen Prozesses zur Reduzierung ihrer Treibhausgasemissionen. Der Bericht hat die folgenden Arbeiten identifiziert, die notwendig sind, um diesen Prozess erfolgreich zu gestalten:

- Erstellen ergänzender Berichte zur Fahrgastschifffahrt und zur Rheinschifffahrt,,
- Bestimmung des Carbon Footprint der Binnenschifffahrt,
- Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs durch Auswertung von Daten des „Übereinkommens über die Sammlung, Abgabe und Annahme von Abfällen in der Rhein- und Binnenschifffahrt“ (CDNI),
- Anpassung der technischen Vorschriften für die Binnenschiffe im Hinblick auf die Zulassung von alternativen Energieträgern (Kraftstoffen),
- Grundsätzliche Prüfung einer verbindlichen Einführung des Energy Efficiency Design Index (EEDI) für die Binnenschifffahrt,
- Grundsätzliche Prüfung eines verbindlichen Standards des Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) für die Binnenschifffahrt,
- Grundsätzliche Prüfung, welche weiteren bedeutenden Maßnahmen die ZKR ergreifen kann, die zu einer Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen von Binnenschiffen führen,
- Erarbeitung von Szenarien zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt,
- Bereitstellung relevanter Informationen für die Binnenschifffahrt,
- Entwicklung von quantitativen Zielen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt,
- Ausarbeitung einer verkehrsträger- und grenzüberschreitenden Strategie für die künftigen Energieträger (Kraftstoffe) oder ersatzweise einer Kraftstoffstrategie der Binnenschifffahrt,
- Europaweite Einführung eines einheitlichen Umweltzeichens für die Binnenschifffahrt,
- Unterstützung einer europaweiten Einführung eines Förderprogramms zum energiesparenden Betrieb von Binnenschiffen (Smart Steaming),
- Entwicklung von Qualitätsstandards für die künftigen Energieträger (Kraftstoffe) der Binnenschifffahrt,
- Entwicklung von Maßnahmen an Wasserstraßen und Häfen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt,
- Untersuchung des CO₂-Reduktionspotentials bei der Nutzung von LNG und anderer alternativer Energieträger (Kraftstoffe) in der Binnenschifffahrt,
- Weiterführende Untersuchungen zu schiffstechnischen Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen von Binnenschiffen,
- Weiterführende Untersuchungen zu betrieblichen Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen von Binnenschiffen,
- Bestimmung der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs aufgrund der zunehmenden durchschnittlichen Tragfähigkeit der Binnenschiffe.

Die ZKR kann – vor allem in Anbetracht ihrer begrenzten Ressourcen – nur einige der aufgezeigten weiterführenden Arbeiten unterstützen.

Unabdingbar wird sein, die weiterführenden Arbeiten im europäischen Kontext und in Abstimmung mit der Europäischen Kommission, dem Binnenschiffsgewerbe und der Industrie durchzuführen.

INHALTSVERZEICHNIS

| | Seite |
|---|-------|
| 1. Begründung / Motivation für Bericht (Projekt) | 11 |
| 2. Bezugsbereich / Inhalt der Berichterstattung / des Projekts | 11 |
| 3. Kontext der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt | 14 |
| 4. Zielsetzung der internationalen Staatengemeinschaft und der Mitgliedsstaaten der ZKR sowie des Binnenschifffahrtsgewerbes hinsichtlich der Reduzierung Treibhausgasemissionen des Verkehrs und der Binnenschifffahrt | 16 |
| 5. „Carbon Footprint“ und spezifische CO ₂ -Emissionen (CO ₂ -Intensität) der Binnenschifffahrt und anderer Landverkehrsträger | 18 |
| 5.1 Methoden für die Berechnung des „Carbon Footprint“ und der spezifischen CO ₂ -Emissionen der Binnenschifffahrt | 18 |
| 5.2 Vergleich der spezifischen CO ₂ -Emissionen der verschiedenen Verkehrsträger | 23 |
| 5.3 Standardisierung der Methode zur Berechnung und Deklaration der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen | 24 |
| 6. Grundsätzliche Strategien der Reduzierung der Treibhausgasemissionen des Verkehrs | 25 |
| 7. Potential zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO ₂ -Emissionen in der Seeschifffahrt | 26 |
| 8. Randbedingungen im Hinblick auf die Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO ₂ -Emissionen in der Binnenschifffahrt | 27 |
| 9. Schiffstechnische Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO ₂ -Emissionen | 32 |
| 10. Betriebliche Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO ₂ -Emissionen | 33 |
| 11. Nutzung alternativer Energieträger (Kraftstoffe) zur Reduzierung der CO ₂ -Emissionen | 35 |
| 12. Potential zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO ₂ -Emissionen in der Binnenschifffahrt | 39 |
| 13. Unterstützende Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen | 41 |
| 13.1 Bereitstellung von Informationen | 41 |
| 13.2 Unterstützende Maßnahmen freiwilliger Art | 42 |
| 13.3 Unterstützende Maßnahmen auf Basis von rechtlichen Verpflichtungen und Subventionen | 44 |
| 13.4 Zusammenfassung | 45 |
| 14. Zusätzlicher Nutzen der Reduzierung der Treibhausgasemissionen | 45 |

| | Seite |
|--|-------|
| 15. Szenarien für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt | 48 |
| 16. Kosten und Barrieren der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen | 49 |
| 16.1 Kosten der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen | 49 |
| 16.2 Barrieren der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen | 51 |
| 17. Vorschläge für weiterführende Arbeiten | 53 |
| 17.1 Vorschläge für weiterführende Arbeiten unter Federführung der ZKR | 54 |
| 17.2 Vorschläge für weiterführende Arbeiten unter Federführung der ZKR oder anderer Institutionen | 59 |
| 17.3 Vorschläge für weiterführende Arbeiten ohne oder allenfalls mit geringer Beteiligung der ZKR | 61 |
| Anlagen | |
| Anlage 1: Treibhausgasemissionen (THG-Emission) der Binnenschifffahrt – andere Emissionen als die aus dem Schiffsbetrieb | 64 |
| Anlage 2: Ziele der Mitgliedstaaten der ZKR zur Senkung der anthropogenen Treibhausgasemissionen | 66 |
| Anlage 3: Bestimmung des „Carbon footprint“ und der spezifischen CO ₂ -Emissionen (CO ₂ -Intensität) der Binnenschifffahrt | 67 |
| Anlage 4: Grundsätzliche Möglichkeiten der Binnenschifffahrt zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen | 75 |
| Anlage 5: Technische Optionen zur Treibhausgasreduktion für non-road Verkehrsmodi | 78 |
| Anlage 6: Schiffstechnische Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO ₂ -Emissionen von Binnenschiffen | 79 |
| Anlage 7: Betrachtung der Entwicklung der durchschnittlichen Schiffsgröße in Europa und ihre möglichen Auswirkungen hinsichtlich der CO ₂ -Emissionen | 83 |
| Anlage 8: Betriebliche Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO ₂ -Emissionen von Binnenschiffen | 86 |
| Anlage 9: Smart Steaming | 89 |
| Anlage 10: Zukünftige Transportkraftstoffe | |
| Bericht der Europäischen Expertengruppe zu den künftigen Kraftstoffen für den Verkehr, Januar 2011 | 91 |
| Anlage 11: Regulierungsmaßnahmen zum Klimaschutz in der Seeschifffahrt: EEDI, EEOI, SEEMP | 94 |
| Anlage 12: Szenarien zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt | 96 |

Bericht der ZKR über Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen in der Binnenschifffahrt

1. Begründung / Motivation für Bericht (Projekt)

Anlässlich ihrer Herbsttagen 2009 hat sich die ZKR in ihrer Verantwortung für eine nachhaltige Rhein- und Binnenschifffahrt das Ziel gesetzt, die Treibhausgasemissionen der Rheinschifffahrt im Einklang mit den Emissionsminderungszielen ihrer Mitgliedsstaaten zu senken. Diese Zielsetzung erfolgte vor dem Hintergrund, dass die internationale Staatengemeinschaft entschlossen ist, Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung von Treibhausgasemissionen (Mitigation) zu ergreifen, und verbunden mit der Feststellung, dass die Binnenschifffahrt ein Verkehrsträger ist, der geringe Treibhausgasemissionen verursacht und noch zu einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen des Verkehrs insgesamt beitragen kann. Zur Erreichung dieses Ziels hat die ZKR ihren Untersuchungsausschuss beauftragt, ihr einen Bericht, basierend auf entsprechenden Studien und auf Beiträgen ihrer Mitglieds- und Beobachterstaaten sowie der mit ihr zusammenarbeitenden internationalen Organisationen und Wirtschaftsverbände, vorzulegen und darin Maßnahmen und Möglichkeiten zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt zusammenzustellen, zu bewerten und einen Vorschlag zu unterbreiten, wie diese den Schifffahrtstreibenden sowie anderen potentiellen Nutzern in geeigneter Weise zugänglich gemacht werden können (ZKR, 2009).

Der Nutzen des Berichts geht über die ZKR hinaus. Durch seine Zusammenstellung von Maßnahmen und Möglichkeiten zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt bietet er auch eine Datensammlung für künftige Studien bei der Vorbereitung politischer Entscheidungen (z.B. Emissionsreduzierungspotential der Binnenschifffahrt). Zudem stellt die ZKR diesen Bericht auch PIANC zur Verfügung, die auf globaler Ebene Arbeiten zu Klimawandel und Schifffahrt durchführt (PIANC 2010).

Der Bericht und eventuelle weiterführende Arbeiten könnten zu belastbaren und genaueren Treibhausgasbilanzen der Binnenschifffahrt, wie sie z.B. im Rahmen des Berichtswesens nach dem Kyoto-Protokoll erforderlich sind, beitragen.

2. Bezugsbereich / Inhalt der Berichterstattung / des Projekts

Der Bericht bezieht sich auf die Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt im engeren Sinne, nämlich die CO₂-Emissionen, die beim Betrieb der Binnenschiffe entstehen. Die Emissionen anderer Stoffe als CO₂ werden – mit Ausnahme von CH₄ – ebenso wenig betrachtet wie Emissionen, die nicht aus dem Betrieb der Schiffe resultieren. Diese Beschränkung ist vor allem dem Umstand geschuldet, dass für andere Emissionen der Binnenschifffahrt als die von CO₂ beim Betrieb der Schiffe nur wenige nützliche Studien oder Daten vorliegen. Der Zielsetzung des Berichts ist die Beschränkung nicht abträglich, da einerseits CO₂ das bei weitem bedeutendste von der Binnenschifffahrt emittierte Treibhausgas ist und andererseits andere Emissionen als die des Schiffsbetriebs wegen ihrer geringen Mengen – zumindest in einem ersten Ansatz – außer Betracht gelassen werden können.

CH₄, auch eines der wichtigen Treibhausgase, wird derzeit beim Betrieb der Binnenschiffe praktisch nicht emittiert. Dies wird sich ändern, wenn LNG als Kraftstoff auf einer großen Zahl von Binnenschiffen eingesetzt werden wird. CH₄ kann sowohl auf den Schiffen selbst austreten, beim Bunkern, bei Leckagen und bei einer unvollständigen Verbrennungen, wie auch bei der Aufbereitung und dem Transport des LNG. Dementsprechend werden die CH₄-Emissionen in **Abschnitt 11** des Berichts über die Nutzung alternativer Energieträger diskutiert und mögliche klimaschädigende Auswirkungen der Nutzung von LNG als Kraftstoff berücksichtigt.

Die ZKR hat 2012 auf einigen Binnenschiffen die Nutzung von LNG zu Testzwecken zugelassen. Ebenso hat sie mit der Ausarbeitung von generellen Zulassungsvorschriften für LNG als Kraftstoff in der Binnenschifffahrt begonnen. Die in diesem Rahmen vorgesehene

Folgenabschätzung bietet die Gelegenheit einer eingehenderen Betrachtung vorgenannter Auswirkungen.

Emissionen aus der Ladung, wie sie in der Tankschifffahrt auftreten, sind nicht der Binnenschifffahrt, sondern den Produktionsketten, in die die Ladungen eingebunden sind, zuzurechnen. Dessen ungeachtet scheint es in Anbetracht des großen Anteils der flüssigen Güter am gesamten Ladungsaufkommen der Binnenschifffahrt sinnvoll, in einer gesonderten Studie die Treibhausgasemissionen aus der Ladung von Tankschiffen hinsichtlich ihres Umfangs zu bestimmen und Maßnahmen zu ihrer Reduktion auszuarbeiten und umzusetzen.

Die die Klimaveränderung verursachenden Vorgänge sind komplex und ein Vergleich der Wirkungen der verschiedenen Treibhausgase ist schwierig (Solomon, Qin et al. 2007). CO₂ ist, wie in **Tabelle 1** dargestellt, global das mit Abstand bedeutendste Treibhausgas, weit vor CH₄ (Methan), Distickstoffmonoxid (N₂O) und den Fluorchlorkohlenwasserstoffen. Noch wesentlich größer als im globalen Durchschnitt ist der Anteil von CO₂ an den Treibhausgasemissionen aus dem Betrieb der Binnenschiffe. Im Mittel liegt der Anteil von CO₂ an der Gesamtmasse der Abgase von Dieselmotoren, die praktisch auf allen Binnenschiffen zu finden sind, bei etwa 20 % und der Anteil der NO_x bei deutlich weniger als 0,1 %. ((Lenz, Illini et al. 2004) nach (Geringer and Tober 2010)). N₂O macht nur einen Bruchteil der Gesamtmasse der NO_x (Stickoxyde) im Abgas aus (Hausberger). Das erklärt, warum das Klimaerwärmungspotential von N₂O von Dieselmotoren auf Binnenschiffen mit weniger als 1 % dessen von CO₂ angesetzt wird (Verbeek, Kadijk et al. 2011). N₂O hat somit als von der Binnenschifffahrt emittiertes Treibhausgas keine Bedeutung.

Tabelle 1: Charakteristika von wichtigen Treibhausgasen (Quellen: (NOAA ; Houghton, Meira Filho et al. 1996; Solomon, Qin et al. 2007; Borken-Kleefeld and Sausen 2011))

| Klimagas Kriterium | Kohlenstoffdioxid (CO₂) | Methan (CH₄) | Lachgas (N₂O) | Fluorchlorkohlen- wasserstoffe |
|--|--|--|---|---|
| Überwiegende anthropogene Entstehung | Verbrennung fossiler Energieträger (Transport, Heizung, Stromerzeugung, Industrie) | Verarbeitung von Biomaterial (Land-, Forstwirtschaft etc.), industrielle Prozesse, Produktion von Erdgas | Landwirtschaft (Viehhaltung, Düngemittel), Kraftwerke | Treibgase, Kältemittel, Feuerlöschmittel |
| Überwiegende Entstehung in der Binnenschifffahrt | Verbrennung Gasöl ² | Leckagen oder unvollständige Verbrennung bei (künftiger) Nutzung von LNG | Verbrennung Gasöl (NO _x) | Klimaanlagen, Feuerlöschanlagen |
| Klimawirksamkeit im Verhältnis zu CO₂ | 1 | Ca. 25 | Ca. 300 | Einige dieser Stoffe bis zu 14.800 |
| Anteil des anthropogen verursachten zusätzlichen Treibhauseffekts | Ca. 60 % | Ca. 20 % | Ca. 5 % | |
| Verweilzeit in der Atmosphäre | Unterschiedlich, einige 100 Jahre | Ca. 12 Jahre | Ca. 115 Jahre | Bis zu einigen 1000 Jahren |
| Ausblick | Zunahme in der Atmosphäre schneller als andere Klimagase | Relativ stabile Gesamtmenge in der Atmosphäre mit aktueller Zunahme | Kontinuierliche Zunahme in der Atmosphäre | Teilweise Reduzierung aufgrund internationaler Abkommen |

² In diesem Bericht wird Gasöl als Kraftstoff für Dieselmotoren an Bord von Binnenschiffen verstanden, unabhängig von der Qualität des tatsächlich verwendeten Kraftstoffs. In der EU wird der Kraftstoff der Binnenschifffahrt durch die Richtlinie 2009/30/EG spezifiziert.

Fluorchlorkohlenwasserstoffe haben eine vergleichsweise sehr hohe Klimawirksamkeit. Sie kommen auf Binnenschiffen – abgesehen von Ladungen – fast ausschließlich als Löschmittel bestimmter Feuerlöschanlagen vor. Die Löschmittel gelangen in die Atmosphäre bei Auslösung der Anlagen und Leckagen, also in Ausnahmefällen. Von daher sind diese Treibhausgase in der Binnenschifffahrt von geringer Bedeutung³ und werden im vorliegenden Bericht nicht weiter berücksichtigt. Dessen ungeachtet scheint es sinnvoll, künftig nur noch solche Einrichtungen, die ohne klimaschädliche Stoffe auskommen, zur Brandbekämpfung auf Binnenschiffen zuzulassen.

Die klassischen Luftschadstoffe, die beim Betrieb von Dieselmotoren entstehen, fördern durch verschiedene komplexe Mechanismen ebenfalls die Erwärmung des Klimas, haben unter bestimmten Bedingungen aber auch kühlende Effekte (Borken-Kleefeld and Sausen 2011). In den ersten Jahren ihres Entstehens können ihre Auswirkungen auf das Klima von ähnlicher Größe sein wie die von CO₂. Diese Auswirkungen nehmen jedoch – im Gegensatz zu denen von CO₂ – schnell ab. Eine Ausnahme bilden hier lediglich die Schadstoffemissionen der Seeschifffahrt, die sich durch einen sehr hohen Schwefelanteil von den Schadstoffemissionen anderer Verkehrsträger unterscheiden. Die Reduzierung der Schadstoffemissionen der Binnenschifffahrt, die in den letzten Jahren bereits erreicht wurde, trägt somit auch zu einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen bei. Sie sollte also auch aus Gründen des Klimaschutzes fortgesetzt werden, wobei aus eben diesen Gründen die Reduzierung der Schadstoffe nicht zu einer Erhöhung des Kraftstoffverbrauchs und damit der CO₂-Emissionen führen sollte. Da die Arbeiten zur Reduzierung der Schadstoffemissionen der Binnenschifffahrt mittlerweile überwiegend auf Ebene der EU erfolgen, werden diese Emissionen in dem vorliegenden Bericht nur insoweit betrachtet, als ein Zusammenhang mit dem Kraftstoffverbrauch besteht. Die ZKR, zusammen mit der Environmental Protection Agency der USA weltweiter Vorreiter bei der Regulierung der Schadstoffemissionen der Binnenschifffahrt, hat damit auch zu einer Reduzierung des Klimawandels – soweit dieser von der Binnenschifffahrt verursacht wird – beigetragen.

Die Treibhausgasemissionen aus der Herstellung der Binnenschiffe, ihrer Instandhaltung und ihrer Verschrottung werden ebenso wenig betrachtet wie die aus anderen Bereichen der Binnenschifffahrt, insbesondere der Herstellung, dem Betrieb und der Unterhaltung der Wasserstraßen sowie der Binnenhäfen. **Anlage 1** geht näher auf diese Bereiche der Binnenschifffahrt ein und skizziert eine mögliche Behandlung dieser Emissionen.

Geographisch bezieht sich der Bericht auf die Rheinschifffahrt und die Binnenschifffahrt in der EU. Grundsätzlich lassen sich die Aussagen jedoch auch auf die Binnenschifffahrt in anderen Ländern übertragen, sofern dort ähnliche Technologien genutzt werden und ähnliche politische wie administrative Randbedingungen bestehen. Ersteres dürfte weltweit der Fall sein, letzteres jedoch die Ausnahme, insbesondere im Hinblick auf eine ehrgeizige Zielsetzung zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen⁴.

³ Für die Binnenschifffahrt sind keine Daten zum Umfang dieser Emissionen verfügbar. Für die Seeschifffahrt wird ihr Anteil – nach Umrechnung auf CO₂-Äquivalente, mit deutlich weniger als ein Prozent angegeben.

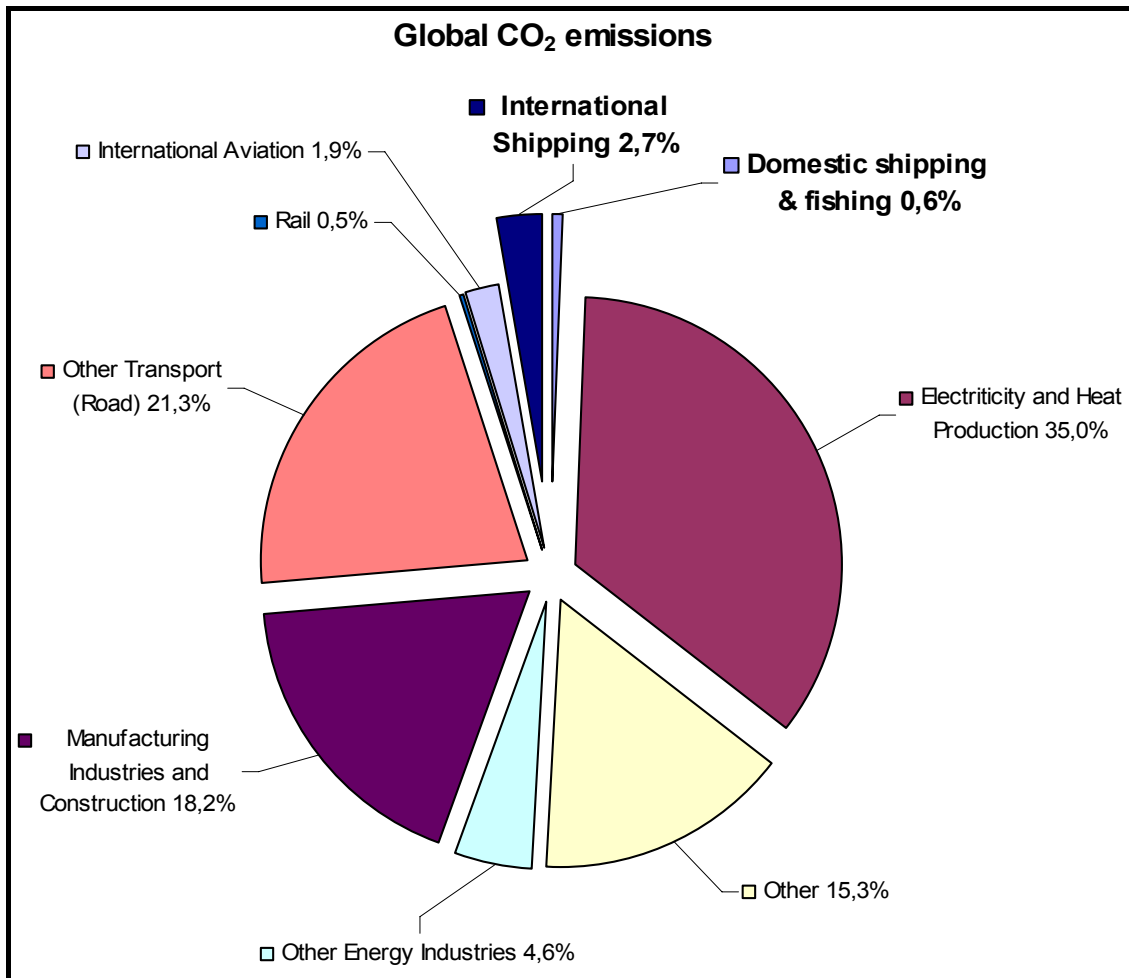
⁴ Die bedeutenden Binnenschifffahrtsnationen außerhalb der EU, China, Russland und die USA, sehen – zumindest was international verbindliche Absprachen betrifft – die Notwendigkeit der Reduzierung von Treibhausgasemissionen deutlich skeptischer als die Mitgliedsstaaten der ZKR und der EU.

3. Kontext der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt

Absolut gesehen sind die Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt im Verhältnis zu den gesamten Treibhausgasemissionen des Verkehrs und erst recht im Verhältnis zu allen anthropogenen Treibhausgasemissionen von sehr geringer Bedingung. Dies resultiert aus der hohen Energieeffizienz der Binnenschifffahrt und aus ihrer überwiegend geringen Bedeutung im Verkehrsmix. Allerdings machen die mit der Binnenschifffahrt konkurrierenden Verkehrsträger Fortschritte bei der Reduzierung ihrer Treibhausgasemissionen. Will die Binnenschifffahrt ihren Wettbewerbsvorteil „Klimafreundlichkeit“ behalten, muss sie ebenfalls ihre Treibhausgasemissionen weiter reduzieren.

Die Bestimmung der von Transportaktivitäten verursachten Treibhausgasemissionen ist schwierig, weshalb alle Angaben dazu mit Ungenauigkeiten behaftet sind (Miola, Ciuffo et al. 2010). Die zweite Treibhausgasemissionsstudie der IMO (Buhaug, Corbett et al. 2009) kommt zu dem Ergebnis, dass 2007 etwa 27 % der gesamten globalen CO₂-Emissionen aus Transportaktivitäten resultieren. An den gesamten durch Transportaktivitäten verursachten CO₂-Emissionen hat die Schifffahrt (See-, Küsten- und Binnenschifffahrt) einen Anteil von etwa 12 %. (Siehe **Abbildung 1**).

Abbildung 1: CO₂-Emissionen der Schifffahrt verglichen mit den globalen Gesamtemissionen (übernommen von Buhaug et al. 2009)



Aus der zweiten Treibhausgasemissionsstudie der IMO lässt sich der Anteil der Binnenschifffahrt an den globalen CO₂-Emissionen nicht ableiten. Für die EU-27 wird der Anteil der Binnenschifffahrt an den gesamten CO₂-Emissionen der Landverkehrsträger auf weniger als 1 % (Uherek, Halenka et al. 2010) geschätzt. Die Europäische Kommission nennt für 2008 einen Wert von etwa 1,8 % (EU 2011d), wobei alle Verkehrsträger bis auf die elektrische Traktion der Eisenbahnen als Bezugsgröße dienen.

Die deutlichen Unterschiede in den Angaben für die Emissionsanteile der Binnenschifffahrt, nämlich von weniger als 1 % bis zu 1,8 %, scheinen nicht durch die unterschiedlichen Bezugsgrößen noch die betrachteten Zeiträume allein erklärlich. Es kann vermutet werden, dass auch große Unsicherheiten bei der Bestimmung der Emissionen bestehen.

Der geringe Anteil der Binnenschifffahrt an den Gesamtemissionen des Verkehrs resultiert aus ihrer vergleichsweise geringen Verkehrsleistung. Im Personenverkehr spielt die Binnenschifffahrt fast keine Rolle und im Güterverkehr der EU-27 beträgt ihr Anteil nur etwa 6 % an den von allen Landverkehrsträgern erbrachten Verkehrsleistungen (tkm). Allerdings variieren die Verkehrsleistungs- und damit auch die Emissionsanteile zwischen den Ländern deutlich. In den Niederlanden, dem Spitzenreiter in dieser Hinsicht, werden annähernd 40 % der Verkehrsleistung von der Binnenschifffahrt erbracht (Eurostat 2009).

Während die absolute Menge der CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern in allen Studien einheitlich als gering dargestellt wird, trifft dies für die spezifischen Emissionen (g/tkm) nicht zu. Beispielsweise sehen einige Studien den elektrifizierten Gütertransport auf der Schiene deutlich günstiger als die Binnenschifffahrt (den Boer, Otten et al. 2011); (McKinnon and Piecyk 2010). Andere Studien geben hingegen auch hier für die Binnenschifffahrt deutlich niedrigere Werte an (PLANCO 2007). Einen ausführlichen Vergleich der spezifischen Emissionen der verschiedenen Verkehrsträger enthält **Abschnitt 5.2** dieses Berichts.

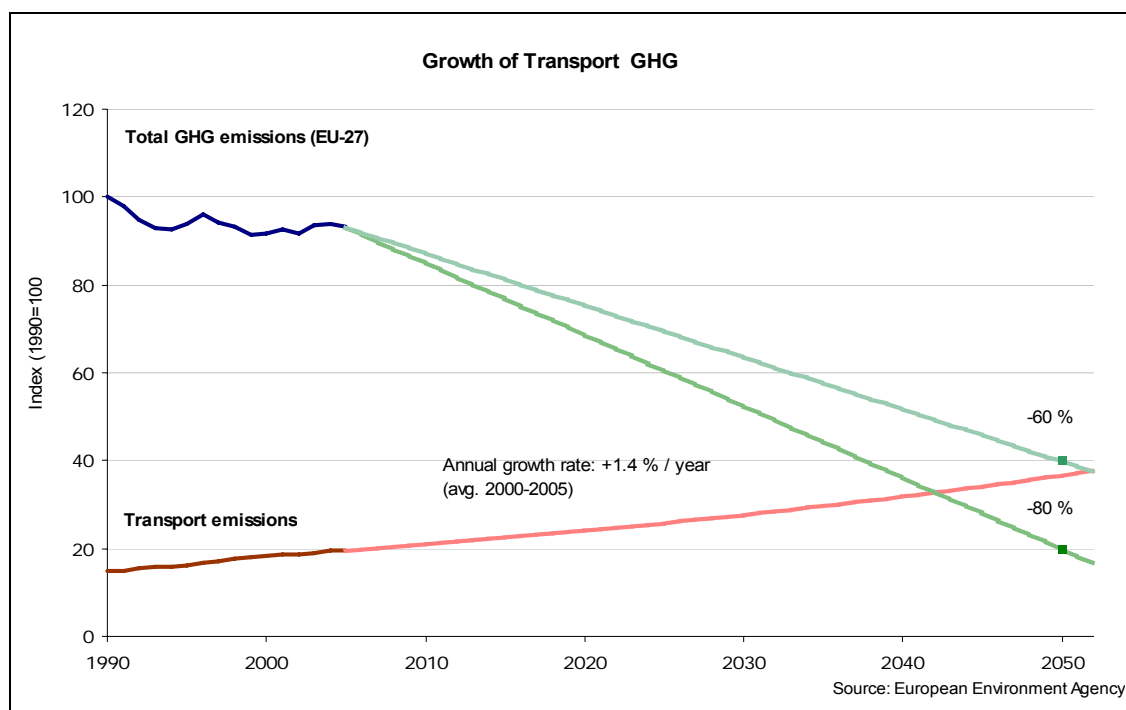
Die mit der Binnenschifffahrt konkurrierenden Verkehrsträger nutzen Möglichkeiten zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen, die der Binnenschifffahrt nicht offen stehen. Die Bahnunternehmen haben die Möglichkeit, elektrische Energie aus Wind- und Wasserkraft zu beziehen, was die CO₂-Emissionen der Eisenbahn noch weiter reduziert (Essen, Rijke et al. 2009). Beispielsweise mit Fahrerschulungen und dem verstärkten Einsatz der Bremsenergieerückgewinnung in Zügen beabsichtigt die Deutsche Bahn (DB) ihre weltweiten CO₂-Emissionen von 2006 bis 2020 um 20 % zu reduzieren (Müller-Wondorf 2012). Fahrzeuge des Straßenverkehrs unterliegen einem Modellwechsel in schneller Abfolge, was ihm eine rasche Umsetzung des technischen Fortschritts erlaubt. Damit kann der Straßengüterverkehr seinen Rückstand bei den spezifischen Emissionen zu den Eisenbahnen und der Binnenschifffahrt derzeit zwar noch nicht aufholen, jedoch deutlich verkleinern. So wird der LKW nicht nur hinsichtlich der Schadstoffemissionen, sondern auch hinsichtlich der Treibhausgasemissionen zunehmend konkurrenzfähiger (Spielman, Faltenbacher et al. 2010).

Beim Vergleich verschiedener Verkehrsträger ist jedoch immer zu berücksichtigen, dass der aus der Durchführung von Transporten resultierende Energieverbrauch und die damit zusammenhängenden Emissionen von vielen verschiedenen und teilweise sehr fallspezifischen Faktoren abhängen. Daraus ergeben sich für jeden Verkehrsträger Transportfälle, für die diese gut oder weniger gut geeignet sind. Deshalb sind weder Vergleiche, die auf hochaggregierten Emissionsdaten beruhen, noch solche, bei denen für bestimmte Verkehrsträger unrealistische Transportaufgaben miteinander verglichen werden, sinnvoll. Erstgenannte lassen keine nützliche Aussage für konkrete Transportaufgaben zu, letztgenannte sind irreführend. Auch für die Verkehrs- und Umweltpolitik sind beide Vergleiche unbrauchbar. Sinnvoll erscheinen allein Vergleiche konkreter und realer Transportaufgaben. Diese Vergleiche sind sowohl in Studien (PLANCO 2007) wie auch in Angeboten von Beförderern (Contargo 2011) zu finden.

4. Zielsetzung der internationalen Staatengemeinschaft und der Mitgliedsstaaten der ZKR sowie des Binnenschiffahrtsgewerbes hinsichtlich der Reduzierung Treibhausgasemissionen des Verkehrs und der Binnenschiffahrt

Ein kontinuierlicher Anstieg der Treibhausgasmissionen des Verkehrs würde die globalen Emissionsminderungsziele der EU unterminieren, wie **Abbildung 2** zeigt. Daher sind Maßnahmen notwendig, um die Treibhausgasmissionen des Verkehrs in Einklang mit den globalen Klimaschutzziele zu bringen. Eine derartige Quantifizierung ist objektiv insbesondere aufgrund der unvollständigen Kenntnisse der aktuellen Emissionen, der Emissionsminderungsmöglichkeiten sowie der wirtschaftlichen Gesamtentwicklung ein komplexes Unterfangen. Allerdings wäre eine solche Quantifizierung der Zielsetzung für alle Betroffenen hilfreich. Es würde Unsicherheiten minimieren und ihnen erlauben, die politischen, wirtschaftlichen, technischen und andere Prozesse auf dieses Ziel auszurichten. Die Notwendigkeit der Quantifizierung der Ziele und die erforderliche Methodik zur Setzung und Erreichung von Klimaschutzziele sind im Rahmen der OECD auf Ministerebene bereits bestätigt. Da die Mitgliedsstaaten der ZKR für etwa dreiviertel der Verkehrsleistung und damit der Treibhausgasemissionen der Binnenschiffahrt in der EU verantwortlich zeichnen, ist es naheliegend, dass diese Staaten zusammen mit der ZKR eine Führungsrolle bei der Konkretisierung der Klimaschutzziele der Binnenschiffahrt übernehmen.

Abbildung 2: Verläufe der Gesamtemissionen der Europäischen Union im Vergleich mit extrapolierten Emissionen des Verkehrs



Die Europäischen Kommission hat in ihrem Weißbuch „Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem“ (EU 2011b) festgestellt, dass eine Reduktion von mindestens 60 % der absoluten Menge der Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors bis 2050 gegenüber 1990 (70 % unter dem Niveau von 2008) erforderlich ist. Das Ziel der 60 % Emissionsminderung erstreckt sich allerdings nicht auf den maritimen Sektor. Daher ist die Zielsetzung für den Seeverkehr separat ausgewiesen.

Die EU-CO₂-Emissionen von maritimen Bunkerölen sollten bis zum Jahr 2050 um 40 % (wenn möglich 50 %) im Vergleich zu 2005 gesenkt werden. Unklar bleibt in der Mitteilung, ob jeder Verkehrssektor, also auch die Binnenschifffahrt, dieses Ziel erreichen muss und ob es sich dabei um die spezifischen Emissionen, also bezogen auf die erbrachte Verkehrsleistung, ausgedrückt in g CO₂ pro tkm, handelt oder um die absolute Menge der Emissionen. Gerade bei den in dem Weißbuch unterstellten deutlichen Zuwächsen der Verkehrsleistung für die Binnenschifffahrt ist dies von entscheidender Bedeutung. Die Europäische Kommission hat im Frühjahr 2011 diesen Sachverhalt auf Nachfrage des Sekretariats der ZKR klargestellt: Das Ziel einer 60 % Minderung bezieht sich auf die absolute Menge der Emissionen. Es bedeutet allerdings nicht, dass jeder Verkehrsträger seine Emissionen um 60 % reduzieren muss. Teilweise aus den vorstehend erwähnten Gründen und auch zur Berücksichtigung der Besonderheiten des jeweiligen Modus werden einige Verkehrsträger ihre Emissionen mehr als andere reduzieren. Dennoch ist ein signifikanter Beitrag aller Verkehrsträger notwendig. Soll im Einklang mit dem vorgenannten allgemeinen Reduktionsziel für den Verkehrssektor die absolute Menge der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt um 60 % gemindert werden und wird davon ausgegangen, dass die von der Binnenschifffahrt erbrachte Verkehrsleistung weiter zunimmt, müssen die spezifischen Emissionen über diese 60 % hinaus sinken. Der Umfang dieses zusätzlichen Rückgangs der spezifischen Emissionen ist abhängig von der Zunahme der Verkehrsleistung. Steigt beispielsweise die Verkehrsleistung im Vergleichszeitraum um 50 %, müssen die spezifischen Emissionen nicht nur um 60 %, sondern um mehr als 70 % zurückgehen. In der **Anlage 13** wird dieser Zusammenhang anhand von verschiedenen Szenarien dargestellt.

Der Verkehrsministerrat der EU hat das Weißbuch der Europäischen Kommission grundsätzlich begrüßt, die darin genannten Ziele jedoch teilweise relativiert. Anlässlich seiner Tagung im Juni 2011 bezeichneten einige der Delegationen die Ziele als indikativ und sehr ambitioniert (EU 2011a).

Über das Weißbuch hinaus gibt es weitere vielfältige Zielsetzungen der EU im Hinblick auf eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Verkehr. In den Erwägungsgründen der Richtlinie 2009/33/EG⁵ über die Förderung energieeffizienter Straßenfahrzeuge sind diese aufgeführt zur Begründung des Ergreifens dieser legislativen Maßnahme auf EU-Ebene.

Auch die Mitgliedstaaten der ZKR verfolgen das Ziel, ihre anthropogenen Treibhausgasemissionen zu reduzieren, einschließlich der des Verkehrs. Zudem haben einige von ihnen für den Verkehr insgesamt quantitative Ziele entwickelt. Möglicherweise werden diese bei ihrer Fortentwicklung auch für die Binnenschifffahrt spezifiziert. (Siehe **Anlage 2**.)

Die fehlende Quantifizierung der Emissionsminderungsziele durch die Staaten erstaunt, denn bereits im Mai 2000 hatte der Ministerrat der Europäischen Verkehrsministerkonferenz festgestellt, dass der erste Schritt für wirtschaftliche Emissionsreduzierungen eine akkurate Quantifizierung der erwarteten Emissionsminderungen von bereits eingeleiteten und vorgeschlagenen Maßnahmen sein sollte. Der Prozess dazu sei in den meisten Mitgliedsstaaten schon angelaufen (CEMT 2000). Die Methodik für die Entwicklung von Klimaschutzzielen im Verkehr, deren Quantifizierung und deren Umsetzung sind in Richtlinien dargestellt, die die Umweltminister der OECD (OECD 2002) verabschiedet haben.

⁵ Richtlinie 2009/33/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge

Die europäischen Verbände des Schifffahrtsgewerbe haben, anders als die Mitgliedsstaaten der ZKR, ihr Ziel zur Reduzierung der CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt quantifiziert: 50 bis 70 % bis zum Jahr 2050 (INE, EBU et al. 2011). Es kann vermutet werden, dass damit die absolute Menge der Emissionen gemeint ist. Gleichzeitig propagieren die Verbände eine Zunahme des Anteils der Binnenschifffahrt am Modal Split. Um unter diesen Bedingungen die Emissionsziele zu erreichen, müsste das Schifffahrtsgewerbe die spezifischen Emissionen (bezogen auf die Verkehrsleistung in tkm) noch deutlich stärker reduzieren als die absolute Menge. Die Zielsetzung enthält keine Aussagen darüber, auf welches Ausgangsjahr sich das Minderungsziel bezieht. Hier liegt die Vermutung nahe, dass es sich wie beim Weißbuch der Europäischen Kommission um das Jahr 1990 handelt, da die Mitteilung ausdrücklich auf die Arbeiten der Europäischen Kommission Bezug nimmt.

Der Umfang der Emissionsminderungspotentiale der Binnenschifffahrt ist auch abhängig von den Spezifika der jeweiligen Wasserstraße. Große Wasserstraßen lassen große Schiffs- oder Verbandsabmessungen zu, die wiederum grundsätzlich zu geringeren spezifischen Emissionen führen. Von daher sollten ehrgeizige Emissionsminderungsziele auf dem Rhein und anderen ähnlich großen Wasserstraßen sehr viel leichter zu erreichen sein als auf Wasserstraßen mit einem sehr eingeschränkten Profil.

Der Supreme Court der USA hat eine Klage auf Schadenersatz wegen Treibhausgasemissionen angenommen. Derzeit ist nicht abzusehen, ob das Gericht eine Haftung der Treibhausgasemittenten für die Schäden, welche durch den Klimawandel hervorgerufen werden, feststellen wird (Eder 2011). Sollte dem jedoch so sein, könnte dies auch Folgen über die USA hinaus haben. Insbesondere könnten von einem derartigen Urteil zusätzliche Impulse zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen erwartet werden, da die Emittenten möglichen Schadenersatzklagen aus dem Weg gehen werden wollen.

5. „Carbon Footprint“ und spezifische CO₂-Emissionen (CO₂-Intensität) der Binnenschifffahrt und anderer Landverkehrsträger

Dieser Teil des Berichts setzt sich mit dem „Carbon Footprint“, dem klimatischen Fußabdruck der Binnenschifffahrt auseinander. Zunächst wird der Kenntnisstand zum „Carbon Footprint“ der Binnenschifffahrt erläutert und danach mit dem anderer Verkehrsträger verglichen. Abschließend und aus aktuellem Anlass wird noch auf die Standardisierung der Methode zur Berechnung und Deklaration der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen eingegangen.

5.1 Methoden für die Berechnung des „Carbon Footprint“ und der spezifischen CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt

Beim Gütertransport kann die CO₂-Intensität eines Verkehrsträgers durch die CO₂-Emissionen bezogen auf die Verkehrsleistung, überwiegend in g/tkm, aber zum Beispiel auch in g/TEUkm, dargestellt werden. Häufig wird dieses Verhältnis auch als CO₂-Emissionsfaktor bezeichnet. Wie für andere Verkehrsträger auch ist die CO₂-Intensität das zentrale Element für die Bestimmung des „Carbon Footprint“ der Binnenschifffahrt. In einer Vielzahl von Studien wird versucht, die CO₂-Intensität der Binnenschifffahrt zu quantifizieren. Die Bandbreite der aus diesen Studien resultierenden Werte ist jedoch so groß, dass damit weder eine zuverlässige Bestimmung des Carbon Footprints der Binnenschifffahrt für Zwecke der Verkehrs- oder der Klimaschutzpolitik möglich scheint, noch akkurat die CO₂-Emissionen von logistischen Ketten hergeleitet werden können. Es stellt sich daher die Frage nach der Qualität der Ausgangsdaten, die für eine Modellrechnung mittels Emissionsfaktoren verwendet werden. Die verfügbaren oder neu zu entwickelnden Emissionsfaktoren sollten daher anhand von Daten von Binnenschifffahrtsunternehmen zum Kraftstoffverbrauch und der Verkehrsleistung verschiedener Schiffstypen mit Hilfe der von der ZKR geführten Statistiken verifiziert werden. Auf dieser Grundlage dürften verlässliche und allgemein akzeptierte Aussagen zu den CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt erarbeitet werden können.

Die bei der Bestimmung der CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt zu bewältigenden Herausforderungen kommen in den Schlussfolgerungen des Workshops der ZKR am 12. April 2011 in Straßburg zu dem Thema zum Ausdruck (de Schepper 2011):

- Es gibt eine breite Palette von CO₂-Emissionsfaktoren aufgrund verschiedener Parameter, Werte und Methoden.
- Aufgrund von Wissenslücken haben aktuelle Ansätze immer noch eine begrenzte Bedeutung.
- Es handelt sich um ein in der Entwicklung befindliches komplexes Gebiet.
- Es besteht ein Bedarf für drei verschiedene Methoden:
 1. Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs der Schiffe (basierend auf realen Werten / EEOI⁶);
 2. Bestimmung des „Carbon Footprint“ für Entscheidungsträger in der Logistikbranche (multi-modal) und Entscheidungsfindung im Verkehrssektor (intramodal) – CEN-Norm;
 3. Methode für die Politikentwicklung und politische Entscheidungsfindung.
- Fachlicher Austausch auf EU-Ebene, Forschung und eine neutrale Validierung werden benötigt für detailliertere und genauere Emissionsdaten und Emissionsfaktoren der Binnenschifffahrt, die aufgrund von Prüfungen durch die Betroffenen allgemein akzeptiert sind.

Diese Diskussionsergebnisse sind Ausgangspunkt der Ausführungen des vorliegenden Berichts zu den Methoden für die Berechnung des „Carbon footprint“ und der spezifischen CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt. Im Mittelpunkt dieses Berichts steht die Methode zur Bestimmung der CO₂-Emissionen für politische Entscheidungen. Dennoch geht der Bericht auch auf Methoden für die anderen Anwendungsfälle, die anlässlich des ZKR-Workshops identifiziert wurden, ein.

Die akkurate Bestimmung des tatsächlichen Kraftstoffverbrauchs – und indirekt damit auch der CO₂-Emissionen – ist für die Schiffseigner die wahrscheinlich wichtigste Maßnahme bei der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs durch Optimierung des Schiffsbetriebs. Darauf wird in **Abschnitt 13.2** und insbesondere in **Anlage 11** dieses Berichts näher eingegangen. Die Bestimmung des tatsächlichen Kraftstoffverbrauchs erlaubt dem Schiffseigner ein Benchmarking innerhalb seiner eigenen Flotte und mit anderen Unternehmen. Gleichzeitig bilden die Kenntnisse des tatsächlichen Kraftstoffverbrauchs auch die Grundlage für die Bestimmung der CO₂-Emissionen im Rahmen von logistischen oder politischen Entscheidungen.

Die Bestimmung der CO₂-Emissionen für logistische Entscheidungen hat eine große Bedeutung für Unternehmen. Beispielsweise gaben etwa zwei Drittel von gut 170 befragten Unternehmen mit einem Gesamtumsatz von etwa 450 Mrd. Euro, darunter Verlager und Dienstleister aller Branchen, im September und Oktober 2009 an, dass die Erfassung (und Reduzierung) der CO₂-Emissionen eine große Bedeutung hat (Wittenbrink and Gburek 2009). Außerdem erwarten Kunden von Transportunternehmen Informationen über die CO₂-Emissionen, die der Transport ihrer Güter erzeugt, um diese für ihre Umwelt- oder Nachhaltigkeitsbilanzen nutzen zu können. Als Beispiel sei hier BASF, das weltgrößte Chemieunternehmen und bedeutender Kunde der Binnenschifffahrt genannt. Das Unternehmen bilanziert seine Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette⁷ und konnte so feststellen, dass Treibhausgasemissionen im Umfang von etwa 4 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent aus den Transportaktivitäten, die auf das Unternehmen zurückzuführen sind, resultieren.

⁶ Energie-Effizienz-Betriebs-Indikator, siehe Anlage 11

⁷ <http://www.basf.com/group/corporate/de/sustainability/environment/climate-protection/bilanzierung-treibhausgasemissionen>

Für die Berechnung der Emissionen von Transporten werden verschiedene automatisierte Verfahren angeboten. Das vielleicht bekannteste Verfahren in Europa für Gütertransporte ist EcoTransIT⁸. Das Verfahren, welches von den großen europäischen Eisenbahnunternehmen entwickelt wurde und zur Verfügung gestellt wird, erlaubt die Berechnung von Emissionen in Abhängigkeit der gewählten Transportmodi. Virtuell treten dabei die verschiedenen Modi in einen ökologischen Wettbewerb. Je größer die Bedeutung dieser Verfahren für logistische Entscheidungen wird, desto größer muss das Interesse der verschiedenen Verkehrsbranchen sein, dass ihre Emissionen niedrig und in den Modellen möglichst genau wiedergegeben sind. Voraussetzung dafür sind wissenschaftlich validierte und von den jeweiligen Branchen akzeptierte Emissionsfaktoren. Wie anlässlich des Workshops der ZKR festgestellt wurde, ist dies aus Sicht der europäischen Binnenschifffahrt noch nicht gegeben.

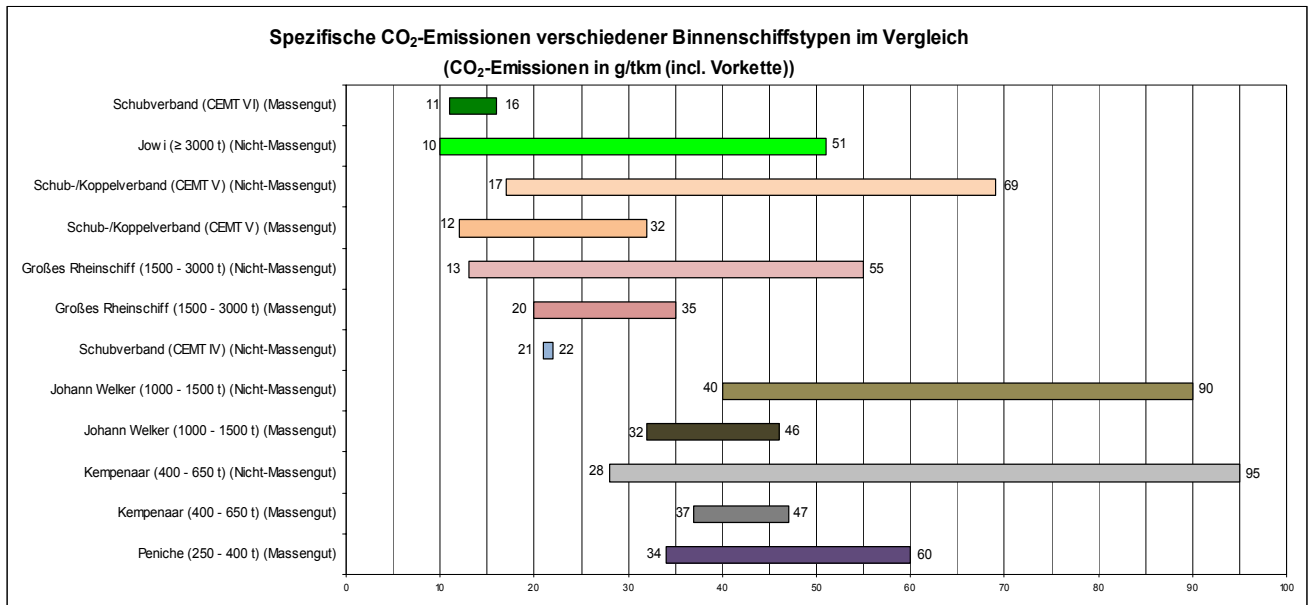
Auch im Hinblick auf vorgenannte Rechenverfahren erfolgt aktuell die Standardisierung der Methode zur Berechnung und Deklaration der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen. Diese Standardisierung ist einerseits ein großer Schritt in Richtung einheitlicher Verfahren, stellt andererseits selbst keine CO₂-Emissionsfaktoren bereit. Vielmehr werden an anderer Stelle erzeugte Emissionsfaktoren benötigt, um die Treibhausgasemissionen von Transportdienstleistungen berechnen und deklarieren zu können. **Abschnitt 5.3** dieses Berichts geht näher auf diese Standardisierung ein.

Die Bestimmung von CO₂-Emissionsfaktoren und der CO₂-Intensität der Binnenschifffahrt ist das Ziel einer großen Zahl von Studien. Grundsätzlich unbrauchbar scheinen Studien, die nur einen Durchschnittswert angeben, sofern dieser Wert nicht auf dem tatsächlichen Kraftstoffverbrauch der betrachteten Flotte beruht. Ersatzweise wäre es auch möglich, theoretisch für jeden Schiffstyp die CO₂-Intensität zu bestimmen und dann über die individuelle Verkehrsleistung der einzelnen Schiffstypen die Gesamtemissionen zu bestimmen. Es liegen jedoch keine derartigen Studien vor.

Wesentlich aufschlussreicher sind Studien, die Emissionsfaktoren für eine möglichst große Zahl von Schiffstypen – möglicherweise zusätzlich differenziert nach Fahrtgebieten – herleiten. **Abbildung 3** gibt eine Übersicht über die CO₂-Intensität (CO₂-Emissionsfaktoren) für verschiedene Schiffstypen unter Einbeziehung der Vorketten zur Kraftstoffherstellung (well to wheel). Die Angaben in dieser Abbildung wurden Studien entnommen, denen eine hinreichend differenzierte Betrachtung der verschiedenen Schiffstypen zugrunde liegt. (Eine ausführliche Analyse dieser und weiterer Studien sowie eine wesentliche detailliertere Tabelle enthält **Anlage 3**). Auffällig ist die sehr große Bandbreite der Werte der CO₂-Intensität (CO₂-Emissionsfaktoren): bei den einzelnen Schiffstypen unterscheiden sich diese teilweise um den Faktor 5 und über alle Schiffstypen sogar um den Faktor 10. Dies kann als Indiz dafür gesehen werden, dass unterschiedliche Berechnungsmethoden genutzt werden und noch große Wissens- und Datenlücken zu bestehen scheinen.

⁸ <http://www.ecotransit.org/>

Abbildung 3: Werte der CO₂-Intensität (CO₂-Emissionsfaktoren) für die Binnenschifffahrt aus ausgewählten Studien unter Einbeziehung der Vorketten zur Kraftstoffherstellung (Schilperoord 2004; ADEME 2006; PLANCO 2007; den Boer, Otten et al. 2011)



Diese Bandbreite macht es auch unmöglich, aus den angegebenen Werten einen oder mehrere verlässliche Mittelwerte für die CO₂-Intensität der Binnenschifffahrt abzuleiten. Angaben zur absoluten Größe des Carbon Footprint der Binnenschifffahrt, die auf Ergebnissen dieser oder ähnlicher Studien aufbauen, dürften daher nur eine geringe Aussagekraft haben und als mehr oder weniger grobe Abschätzungen anzusehen sein.

Gibt es eine praktikable Methode, um den Carbon Footprint der Binnenschifffahrt - nicht nur für einzelne Transportaufgaben, wie bereits erfolgt (PLANCO), sondern in toto - mit einer akzeptablen Genauigkeit zu bestimmen? **Anlage 3** beschreibt ein mögliches Vorgehen. Dieses umfasst insbesondere die folgenden Schritte:

- Verifizieren der für jeden Schiffstyp angegebenen Emissionsfaktoren für das betreffende Fahrtgebiet;
- Bestimmen der Verkehrsleistung, die von jeder Schiffskategorie (alle Schiffe eines Typs) in dem betreffenden Fahrtgebiet erbracht wird;
- Bestimmen des Carbon Footprints für jede Schiffskategorie durch die Multiplikation der Verkehrsleistung der Schiffskategorie mit dem Emissionsfaktor des Schiffstyps und unter Berücksichtigung der Auslastung;
- Addition des Carbon Footprints von allen Schiffskategorien in einem Fahrtgebiet.

Wie anlässlich des Workshops der ZKR festgestellt wurde, müsste dieses Vorgehen alle Betroffenen einbeziehen und eine neutrale Validierung umfassen. Dabei könnte die ZKR eine fruchtbare Rolle übernehmen, da sie mit ihren Gremien Fachwissen zu allen Bereichen der Binnenschifffahrt einbringen kann, die notwendigen Arbeitsbeziehungen zu Gewerbeverbänden und Unternehmen besitzt und insbesondere über einen reichen Fundus an relevanten Verkehrs- und Flottenstatistiken verfügt. Im weiteren Sinne könnten darunter auch die Daten verstanden werden, die im Rahmen des „Übereinkommens über die Sammlung, Abgabe und Annahme von Abfällen in der Rhein- und Binnenschifffahrt“ (CDNI) anfallen. Es wäre zu prüfen, ob aus diesen Daten sowohl die vorgenannten Emissionsfaktoren wie auch der Gesamtkraftstoffverbrauch der europäischen Binnenschifffahrt abgeleitet werden könnten.

Die Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE) entwickelt derzeit in einem ambitionierten Projekt ein Informations- und Analysewerkzeug für die Modellierung der CO₂-Emissionen aller Landverkehrsträger, genannt ForFITS. Dieses Werkzeug soll es erlauben, nicht nur den Umfang der Emissionen zu ermitteln, sondern darüber hinaus auch Szenarien und Vorschläge für Strategien der Verkehrspolitik zu analysieren⁹. Im Oktober 2012 hat die UNECE eine umfangreiche Bestandsaufnahme dazu vorgelegt (UNECE 2012). Darin sind eine Vielzahl von möglichen Datenquellen und Modellen genannt, die für dieses Projekt relevant sein könnten. Jedoch konnte auch in diesem Projekt noch kein Verfahren und keine Studie zur Bestimmung des Carbon Footprint der europäischen Binnenschifffahrt, das vorstehend genannten Prämissen gerecht wird, identifiziert werden. 2013 soll das Projekt abgeschlossen sein. Dann wäre zu prüfen, ob sich mit Hilfe von ForFITS der Carbon Footprint der europäischen Binnenschifffahrt mit einer akzeptablen Genauigkeit bestimmen lässt oder zumindest ForFITS Elemente enthält, die dazu genutzt werden können.

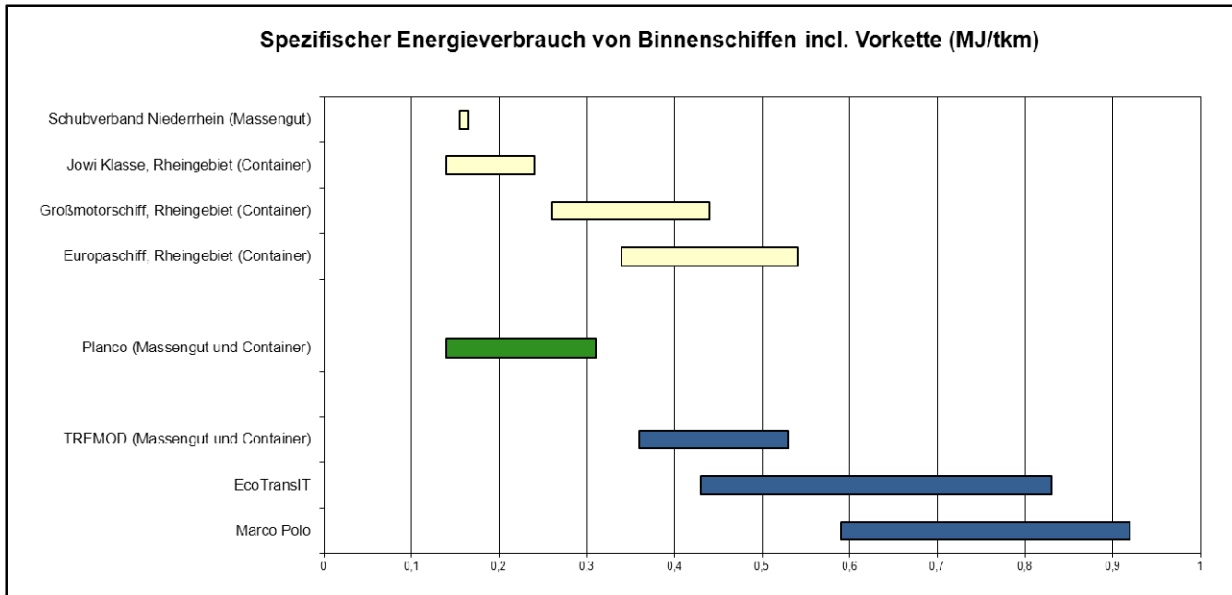
Die Bestimmung des Carbon Footprint und von CO₂-Emissionsfaktoren der Binnenschifffahrt ist kein Selbstzweck. Politische und unternehmerische Entscheidungen werden zunehmend auf den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen der verschiedenen Verkehrsträger abgestellt. Beispielhaft für politische Entscheidungen seien hier der sogenannte Marco Polo Calculator (Brons and Christidis 2011) und das Transport Emission Model TREMOD im Auftrag des deutschen Umweltbundesamtes genannt. Der Marco Polo Calculator dient dazu, im Rahmen von Projektvorschlägen die externen Kosten verschiedener Verkehrsmodi zu vergleichen; die Ergebnisse fließen in Subventionsentscheidungen der Europäischen Kommission ein. TREMOD wird beispielsweise bei der Erarbeitung von Gesetzesvorhaben im Umweltbereich sowie für internationale Berichtspflichten Deutschlands im Bereich Energieverbrauch und Emissionen des Verkehrs genutzt¹⁰. EcoTransIT hingegen ist für einen breiteren Nutzerkreis gedacht. „EcoTransIT wendet sich an Manager von Unternehmen, Logistikanbieter, fortschrittliche Transportplaner, politische Entscheidungsträger, normale Kunden, Nichtregierungsorganisationen, Aktionäre und sonstige Interessenten für die Berechnung der ökologischen Auswirkungen von Transporten auf bestimmten Routen und den Vergleich zwischen verschiedenen Transportlösungen EcoTransIT“¹¹ (IFEU 2011). Die vom Marco Polo Calculator, von TREMOD wie auch von EcoTransIT verwendeten Emissionsdaten liegen teilweise deutlich über denjenigen, welche in einschlägigen Studien ermittelt wurden. Noch größer sind die Unterschiede zu realen Daten der Binnenschifffahrt. **Abbildung 4** zeigt die Ursachen für diese Unterschiede: dem Marco Polo Calculator, TREMOD und EcoTransIT liegen Daten für den spezifischen Energieverbrauch der Binnenschifffahrt zugrunde, die weder mit denen aus der Praxis, noch mit denen aus einer Studie, die mit Daten aus der Praxis abgeglichen wurde, übereinstimmen. Offensichtlich besteht hier ein dringender Handlungsbedarf, soll eine systematische Benachteiligung der Binnenschifffahrt in Folge von unzureichenden Daten verhindert oder zumindest reduziert werden.

⁹ http://www.unece.org/trans/theme_forfits.html

¹⁰ http://www.ifeu.de/index.php?bereich=ver&seite=projekt_tremod

¹¹ <http://www.ecotransit.org/>

Abbildung 4: Exemplarischer Vergleich von Daten zum spezifischen Energieverbrauch von Binnenschiffen in Studien und aus Befragungen von Unternehmen (incl. Vorkette) (PLANCO 2007; IFEU 2011; Knörr, Heidt et al. 2011; Van Essen and den Boer 2012) (Unternehmensangaben)



5.2 Vergleich der spezifischen CO₂-Emissionen der verschiedenen Verkehrsträger

Die Bestimmung der spezifischen Emissionen eines Verkehrsträgers ist komplex und mit großen Unsicherheiten behaftet. Umso schwieriger ist es, die Emissionen verschiedener Verkehrsträger miteinander zu vergleichen. Zwischen den einschlägigen Studien scheint jedoch dahingehend Übereinstimmung zu bestehen, dass die spezifischen CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt in etwa so groß sind wie von Eisenbahnverkehren und deutlich geringer als die des Straßenverkehrs. Gleichermaßen kann festgehalten werden, dass in ungünstigen Fällen Transporte mit Binnenschiffen oder der Eisenbahn höhere spezifische Emissionen aufweisen können als bestimmte Transporte des Straßenverkehrs.

Abbildung 5: Spezifische CO₂-Emissionen verschiedener Verkehrsträger im Vergleich (incl. Vorkette) (ADEME 2006; PLANCO 2007; den Boer, Otten et al. 2011)

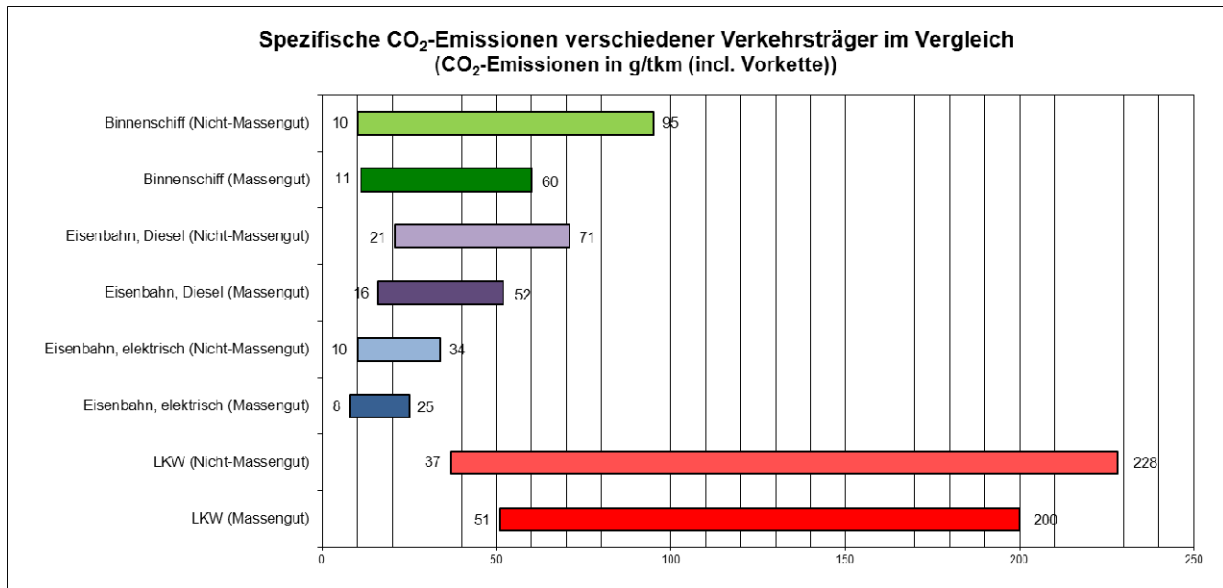


Abbildung 5 berücksichtigt nicht Eisenbahnverkehre mit elektrischer Traktion auf Schienennetzen, bei denen die elektrische Energie fast ausschließlich aus Nuklearenergie gewonnen wird, wie dies etwa in Frankreich der Fall ist. In diesem Fall sind die spezifischen CO₂-Emissionen nochmals deutlich geringer.

Aus vorstehenden Ausführungen wird deutlich, dass eine Verkehrsverlagerung auf die Wasserstraße grundsätzlich zu einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen beitragen kann, dass aber Einzelfallbetrachtungen notwendig sind, um kontraproduktive Verlagerungen zu vermeiden. Siehe dazu die Ausführungen im **Abschnitt 6** dieses Berichts.

5.3 Standardisierung der Methode zur Berechnung und Deklaration der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen

Demnächst wird die Europäische Norm EN 16258 : 2013 „Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen (Güter- und Personenverkehr)“ publiziert werden. Sie legt eine einheitliche Methode (allgemeine Regeln) zur Berechnung und zur Deklaration von Energieverbräuchen und Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen fest. Sie gilt für Transportdienstleistungen im Personen- und Güterverkehr, die zum Beispiel von ÖPNV- und Bahn-Unternehmen oder Speditionen im Auftrag ihrer Kunden erbracht werden. Die Norm umfasst Begriffe, Leitlinien, Berechnungsmethoden und -beispiele sowie Festlegungen zur Deklaration. Sie basiert auf einem pragmatischen und wissenschaftlich annehmbaren Ansatz, wodurch die Nutzung für einen breiten Anwenderkreis ermöglicht wird. Als Anwender dieser Norm kommen Personen und Organisationen in Betracht, die als Basis für die Quantifizierung der Treibhausgasemissionen einer Transportdienstleistung auf ein normiertes Verfahren zurückgreifen möchten, wie zum Beispiel:

- Transportunternehmen (Personen- oder Gütertransport),
- Transportdienstleister (Logistiker, Reiseveranstalter), oder
- Auftraggeber (Verlader, Passagier).

Grundsätzlich sollen bei der Berechnung die tatsächlichen Verbräuche der Kraftstoffe zugrunde gelegt werden. Sofern dies nicht möglich ist, können Vorgabewerte (Emissionsfaktoren Gramm CO₂ pro Tonnenkilometer) genutzt werden. Diese Vorgabewerte sind nicht Bestandteil der Norm, Quellen dazu werden jedoch im informativen Anhang I der Norm angegeben. Möglicherweise sind in dieser Anlage bisher keine Quellen angegeben, die realistische Vorgabewerte für die Binnen- und insbesondere die Rheinschifffahrt enthalten.

Für die Aufnahme in den Anhang I der Norm kommen nur solche Emissionsfaktoren in Betracht, die sich allein auf einen Beförderungsvorgang beziehen. Emissionsfaktoren, die zum Beispiel Umschlagvorgänge oder Vor- und Nachlauf berücksichtigen, sind dafür nicht geeignet.

Aus einer Vorabkopie der Norm ist zu entnehmen, dass in den Anhang I beispielhaft Quellen mit relativ hohen Vorgabewerten für die Binnen- und insbesondere die Rheinschifffahrt (ADEME 2006; Heidelberg, Öko-Institut et al. 2011) aufgenommen wurden. Die Aufnahme derartiger Werte dürfte – wie in **Abschnitt 5.1** – dargelegt, die Binnenschifffahrt erheblich benachteiligen.

Die Mitgliedstaaten und insbesondere die Verbände des Schifffahrtsgewerbes hatten die Möglichkeit zur Abgabe einer Stellungnahme um zu erreichen, dass die Binnenschifffahrt in der endgültigen Fassung der Norm angemessen berücksichtigt ist. Diese Gelegenheit scheint jedoch nicht genutzt worden zu sein.

6. Grundsätzliche Strategien der Reduzierung der Treibhausgasemissionen des Verkehrs

Grundsätzlich können die folgenden Strategien zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Verkehrswesen (UNEP 2011) genutzt werden:

1. Vermeidung von Verkehren,
2. Verlagerung von Verkehren auf klimafreundlichere Verkehrsträger,
3. Verminderung der spezifischen Emissionen.

Der vorliegende Bericht bezieht sich allein auf Strategieoption 3. Diese Option wird in den nachfolgenden Abschnitten des Berichts vertieft betrachtet. Option 1 kann zu einer Begrenzung der Nachfrage nach Binnenschiffsverkehren führen. Option 2 ist nur dann für die Binnenschifffahrt gewinnbringend, wenn sie weiterhin deutliche Erfolge bei der Reduzierung ihrer Treibhausgasemissionen erzielen wird.

Eine Vermeidung von Verkehren lässt sich durch die Bündelung von Transporten und durch raumplanerische Maßnahmen, die die Produktion der Güter räumlich in die Nähe von deren Bezieher verlagern, erreichen. Bündelungen von Transportgütern sind tendenziell positiv für Schifffahrt, da ihre Vorteile grundsätzlich beim Transport großer Mengen liegen. Allerdings dürften Bündelungen von Transporten eher kleinräumig, etwa bei Anlieferungen in urbanen Gebieten, lohnend sein.

Bei diesen Transporten spielt die Binnenschifffahrt nur eine sehr untergeordnete Rolle. Raumplanerische Maßnahmen, die die Produktion näher an die Verbraucher bringt, dürften hingegen einen größeren Einfluss auf die Binnenschifffahrt ausüben. Steigende Energiepreise und die Notwendigkeit, die Treibhausgasemissionen der Seeschifffahrt deutlich einschränken zu müssen, werden die interkontinentalen Transporte deutlich verteuern. Dies dürfte zu einer Abnahme der Attraktivität der internationalen Arbeitsteilung führen und damit nicht folgenlos für die in den Seehäfen umgeschlagenen Gütervolumina bleiben. Negative Auswirkungen auf das Ladungsaufkommen in der Rheinschifffahrt, deren Ziel- und Quellverkehre überwiegend in Seehäfen generiert werden, wären zu erwarten.

Eine Verlagerung von Verkehren mit dem Ziel des Klimaschutzes dürfte sich hingegen tendenziell positiv für die Binnenschifffahrt auswirken, da sie den Transport von Gütern grundsätzlich energetisch günstiger realisieren kann als andere Verkehrsträger. Dessen ungeachtet sollte jedoch jeder Einzelfall gesondert betrachtet werden, da sehr viele unterschiedliche Faktoren, wie im **Abschnitt 8** dargestellt, den Energieverbrauch bestimmen. Auch der Ansatz eines Mittelwertes für die CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt ist nicht zielführend, wie die große Spreizung der spezifischen CO₂-Emissionen von Binnenschiffen in **Abbildung 3** zeigt. In Deutschland wurden für ausgesuchte Transportrouten Vergleiche zwischen verschiedenen Verkehrsträgern durchgeführt. Sie zeigen, dass es selbstverständlich Verkehre gibt, bei denen die Binnenschifffahrt wegen vorgenannter Faktoren ihre grundsätzlichen Vorteile nicht ausspielen kann (Spielman, Faltenbacher et al. 2010), aber auch, dass selbst außerhalb des Rheineinzugsgebiets die Binnenschifffahrt häufig die bessere Wahl ist – insbesondere im Vergleich mit der Straße (PLANCO 2007).

Voraussetzung für durch den Klimaschutz bedingte Verkehrsverlagerungen ist, dass die Binnenschifffahrt ihren momentanen Vorteil bei den spezifischen Emissionen behalten oder sogar ausbauen kann. Dies wird ihr nur gelingen, wenn sie ihre Treibhausgasemissionen weiter reduziert, da die konkurrierenden Verkehrsträger Fortschritte bei der Reduzierung ihrer Emissionen verzeichnen. (Siehe **Abschnitt 3** dieses Berichts.) Insgesamt gesehen dürfte jedoch die aus ökologischen Überlegungen resultierende Motivation für eine Verkehrsverlagerung zurückgehen, da alle Verkehrsträger „sauberer“ und „sicherer“ werden (Essen, Rijkee et al. 2009). Die Binnenschifffahrt müsste sich also noch weit mehr als bisher als der nachhaltige Verkehrsträger profilieren können, wenn sie tatsächlich von einer ökologisch begründeten Verkehrsverlagerung profitieren möchte.

Mögliche Maßnahmen zur Verminderung der spezifischen Emissionen der Binnenschifffahrt – Strategieoption 3 – werden in den **Abschnitten 9 bis 11** dieses Berichts beschrieben. Eine zusammenfassende Übersicht über diese und weitere mögliche Eingriffsbereiche zur Verminderung der Treibhausgasemissionen der Rhein- und Binnenschifffahrt hat die ZKR bereits mit ihrem Beschluss 2008-I-12 vorgelegt. Eine aktualisierte Fassung dieser Übersicht ist in **Anlage 4** wiedergegeben. Die darin genannten Eingriffsbereiche machen deutlich, dass nicht nur die schiffstechnischen Maßnahmen, nämlich Design und Ausrüstung, sowie der Betrieb der Schiffe und die verwendeten Kraftstoffe die Treibhausgasemissionen der Binnenschiffe bestimmen. Auch beispielsweise die Gestaltung der Wasserstraße und der Häfen beeinflussen den Umfang der Emissionen. Sie könnten Gegenstand von Folgearbeiten werden.

7. Potential zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen in der Seeschifffahrt

Für die Seeschifffahrt wird seit einigen Jahren das Potential zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen intensiv untersucht (Buhaug, Corbett et al. 2009), sehr viel umfangreicher als dies bisher für die Binnenschifffahrt der Fall ist. Die IMO hat festgestellt, dass vielfältige Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Emissionsreduzierung durch Änderung des Schiffdesigns und des Schiffsbetriebs bestehen. Eine zusammenfassende Einschätzung des Potentials dieser Möglichkeiten zur Reduzierung von CO₂-Emissionen ist in **Tabelle 2** wiedergegeben.

Tabelle 2: Einschätzung des Potentials zur Reduzierung von CO₂-Emissionen der Seeschifffahrt durch Nutzung von bekannten Technologien und Praktiken (IMO 2009)

| Maßnahmen | | Einsparungen CO ₂ / tkm | Kombiniert | Kombiniert |
|------------------------|---|------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Design (neue Schiffe) | Entwurf, Geschwindigkeit & Leistungs- (Trag)fähigkeit | 2 % bis 50 % ⁺ | 10 % bis 50 % ⁺ | 25 % bis 75 % ⁺ |
| | Rumpf & Aufbauten | 2 % bis 20 % | | |
| | Leistung & Antriebssysteme | 5 bis 15 % | | |
| | Kohlenstoffarme Treibstoffe | 5 bis 15 %* | | |
| | Erneuerbare Energien | 1 % bis 10 % | | |
| | CO ₂ -Reduzierung der Abgase | 0 % | | |
| Betrieb (alle Schiffe) | Flottenmanagement, Logistik & Anreize | 5 % bis 50 % ⁺ | 10 % bis 50 % ⁺ | |
| | Reiseoptimierung | 1 % bis 10 % | | |
| | Energiemanagement | 1 % bis 10 % | | |

⁺ Einsparungen dieser Größe würden eine Reduzierung der Betriebsgeschwindigkeit erfordern

* CO₂-Equivalent, basiert auf LNG

Das Joint Research Center (JRC) der Europäischen Kommission hat diese Maßnahmen unter dem Gesichtspunkt einer Regulierung der Schadstoff- und Treibhausgasemissionen weiter vertieft (Miola, Ciuffo et al. 2010). See- und Binnenschifffahrt erfolgen teilweise unter sehr unterschiedlichen Bedingungen, wie nachfolgend dargelegt wird. Daher können die für die Seeschifffahrt identifizierten Maßnahmen allenfalls nach einer genaueren Prüfung auf die Binnenschifffahrt übertragen werden. Ein Vergleich mit dem für die Binnenschifffahrt geschätzten Einsparungspotential, dargestellt in **Tabelle 3**, zeigt, dass aggregiert die Einsparungspotentiale von See- und Binnenschifffahrt weitgehend gleich zu sein scheinen.

8. Randbedingungen im Hinblick auf die Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen in der Binnenschifffahrt

Die Binnenschifffahrt ist besonderen Randbedingungen unterworfen im Hinblick auf die Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen, die für andere Verkehrsträger einschließlich der Seeschifffahrt nicht oder nur in einem sehr viel geringeren Ausmaß zutreffen. Diese Randbedingungen gilt es zu kennen und zu beachten, sollen Kraftstoffverbrauch und CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt bestimmt oder reduziert werden.

Binnenschiffe verkehren in relativ flachen Gewässern und sind damit den Gesetzmäßigkeiten der Flachwasserhydrodynamik ausgesetzt. Dies bestimmt ganz wesentlich den Leistungsbedarf der Binnenschiffe und damit deren Kraftstoffverbrauch sowie deren CO₂-Emissionen. Anhand von Beispielen seien die nachstehenden Gesetzmäßigkeiten erläutert:

- Der Leistungsbedarf eines Schiffes wird wesentlich vom Abstand zwischen dem Kiel und der Sohle der Wasserstraße bestimmt. Je größer dieser als Kielfreiheit oder Flottwasser bezeichnete Abstand ist, desto geringer ist der Leistungsbedarf. Beispielsweise sinkt bei einem Großmotorschiff, wie es für den Rhein typisch ist, bei einer Erhöhung der Wassertiefe von 4 m auf 4,5 m der Leistungsbedarf um rund ein Drittel (Geschwindigkeit des Schiffes 16 km/h, Abladung 2,5 m) (PLANCO 2007).
- Der Leistungsbedarf eines Binnenschiffes wird ganz wesentlich von seiner Geschwindigkeit bestimmt. Vorgenanntes Großmotorschiff, welches 2,5 m abgeladen ist, benötigt bei einer Wassertiefe von 5 m eine Leistung von 500 kW, um eine Geschwindigkeit von 17 km/h zu erzielen. Wird die Geschwindigkeit nur um etwa 15 % auf 14,5 km/h gesenkt, benötigt es nur noch die Hälfte der Leistung (Renner and Bialonski 2004). Das heißt, eine minimale Geschwindigkeitsreduzierung führt zu einer sehr großen Reduzierung des Leistungsbedarfs und damit des Kraftstoffverbrauchs.¹²
- Bleibt hingegen die eingesetzte Leistung bei einem Binnenschiff konstant, erzielt das Schiff bei einem größeren Flottwasser eine deutliche Geschwindigkeitserhöhung. Ein Großmotorschiff, welches 2,5 m abgeladen ist, erreicht mit einer Leistung von 200 kW bei einer Wassertiefe von etwa 3 m eine Geschwindigkeit von etwa 6 km/h. Ist die Wassertiefe hingegen 5 m, steigt die Geschwindigkeit auf etwa 13 km/h. Die beiden vorgenannten Effekte fallen umso stärker aus, je geringer das Flottwasser ist (PLANCO 2007).

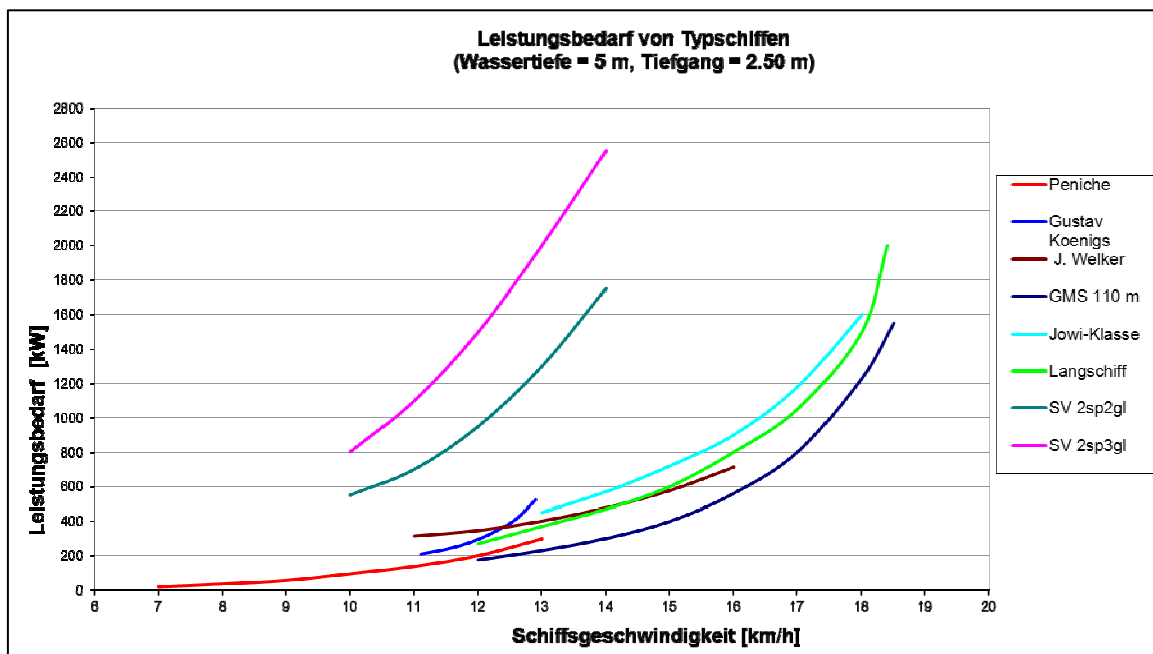
Die erstgenannte Gesetzmäßigkeit macht den entscheidenden Einfluss der Wassertiefe auf den Kraftstoffverbrauch sowie die CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt deutlich. Große Wassertiefen und gut instandgehaltene Wasserstraßen ohne Fehltiefen fördern die Energieeffizienz und die Klimafreundlichkeit der Binnenschifffahrt. Die zweitgenannte Gesetzmäßigkeit zeigt den weit überproportionalen Einfluss der Geschwindigkeit auf den Kraftstoffverbrauch, weshalb grundsätzlich zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs eine möglichst geringe Geschwindigkeit gewählt werden sollte. Die drittgenannte Gesetzmäßigkeit definiert die Prämissen für eine energieoptimierte Wahl der Geschwindigkeit der Binnenschiffe in Abhängigkeit von der Wassertiefe: Bei geringem Flottwasser langsam fahren, bei großem Flottwasser so schnell fahren, dass eine eventuell vorgegebene Ankunftszeit noch eingehalten wird. Allerdings gibt es hier praktische Grenzen. Während bei freifließenden Flüssen mit unterschiedlichen Querschnitten und Wassertiefen tatsächlich beträchtliche Möglichkeiten für eine energieoptimierte Fahrweise bestehen, ist dies auf Kanälen mit ihren konstanten Querschnitten und Wassertiefen sowie den dort anzutreffenden Geschwindigkeitsbegrenzungen nur eingeschränkt der Fall.

¹² Der überproportionale Einfluss der Geschwindigkeit auf den Leistungsbedarf ist umso ausgeprägter, je mehr sich das Schiff seiner maximal möglichen Geschwindigkeit annähert. Die maximal mögliche Geschwindigkeit eines gegebenen Schiffes ist insbesondere von dem jeweiligen Flottwasser abhängig. Je geringer das Flottwasser, desto geringer die maximal mögliche Geschwindigkeit in km pro h. Da die Binnenschiffe im allgemeinen aus wirtschaftlichen Gründen versuchen, die vorhandenen Wassertiefen so weit wie möglich auszunutzen, kann davon ausgegangen werden, dass Binnenschiffe häufig mit begrenztem Flottwasser operieren und daher der beschriebene Effekt praktisch von großer Bedeutung ist.

Je größer die Tragfähigkeit eines Binnenschiffes ist, desto geringer ist grundsätzlich sein Leistungsbedarf pro tkm. Diese Gesetzmäßigkeit kann bei allen Verkehrsträgern beobachtet werden. Allein bei der Binnenschifffahrt festzustellen ist jedoch folgender Sachverhalt: Bei einem sehr großen Flottwasser kann der Leistungsbedarf eines größeren Schiffes bei einer größeren transportierten Ladungsmenge sogar absolut geringer sein als der eines kleineren Schiffes. Beispielsweise benötigt ein Großmotorschiff bei einer Wassertiefe von 5 m und einer Geschwindigkeit von 13 km/h zum Transport von 1900 t Ladung nur eine Leistung von 230 kW, während das kleinere Schiff vom Typ Johann Welker für den Transport von nur 1250 t eine Leistung von 420 kW benötigt (Zöllner 2009).

Abbildung 6 zeigt anschaulich die Abhängigkeit des Leistungsbedarfs – und damit der CO₂-Emissionen – von typischen Binnenschiffen in Abhängigkeit von der Schiffsgeschwindigkeit.

Abbildung 6: Leistungsbedarf von Typschiffen in Abhängigkeit von der Schiffsgeschwindigkeit (Zöllner 2009)



Vorstehend genannte Besonderheiten der Binnenschifffahrt sind bei einer Berechnung ihrer Emissionen, seien es Treibhausgase oder Luftschadstoffe, zu berücksichtigen. Geschieht dies nicht, kann die in der Binnenschifffahrt besonders ausgeprägte Abhängigkeit der Emissionen von der Größe der Transporteinheit nicht angemessen berücksichtigt werden. Fehlerhafte Aussagen für die Emissionen der Binnenschifffahrt wären das Resultat.

Für die Binnenschifffahrt ist es aus vorgenannten Gründen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen von Bedeutung, mehr noch als für andere Verkehrsträger, bei ausreichender Transportnachfrage möglichst große Transporteinheiten einzusetzen. Jedoch variieren die höchstzulässigen Schiffsabmessungen zumindest auf den europäischen Wasserstraßen sehr stark. Während beispielsweise auf den französischen Kanälen vielfach nur Schiffe mit einer Tragfähigkeit von unter 400 t eingesetzt werden können, fahren auf dem Niederrhein Schubverbände mit einer maximalen Zuladung von über 15.000 t. Auf der Donau oder den Wasserstraßen der USA kommen sogar noch größere Verbände zum Einsatz.

Sofern es sich nicht um Kanäle oder staugeregelte Flüsse handelt, variiert der Wasserstand der Wasserstraßen häufig beträchtlich. Bei niedrigen Wasserständen können große und im Allgemeinen tiefgehende Binnenschiffe ihre grundsätzlichen Effizienzvorteile nicht mehr oder nur noch in einem geringen Maße ausnutzen. In Fällen begrenzter Wassertiefe sind bestimmte Schiffstypen von Vorteil, wie etwa der sogenannte Elbeschubverband. Diese Schiffstypen sind jedoch bei größeren Wassertiefen energetisch deutlich ineffizienter (Renner and Bialonski 2004).

Das hat weitgehende Konsequenzen für Binnenschiffe, die auf Wasserstraßen mit variierenden Wasserständen oder auf einer Reise auf Wasserstraßen mit unterschiedlichen Wassertiefen verkehren. Sollen diese Schiffe möglichst wenig Kraftstoff verbrauchen und CO₂-Emissionen verursachen, können Typ, Form und Abmessungen nur als ein bestmöglicher Kompromiss festgelegt werden.

Aber nicht nur Länge, Breite und Tiefgang der Binnenschiffe sind durch das Wasserstraßenprofil begrenzt, sondern auch deren Höhe und insbesondere die ihrer Ladung. Dies bestimmt wesentlich den spezifischen Kraftstoffverbrauch und die spezifischen Emissionen von Binnenschiffen, die Container transportieren. So sind auf dem Rhein die spezifischen Emissionen von Containertransporten nach Basel, bei denen Container nur in drei Lagen gestaut werden können, deutlich höher als von Containertransporten unterhalb von Strasbourg, wo Binnenschiffe wegen der größeren Brückendurchfahrtshöhen Container in fünf Lagen laden können. Im Vergleich zum freifließenden Rhein gar doppelt so hoch sind die spezifischen Emissionen von Containertransporten beispielsweise von Hamburg nach Berlin, wo die Container nur zweilagig transportiert werden können (PLANCO 2007). Andere Faktoren als die Brückendurchfahrtshöhen spielen dagegen beim Containertransport eine untergeordnete Rolle. Dies zeigen die spezifischen Emissionen von Massenguttransporten auf den gleichen Fahrtgebieten. Bei letzteren sind nämlich die Unterschiede der spezifischen CO₂-Emissionen sehr viel geringer (PLANCO 2007). Mit anderen Worten, die Brückendurchfahrtshöhen beschränken in einem hohen Maße die Möglichkeiten zur Reduzierung der spezifischen CO₂-Emissionen von Containerschiffen, da sie deren maximale Auslastung vorgeben.

Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass Wasserstraßenparameter einen entscheidenden Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch und die Emissionen der Binnenschiffe ausüben. Möglichst große Schifffahrtsquerschnitte sind Voraussetzung für einen niedrigen Energieverbrauch. Bei geringen Wasserstraßenquerschnitten bestehen hingegen nur sehr begrenzte Möglichkeiten, den Energieverbrauch zu senken. Selbstverständlich sind diese Zusammenhänge den Wasserstraßenverwaltungen und dem Schiffahrtsgewerbe bekannt. Sie reagieren darauf mit unterschiedlichen Maßnahmen:

- Die Wasserstraßenverwaltungen
 - vergrößern die Abmessungen von Schleusen oder beseitigen andere Zwangspunkte, so dass die betreffenden Wasserstraßen zumindest von den energetisch besonders günstigen Großmotorschiffen befahren werden können,
 - lassen bei gleichbleibenden Wasserstraßenparametern größere Schiffsabmessungen zu, sofern notwendig, unter technischen oder betrieblichen Sicherheitsauflagen,
 - heben Brücken an, um die Anzahl der Lagen der auf Schiffen transportierten Container zu erhöhen.
- Das Schiffahrtsgewerbe richtet die Abmessungen der Schiffe zunehmend auf bestimmte Fahrtgebiete oder Transporte aus, was besonders wirtschaftliche und energieeffiziente Schiffstypen zulässt. Beispielhaft seien hier die Schiffe mit einer Länge von über 110 m genannt. Diese können zwar nicht alle Wasserstraßen Europas befahren, jedoch den größten Schiffahrtmarkt, nämlich das Rheinstromgebiet, bedienen. Es sind Schiffe mit diesen Abmessungen, die die Neubauten der letzten Jahre dominieren.

Vorstehende Ausführungen machen deutlich, dass die Bedeutung der „Universalschiffe“, die aufgrund ihrer begrenzten Schiffsabmessungen auf fast allen Binnenwasserstraßen Europas verkehren können, abnimmt. Das wird auch aus der kontinuierlichen Zunahme der durchschnittlichen Tragfähigkeit der Binnenschiffe, wie sie in der **Anlage 7** dargestellt ist, deutlich.

Allerdings können gerade größere Schiffe in einen ökologischen Zielkonflikt geraten. Durch ihren Einsatz kann der Druck auf die aquatische Umwelt zunehmen; werden Wasserstraßen ausgebaut, damit sie diese größeren Schiffe aufnehmen können, werden häufig sogar umfangreiche Eingriffe in die Natur notwendig. Dementsprechend ist die Schaffung der Voraussetzungen für die Fahrt von größeren Schiffen stets mit einem Abwägungsprozess auch ökologischer Aspekte verbunden. Mittlerweile sind jedoch Verfahren entwickelt und teilweise implementiert, um den Druck auf die aquatische Umwelt soweit zu beschränken, dass die Binnenschifffahrt auch mit großen Einheiten nicht im Widerspruch zu den Zielen eines nachhaltigen Verkehrssystems steht (Pauli 2010).

Mit herkömmlichen Kraftstoffen lassen sich – wie dargestellt – auf Wasserstraßen mit sehr eingeschränkten Parametern, wie etwa beim traditionellen französischen Kanalsystem, keine klimafreundlichen Transporte realisieren. Zur Reduzierung der CO₂-Emissionen auf kleinen Wasserstraßen bieten sich insbesondere die Verwendung von Kraftstoffen mit geringen Treibhausgasmissionen, wie hochentwickelte Biokraftstoffe, und die Nutzung von erneuerbaren Energien notwendig. Als Beispiel kann das sogenannte „Bierboot“ (de Jong 2010) dienen. Dieses verdeutlicht, dass für die kleinen Binnenschiffe umwelt- und klimafreundliche Techniken eingesetzt werden können, die für andere Anwendungen, entwickelt wurden. Insbesondere Hybridantriebe, wie sie etwa für große Straßenfahrzeuge, welche einen ähnlichen Leistungsbedarf haben, hergestellt werden, scheinen dafür prädestiniert.

Die ZKR hat sich den wirtschaftlichen und ökologischen Vorteilen größerer Schiffe nicht verschlossen und so beispielsweise die Fahrt von Schiffen mit einer Länge von über 110 m auf dem ganzen Rhein zugelassen. Aktuell bestimmt die Rheinschifffahrtspolizeiverordnung, dass ein einzeln fahrendes Fahrzeug auf dem Rhein grundsätzlich nicht länger als 135 m sein darf bei einer maximalen Breite von 22,8 m. Würde bei einer reduzierten Breite von 15 m ein Schiff von 150 m Länge zugelassen, könnte dies eine deutliche Reduzierung der spezifischen Emissionen ermöglichen, wie das Beispiel des sogenannten Langschiffs zeigt (Zöllner 2009). Diese Beobachtung könnte Anlass für die Wasserstraßenverwaltungen sein, nicht nur insgesamt größerer Abmessungen, sondern auch eine größere Variabilität bei den höchstzulässigen Schiffsabmessungen zu prüfen.

Das Netz der Binnenschifffahrtswege ist viel weitmaschiger als das Netz der Eisenbahnen oder gar des Straßenverkehrs. Das führt dazu, dass Transporte mit dem Binnenschiff in der Regel längere Wege zurücklegen müssen, als wenn die gleichen Transporte auf der Straße oder dem Schienenweg durchgeführt würden (PLANCO 2007). Dies gilt auch für solche Transportrelationen, bei denen die Binnenschifffahrt traditionell einen großen Marktanteil hat. Erztransporte von Rotterdam nach Dillingen mögen hier als Beispiel dienen, bei denen Binnenschiffe einen um 30 % längeren Weg zurückzulegen haben (PLANCO 2007). Das heißt, auch wenn der Binnenschifffahrt grundsätzlich geringere spezifische Emissionen unterstellt werden können, kann – abhängig von den Differenzen in den spezifischen Emissionen zwischen den Verkehrsträgern und der Länge der Umwege – die Binnenschifffahrt bei bestimmten Transporten einen größeren Carbon Footprint erzeugen als andere Verkehrsträger. Dies scheint jedoch bei typischer Weise von Binnenschiffen in Europa bedienten Transportrelationen kaum der Fall zu sein (Schilperoord 2004; PLANCO 2007).

Wenn Anfangs- und/oder Endpunkte von Transportketten, die die Binnenschifffahrt einschließen, nicht direkt an einer Wasserstraße liegen, werden noch Vor- und/oder Nachlauf erforderlich mit jeweils einem zusätzlichen Umschlag des Transportguts. Werden die vorgenannten Effekte – Umweg, Vor- und Nachlauf, zusätzlicher Umschlag – berücksichtigt, beeinflusst das die spezifischen Emissionen teilweise erheblich. Diese Effekte sind zwar nicht von entscheidender Bedeutung bei der Untersuchung von Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen in der Binnenschifffahrt und damit auch nicht für den vorliegenden Bericht. Sie sind jedoch von Bedeutung bei der Diskussion einer möglichen Verkehrsverlagerung auf das Binnenschiff (den Boer, Otten et al. 2011). Das bedeutet aber nicht, dass unter Berücksichtigung dieser Effekte der Kraftstoffverbrauch und die CO₂-Emissionen von Binnenschifffahrtstransporten grundsätzlich ungünstiger sind als bei Transporten auf der Straße oder mit der Bahn. Und selbst wenn der Carbon Footprint der Binnenschifffahrt bei einer bestimmten Transportrelation größer ist als der eines anderen Verkehrsträgers, kann daraus nicht die Forderung abgeleitet werden, dass diese Relation nicht vom Binnenschiff bedient werden sollte. Häufig sind Transporte mit dem Binnenschiff auch bei ungünstigen Treibhausgasemissionen noch volkswirtschaftlich vorteilhafter als die mit anderen Verkehrsträgern, insbesondere wenn der niedrigen Lärmemissionen und Unfallfolgekosten der Binnenschifffahrt (PLANCO 2007). Daher scheint bei anzustrebenden Verkehrsverlagerungen auf das Binnenschiff grundsätzlich eine Einzelfallbetrachtung der zu erwartenden Emissionen notwendig (den Boer, Otten et al. 2011).

9. Schiffstechnische Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen

Den Schiffseignern bietet sich für Neubauten eine Vielzahl möglicher schiffstechnischer Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen. Sie können daraus die für ihre Schiffe und deren Einsatzfälle die wirtschaftlich und technisch Günstigsten auswählen. Bei Umbauten vorhandener Schiffe ist das Einsparungspotential deutlich kleiner. Die größten Einsparungspotentiale ergeben sich aus der Vergrößerung der Abmessungen und Tragfähigkeit der Schiffe. Wegen ihrer überragenden Bedeutung für die künftige Entwicklung der Emissionen bedarf dieser Zusammenhang einer vertieften Betrachtung. Jede Quantifizierung möglicher Einsparungspotentiale hängt jedoch von einer Vielzahl von Randbedingungen ab, die sich je nach Schiffstyp und Einsatzbedingungen deutlich ändern können.

Untersuchungen von Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen in der Binnenschifffahrt, die derjenigen der Seeschifffahrt (Buhaug, Corbett et al. 2009) in Umfang und Tiefe vergleichbar sind, gibt es nicht. Im Rahmen des umfangreichen Forschungsprojekts EU Transport GHG: Routes to 2050? der Europäischen Kommission zu allen Verkehrsträgern wurden die in **Anlage 5** wiedergegebenen Minderungsmaßnahmen zusammengestellt. Maßnahmen zur Reduzierung der CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt waren auch das Thema des Workshops der ZKR am 12. April 2011 in Straßburg. Die von den Teilnehmern identifizierten möglichen Maßnahmen sind auf der Webseite der ZKR (www.ccr-zkr.org) wiedergegeben. Diese Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen wurden auch anlässlich des Workshops einer Bewertung (Croo 2011; Schweighofer 2011) unterzogen, deren Ergebnisse wie folgt zusammengefasst werden können:

- Im Allgemeinen sind die Reduktionspotenziale weitgehend abhängig von der Größe und dem Zustand des Schiffes, seiner Ausrüstung sowie dessen Einsatzgebiet und Betriebsart.
- Viele Schiffe sind bereits mit einigen Reduktionstechnologien ausgestattet und sie wurden mit klassischen Optimierungsverfahren entworfen, was bei diesen Schiffen nur sehr wenig Potenzial zur Reduktion von CO₂-Emissionen lässt.

- Für die Nutzung allein von hydrodynamischen Maßnahmen kann das Reduktionspotenzial bei der bestehenden Flotte grob mit 10 % abgeschätzt werden.
- Maßnahmen zur Reduzierung der CO₂-Emissionen können kostenintensiv sein und wertvoller Frachtraum sowie Tragfähigkeit können verloren gehen. Für jeden Einzelfall müssen saubere Abschätzungen der Emissionsreduktion und der wirtschaftlichen Sinnhaftigkeit durchgeführt werden.
- Wenn ausreichende Wasserstände gegeben sind, können Flachwasser-Effekte (Widerstand) reduziert werden und größere Mengen an Fracht und größere Schiffe sind möglich, was zu einer signifikanten Reduktion der CO₂-Emissionen / tkm führt.
- Das CO₂-Reduktionspotenzial der Motoren ist sehr begrenzt.
- Diesel-elektrische Antriebe bieten ein wichtiges CO₂-Reduktionspotenzial.
- Eine Kombination von verschiedenen Maßnahmen ist möglich und erforderlich.
- Die von der Europäischen Kommission postulierten Treibhausgas-Reduktionsziele können nicht allein durch antriebstechnische Maßnahmen erreicht werden.
- Bei diesel-elektrische Antriebe können Sicherheitsprobleme entstehen; daher müssen die technischen Anforderungen der ZKR und der EU für Binnenschiffe modernisiert werden.

Anlage 6 enthält eine zusammenfassende Darstellung und Bewertung vorgenannter und weiterer schiffstechnischer Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen.

Sowohl das Forschungsprojekt Transport GHG: Routes to 2050? (Hazeldine, Pridmore et al. 2009) wie auch die Diskussionen im Rahmen des Workshops der ZKR haben die Vergrößerung der durchschnittlichen Tragfähigkeit (Größe) als die wahrscheinlich bedeutendste Maßnahme zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt identifiziert. **Anlage 7** enthält eine vereinfachende Betrachtung der Entwicklung der durchschnittlichen Schiffsgröße und ihre möglichen Auswirkungen hinsichtlich der CO₂-Emissionen. Sollte die prognostizierte Zunahme der Schiffsgröße um ca. 1,5 % pro Jahr (Ickert, Ulrike et al. 2007) sich tatsächlich einstellen, könnte daraus – grob abgeschätzt – ein Rückgang der spezifischen CO₂-Emissionen in etwa der gleichen Größe resultieren. Bezogen auf ein Jahr könnte dieser Rückgang vernachlässigbar erscheinen; bei einer Zunahme der Schiffsgröße über mehrere Jahrzehnte – wie sie rückblickend für die Rheinschifffahrt belegt werden kann – ist jedoch ein Rückgang im zweistelligen Prozentbereich zu erwarten. Damit würde die kontinuierliche Zunahme der Schiffsgröße von entscheidender Bedeutung für die Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt, zumindest auf dem Rhein und anderen Wasserstraßen, wo die durchschnittliche Schiffsgröße noch deutlich unterhalb der maximal zulässigen Schiffsgröße liegt. Deshalb scheint es angebracht, die in der **Anlage 7** dargestellte Betrachtung und ihre Ergebnisse zu verifizieren.

10. Betriebliche Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen

Bei den betrieblichen Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen ergeben sich grundsätzliche Ähnlichkeiten zu den technischen Maßnahmen. Den Schiffseignern bietet sich eine Vielzahl möglicher Maßnahmen und sie können daraus die für ihre Schiffe und deren Einsatzfälle die wirtschaftlich Günstigsten auswählen. Anders als bei den schiffstechnischen Maßnahmen gibt es bei den betrieblichen Maßnahmen keine wesentlichen Unterschiede zwischen Neubauten und vorhandenen Schiffen.

Das größte Einsparungspotential ergibt sich aus der Optimierung der Geschwindigkeit der Schiffe; die Optimierung besteht darin, unter Berücksichtigung der vorgegebenen Ankunftszeit und den auf den einzelnen Streckenabschnitten der Fahrtroute anzutreffenden Fahrwasserverhältnissen eine möglichst niedrige Geschwindigkeit zu wählen. Jede Quantifizierung möglicher Einsparungspotentiale hängt jedoch von einer Vielzahl von Randbedingungen ab, die sich je nach Schiffstyp und insbesondere den Einsatzbedingungen deutlich ändern können. Während im allgemeinen Schiffseigner und Schiffsführer durch ihr Handeln den Kraftstoffverbrauch und damit die Emissionen der Schiffe bestimmen, gibt es unter den betrieblichen Maßnahmen einige, für die die Wasserstraßenverwaltungen die notwendigen Voraussetzungen schaffen müssen.

Die umfangreiche Untersuchung von Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen der IMO für die Seeschifffahrt schließt auch solche des Schiffsbetriebs ein. Diese können grundsätzlich auch auf die Binnenschifffahrt übertragen werden. Vergleichbare Untersuchungen für die Binnenschifffahrt hingegen gibt es nicht. Im Rahmen des umfangreichen Forschungsprojekts *EU Transport GHG: Routes to 2050?* wurden nur wenige Minderungsmaßnahmen für die Binnenschifffahrt vorgestellt. Betriebliche Maßnahmen zur Reduzierung der CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt waren auch ein Thema des Workshops der ZKR am 12. April 2011 in Straßburg. Die von den Teilnehmern identifizierten möglichen Maßnahmen sind auf der Webseite der ZKR (www.ccr-zkr.org) wiedergegeben und wurden anlässlich des Workshops einer Bewertung (ten Broeke 2011) unterzogen, deren Ergebnisse wie folgt zusammengefasst werden können:

- Operative Maßnahmen bieten ein großes Potenzial zur Reduzierung der CO₂-Emissionen.
- Von besonderer Bedeutung ist die Berücksichtigung von Flachwasser-Effekten.
- Das Bewusstsein für die Minderungspotenziale ist gering, nimmt aber zu.
- Die Verwendung von Simulatoren wird zur Entwicklung des Bewusstseins beitragen.
- Die Reduzierung der CO₂-Emissionen ist bereits Teil der Ausbildung.

Anlage 8 enthält eine zusammenfassende Darstellung und Bewertung betrieblicher Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen. Danach kann davon ausgegangen werden, dass umfangreiche Reduktionspotentiale vorhanden sind, die sich vor allem auf die Optimierung der Schiffsgeschwindigkeit beziehen. Darauf zielt auch das niederländische Programm „*Smart Steaming*“ ab, das in **Anlage 9** näher beschrieben ist. Die nachweislichen Erfolge dieses Programms legen nahe, es über die Grenzen der Niederlande hinaus auszudehnen.

Dazu werden zunehmend, vor allem rechnerbasierte Hilfsmittel entwickelt, die dem Schiffsführer bei der Entscheidung über die für jeden Reiseabschnitt optimale Geschwindigkeit unterstützen. Der sogenannte Tempomaat¹³ ist ein solches Hilfsmittel. Wegen der überaus positiven Nutzen-Kosten-Verhältnisse, die die Investition in solche Hilfsmittel auf betrieblicher wie auch volkswirtschaftlicher Ebene erwarten ließe, scheint es sinnvoll, eine rechtliche Verpflichtung für die Ausstattung der Binnenschiffe mit derartigen Hilfsmitteln zu prüfen.

¹³ http://ec.europa.eu/eu_law/state_aids/comp-2010/n264-10.pdf, und www.tempomaat.nl

In der europäischen Binnenschifffahrt sind Geschwindigkeitsbeschränkungen aus Sicherheitsgründen, zur Vermeidung von Schäden am Gewässerbett und zur Begrenzung von Schadstoffemissionen üblich. Die Begrenzungen gelten für kurze Wasserstraßenabschnitte, Häfen oder komplette Wasserstraßen. Zur Erreichung des Ziels einer Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und damit der Treibhausgasemissionen ist hingegen eine allgemeine Geschwindigkeitsbeschränkung wenig effizient. Die Gründe dafür sind im **Abschnitt 8** des Berichts dargelegt. Die energetisch günstigen Geschwindigkeiten sind sehr stark abhängig von der Wassertiefe. Die Vorgabe einer bestimmten maximal zulässigen Geschwindigkeit würde daher nur für einige Schiffstypen und nur bei einem bestimmten Flottwasser den Kraftstoffverbrauch tatsächlich reduzieren, für die anderen Schiffstypen und für andere Flottwasser wäre die Geschwindigkeit zu hoch oder zu niedrig, um eine Wirkung entfalten zu können. Deshalb ist in der Binnenschifffahrt – im Gegensatz zur Seeschifffahrt – auch nicht eine gleichbleibend niedrige Geschwindigkeit (Slow Steaming) anzustreben, sondern eine optimale Geschwindigkeit (Smart Steaming).

11. Nutzung alternativer Energieträger (Kraftstoffe) zur Reduzierung der CO₂-Emissionen

Die Binnenschifffahrt nutzt heute fast ausnahmslos Gasöl als Kraftstoff. Gasöl verursacht CO₂-Emissionen bei seiner Verbrennung, die den weitaus größten Anteil der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt darstellen. Zudem dürften ab Mitte dieses Jahrhunderts mineralölbasierte Kraftstoffe nicht mehr oder nur noch zu für die Binnenschifffahrt nicht tragbaren Kosten zur Verfügung stehen. Daher muss die Binnenschifffahrt in den nächsten Jahrzehnten einen vollständigen Umstieg auf andere Energieträger vollziehen. Diese alternativen Energieträger müssen kohlenstoffärmer oder gar kohlenstofffrei und zeitlich länger oder gar unbegrenzt verfügbar sein. Flüssige Biokraftstoffe bieten sich zwar theoretisch als logische Nachfolge für die heutigen Mineralöle als Kraftstoffe an, scheinen jedoch in den erforderlichen Mengen nicht nachhaltig produziert werden können.

Daher wird sich ein Mix von Kraftstoffen in der Binnenschifffahrt etablieren, bestehend aus LNG und CNG sowie flüssigen und gasförmigen Biokraftstoffen. Auch elektrische Energie, an Bord gespeichert in Batterien oder durch Umwandlung in Wasserstoff oder Methan, dürfte zumindest in bestimmten Anwendungsfällen zum Antrieb von Binnenschiffen genutzt werden. Die Nutzung dieser Energieträger bedarf umfangreicher Vorarbeiten, auch im Hinblick auf die Rechtsvorschriften für die Binnenschifffahrt. Insbesondere muss sichergestellt werden, dass der künftige Energiemix ermöglicht, die Emissionsminderungsziele der Binnenschifffahrt zu erreichen. Daher ist für den Umstieg der Binnenschifffahrt auf alternative Energieträger eine Strategie notwendig. Diese sollte in eine alle Verkehrsträger einbeziehende Strategie integriert wie auch staatenübergreifend abgestimmt sein, da die Binnenschifffahrt in Europa international ausgerichtet ist.

Eine wichtige Voraussetzung für eine wirtschaftliche Nutzung alternativer Energieträger ist neben ihrer Verfügbarkeit zu für die Binnenschifffahrt tragbaren Kosten die Entwicklung von Qualitätsstandards. Neue Antriebssysteme für Binnenschiffe werden sich nur dann am Markt durchsetzen, wenn die von ihnen genutzten Energieträger kostengünstig in ausreichender Menge und in gleichbleibender Qualität zur Verfügung stehen. Neue Standards sind auch für die Zulassungsvorschriften der Antriebe selbst zu entwickeln. Derzeit ist aufgrund dieser Vorschriften praktisch nur Gasöl als Kraftstoffe zugelassen. Der Prozess zur Zulassung von LNG in der Rhein- und Binnenschifffahrt hat begonnen. Schrittweise sind die Zulassungsvorschriften so zu ändern, dass alle sinnvollen Energieträger auch tatsächlich genutzt werden dürfen, ohne die Sicherheit der Schifffahrt zu beeinträchtigen. Die ZKR hat bei der Einführung schwefelfreier Kraftstoffe und von LNG in der Binnenschifffahrt gezeigt, dass sie die Verbreitung ökologisch wünschenswerter Kraftstoffe für die Binnenschifffahrt durch ihre fachtechnische Kompetenz und ihre Fähigkeit, Standards zu entwickeln und durchzusetzen, fördern kann. Da die Mitgliedsstaaten der ZKR für etwa dreiviertel der Verkehrsleistung und damit des Kraftstoffverbrauchs der Binnenschifffahrt der EU verantwortlich zeichnen, ist es naheliegend, dass diese Staaten zusammen mit der ZKR - in Abstimmung mit und zur Unterstützung von möglichen Arbeiten der Europäischen Kommission - eine Führungsrolle bei

der Ausarbeitung einer Strategie für die künftigen Energieträger der Binnenschifffahrt und bei der Entwicklung der notwendigen Standards übernehmen.

Bei der Zulassung von LNG könnte die ZKR auf Erfahrungen mit der Nutzung von CNG auf kleineren Fahrgastschiffen in abgrenzten Fahrtgebieten zurückgreifen. In Amsterdam hat ein Unternehmen langjährige Betriebserfahrungen mit etwa 10 Rundfahrtbooten, die CNG nutzen, sammeln können (de Wilde and Weijers 2008).

Die europäische Expertengruppe zu den künftigen Kraftstoffen für den Verkehr hat umfassend die verschiedenen Energieträger für alle Verkehrsmodi (Fuels 2011) untersucht. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ihrer Untersuchung enthält **Anlage 10**. Wie auch andere Quellen (IEA 2011a) stellt die Expertengruppe heraus, dass Mitte des Jahrhunderts Mineralöle als Kraftstoffe für den Verkehr wahrscheinlich nicht mehr zur Verfügung stehen werden. Alternative Kraftstoffe müssen nicht nur zur Erreichung der Klimaziele gefunden und eingesetzt werden, sondern auch wegen des Versiegens der Erdölquellen.

Für die Nutzung von LNG in der Binnenschifffahrt wurde, wie schon für Gasöl, ausgehend von einer „well-to-wheel“ Betrachtung, seine energetische Gesamtbilanz wie auch seine Treibhausgasemissionen untersucht. Ein wesentlicher Teil dieser Emissionen besteht aus CH₄. Diese werden in CO₂-Äquivalente umgerechnet. Unter Berücksichtigung dieser Emissionen ergibt sich bei der Nutzung von LNG in der Binnenschifffahrt ein CO₂-Reduktionspotential von etwa 10 %, verglichen mit der Nutzung von Gasöl (Verbeek, Kadijk et al. 2011).

Dieser Wert entspricht in etwa dem von der europäischen Expertengruppe zu den künftigen Kraftstoffen für den Verkehr (Fuels 2011) genannten Wert von 5 bis 7 % für Euro 5 Dieselmotoren des Straßenverkehrs. Verschiedentlich wird für die Binnenschifffahrt ein CO₂-Minderungspotential von 20 bis 25 % (Consuegra and Paalvast 2010; Koopmans 2011) genannt. Dies entspricht dem theoretischen Wert beim Ersatz von Gasöl durch LNG, ohne Berücksichtigung der Vorkette (tank-to-wheel) und ohne Berücksichtigung möglicher negativer Auswirkungen von ausgetretenem CH₄ (Methanschlupf) auf das Klima. Aufgrund der großen Bedeutung, die Erdgas in der Zukunft als Kraftstoff für die Binnenschifffahrt erlangen dürfte, scheint es wünschenswert, einen belastbaren Wert für das CO₂-Reduktionspotential von LNG zu ermitteln.

Die Europäische Norm EN 16258 : 2013 enthält für eine Vielzahl von Kraftstoffen Vorgabewerte für Treibhausgasemissionsfaktoren, auch für CNG, jedoch nicht für LNG. Auf Basis dieser Norm lässt sich für CNG – im Vergleich mit Gasöl – ein Minderungspotential von CO₂-Äquivalenten in Höhe von etwa 20 % (tank-to-wheel) bzw. 25 % (well-to-wheel) errechnen. Da Herstellung und Transport von LNG und CNG sich deutlich unterscheiden, dürften die Reduktionspotentiale allenfalls bei einer Betrachtung ohne Berücksichtigung der Vorkette übertragbar sein.

Flüssige wie gasförmige Biokraftstoffstoffe sind derzeit noch nicht in großen Mengen nachhaltig herzustellen. Auch künftig werden Biokraftstoffe nur einen begrenzten Teil des Energiebedarfs der Binnenschifffahrt decken können. Einerseits gibt es natürliche Grenzen für die Produktionsmöglichkeiten für biogene Kraftstoffe, andererseits wird die Binnenschifffahrt mit den anderen, wirtschaftlich leistungsfähigeren Verkehrsträgern um Biokraftstoffe konkurrieren müssen. Die Biokraftstoffe werden zudem künftig immer strenger werdende Ziele für die Reduktion von Treibhausgasen erfüllen müssen. Auch muss davon ausgegangen werden, dass Energiepflanzen indirekte Landnutzungsänderungen, also einen Verdrängungswettbewerb der Landnutzung, auslösen. Dadurch können nicht nur die Preise für Lebensmittel deutlich steigen, sondern auch zusätzliche Treibhausgasemissionen entstehen (Ahrens 2011). Besonders heikel wird aktuell die Produktion von Biogas durch die Fermentierung von Mais gesehen (Schuh 2011). Aufgrund der intensiven Kritik an der Förderung der Biokraftstoffe durch die EU sah sich die Europäische Kommission im Oktober 2012 gezwungen, Vorschläge zur Änderung der einschlägigen Rechtsinstrumente, nämlich der Richtlinie 98/70/EG über die Qualität von Otto- und Dieselmotoren und der Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen, zu unterbreiten. Diese Vorschläge zielen vor allem darauf ab, den Beitrag konventioneller Biokraftstoffe (bei denen das Risiko von Emissionen infolge indirekter

Landnutzungsänderungen besteht) zu begrenzen, die Treibhausgasbilanz der Biokraftstoff-Herstellungsverfahren (Verringerung der damit verbundenen Emissionen) durch die Anhebung der zu erzielenden Treibhausgasemissionseinsparungen zu verbessern und die Marktdurchdringung fortschrittlicher Biokraftstoffe (mit geringen indirekten Landnutzungsänderungen) zu fördern (EU 2012a). Bei der großtechnischen Biokraftstoffherstellung aus Abfällen, die die Europäische Kommission mit ihrem Vorschlag verstärkt fördern möchte, werden aktuell wichtige Fortschritte erzielt; jedoch sind derartige Projekte zur Herstellung von sogenannten Biokraftstoffen der zweiten Generationen auch schon gescheitert (Trechow 2012). Die Internationale Energieagentur (IEA) geht in einer von ihr entwickelten „Roadmap“ davon aus, dass im Jahr 2050 gut ein Viertel aller global im Verkehr eingesetzten Kraftstoffe aus Biomasse stammen können und diese mindestens eine 50 %ige Treibhausgasreduzierung im Vergleich zu konventionellen Kraftstoffen ermöglichen sollten (IEA 2011b). Es ist zu erwarten, dass Biokraftstoffe vor allem dort eingesetzt werden, wo keine oder nur begrenzte sinnvollen Alternativen bestehen, insbesondere der Luftfahrt, der Seeschifffahrt und dem Schwerlaststraßenverkehr (Fuels 2011a).

Der Einsatz von biogenen Kraftstoffen auf Binnenschiffen ist komplexer als an Land (Arntz 2010). Aus technischen Gründen stehen die Hersteller der Motoren dem zunehmenden Einsatz von Biokraftstoffen in der Binnenschifffahrt derzeit zurückhaltend gegenüber. Die mittlerweile auch in der Binnenschifffahrt anzutreffende aufwendige Technik zur Reduzierung der Schadstoffemissionen, unabhängig davon, ob sie durch innermotorische Maßnahmen oder durch Abgasnachbehandlungsanlagen erreicht wird, verlangt Kraftstoffe mit einem gleichbleibend hohen Qualitätsniveau. In einem ersten Schritt wären die technischen Qualitätsstandards, die diese Kraftstoffe einhalten müssen, festzulegen. In einem zweiten Schritt könnte dann die Bereitstellung dieser Kraftstoffe erfolgen. Die Motorenhersteller fordern den Nachweis, dass über einen längeren Zeitraum eine negative Veränderung der Qualität der Kraftstoffe durch die Lagerung an Bord unter der für die Binnenschifffahrt typischen Umweltbedingungen ausgeschlossen ist (Scherm 2011).

In der Binnenschifffahrt befindet sich die Nutzung elektrischer Energie, gespeichert in wiederaufladbaren Batterien oder als Wasserstoff, der durch Elektrolyse hergestellt wurde, momentan noch in der Anfangsphase (Krijgsman 2010). Diese Energieträger sind von den aktuell diskutierten jedoch die einzigen, die grundsätzlich ohne die Freisetzung von Treibhausgasemissionen produziert werden können („Null-Emissionen“). Ihre künftige Bedeutung in der Binnenschifffahrt wird daher nicht zuletzt von den Emissionsminderungszielen bestimmt werden. Derzeit sind es vor allem kleinere Fahrgastschiffe, die in Batterien gespeicherte elektrische Energie nutzen. Das Interesse daran scheint zuzunehmen. Beispielsweise wurde in Frankreich ein Verein für Elektroboote gegründet. Dessen Webseite¹⁴ enthält Informationen zu mehreren Fahrgastschiffen mit batterie-elektrischem Antrieb. Dieser Antrieb wird auch von zwei kleineren Frachtschiffen genutzt, die zur Ver- und Entsorgung im Zentrum von Utrecht eingesetzt werden¹⁵. In Hamburg wurde bereits 2008 ein Fahrgastschiff mit Brennstoffzellenantrieb in Betrieb genommen, das Wasserstoff als Kraftstoff nutzt¹⁶. Im Rahmen des deutschen Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) wird die Nutzung von Brennstoffzellen zur Gewinnung von elektrischer und Wärme Energie auf Kreuzfahrtschiffen untersucht¹⁷. Die Wasserstofftechnologie, auch in Verbindung mit Brennstoffzellen, wird von führenden Automobilherstellern wegen ihrer hohen Leistungsdichte als nachhaltige Perspektive für Langstreckenfahrten angesehen (Reuss 2012). Sollte diese Perspektive im Automobilbau Realität werden, könnte damit – vor allem im Hinblick auf die Kosten – auch der Weg geebnet werden für zahlenmäßig bedeutsame Anwendungen in der Binnenschifffahrt.

¹⁴ L'Association Française pour le Bateau Electrique, <http://www.bateau-electrique.com/>

¹⁵ http://www.binnenvaartkrant.nl/2/artikel.php?artikel_id=3807

¹⁶ <http://www.hysolutions-hamburg.de/index.php?id=26>

¹⁷ <http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/nationales-innovationsprogramm-wasserstoff-und-brennstoffzellentechnologie-nip.html>

Wasserstoff kann durch die Umwandlung von Windenergie, der so genannten „Power-to-Gas“ Technologie, hergestellt werden. In Deutschland wurde dazu 2011 ein erstes Kraftwerk in Betrieb gewonnen. Wird der so hergestellte Wasserstoff mit Hilfe von Brennstoffzellen in elektrische Antriebsenergie umgewandelt, beträgt der Gesamtwirkungsgrad der Kette etwa 30 %. Dieser Wert ist gering; wenn aber davon ausgegangen wird, dass der Wasserstoff dann hergestellt wird, wenn andere Abnehmer für die Windenergie fehlen, könnte die Technologie dennoch eine sinnvolle Alternative zu den traditionellen Verfahren der Energiespeicherung darstellen (Schulze 2012).

Eine relativ junge Methode zur Speicherung elektrischer Energie nutzt als Medium Methan. Dabei wird mit Hilfe elektrischer Energie aus CO₂ und Wasser Methan hergestellt. Eine erste Anlage im industriellen Maßstab, die überschüssige Windenergie in Methan umwandelt, soll 2013 in Betrieb gehen (Reuss 2012). E-gas, wie das in dieser Anlage hergestellte synthetische Methan auch genannt wird, hat gegenüber Wasserstoff den Vorteil, dass es praktisch mit Erdgas austauschbar ist. Es braucht daher außer zur Herstellung keine besonderen Technologien oder Infrastrukturen. Sofern ein Entweichen des unverbrannten Methans (Methanschlupf) vermieden wird, ist es weitestgehend klimaneutral, da bei der Verbrennung nur so viel CO₂ frei wird, wie bei der Herstellung der Atmosphäre entzogen wird. Daher scheint E-Gas eine durchaus realistische Alternative, Binnenschiffe klimaneutral zu betreiben.

Ähnliche Untersuchungen wie die vorgenannten sind für die Nutzung anderer unkonventioneller Kraftstoffe in der Binnenschifffahrt durchzuführen, sofern entsprechende Untersuchungen aus anderen Verkehrsbereichen nicht übertragbar sind. Zur Vermeidung von kontraproduktiven Entwicklungen sollten diese Untersuchungen vor einer Entscheidung über die Förderung alternativer Kraftstoffe vorliegen.

Der Übergang zu alternativen, kohlenstoffarmen oder -freien Energieträgern wird zu fundamentalen Veränderungen aller Verkehrsträger führen. Folgerichtig wurden dafür Strategien entwickelt (Bundesregierung 2004) oder angekündigt. Die Europäische Kommission beabsichtigt, eine konsistente langfristige Kraftstoffstrategie vorzulegen, was jedoch bis zur Abfassung dieses Berichts nicht geschehen ist¹⁸. Eine neue Kraftstoffstrategie ist in Deutschland vorgesehen (DENA 2011). Ende 2012 sollen dazu konkrete Handlungsempfehlungen vorgeschlagen werden¹⁹.

Der künftige Energiemix der Binnenschifffahrt wird nicht von ihr selbst bestimmt werden. Vielmehr wird sie sich unter den jeweils angebotenen Energieträgern diejenigen aussuchen, die aus technischen und vor allem wirtschaftlichen Gesichtspunkten für sie geeignet sind. In diesem Sinne wird sie „follower“ und nicht „driver“ der Entwicklung sein. Jedoch kann die Binnenschifffahrt nicht die Entwicklungen in anderen Bereichen abwarten und sich diesen dann unbesehen anschließen, da die Randbedingungen für die Binnenschifffahrt andere sind als für Straße und Schiene. Eine verkehrssektorübergreifende Kraftstoffstrategie, die die besonderen Bedingungen der Binnenschifffahrt berücksichtigt, ist daher notwendig. Wichtigster Eckpunkt dieser Strategie wäre das weitgehende Verschwinden von mineralölbasierten Kraftstoffen aus der Binnenschifffahrt. Heute fährt die Binnenschifffahrt zu fast 100 % mit Gasöl, in 40 Jahren werden diese Kraftstoffe für die Binnenschifffahrt kaum mehr verfügbar sein. Ursache dafür ist die stark expandierende Nachfrage in China und anderen bevölkerungsreichen Ländern zu einem Zeitpunkt, an dem die Erdölförderung an ihre natürlichen Grenzen stößt. Sofern mineralölbasierte Kraftstoffe dann noch zur Verfügung stehen, werden sie in den Märkten verkauft werden, die bereit sind, die höchsten Preise dafür zu bezahlen, wie dies etwa für die Luftfahrt erwartet werden kann. 40 Jahre scheint ein langer Zeitraum, tatsächlich ist er jedoch kürzer als die Lebensdauer eines Binnenschiffes, das heute in Betrieb gesetzt wird. In anderen Worten, Schiffe, die heute mit Dieselmotoren in Betrieb gehen, werden gegen Ende ihrer Lebensdauer wahrscheinlich noch auf andere Energieträger umgestellt werden müssen.

¹⁸ http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/cts/future-transport-fuels_en.htm

¹⁹ http://www.bmvbs.de/DE/VerkehrUndMobilitaet/Zukunftstechnologien/MKStrategie/HintergrundMKS/mks-hintergrund_node.html

Aufbauend auf den Ergebnissen der Untersuchungen der Expertengruppe (Fuels 2011) und vorstehenden Darlegungen könnte eine Strategie für die künftige Entwicklung der Energieträger in der Binnenschifffahrt von den folgenden Eckpunkten ausgehen:

1. Nutzung von Gasöl, solange wirtschaftlich möglich (steigende Kosten Beschaffung, zusätzliche Kosten für Abgasnachbehandlung);
2. Kontinuierliche Einführung von LNG (und e-gas), ähnlich See- und Küstenschifffahrt;
3. Einführung von elektrischer Energie, gespeichert in wiederaufladbaren Batterien, ähnlich Straßenverkehr;
4. Einführung von elektrischer Energie, gespeichert als Wasserstoff, ähnlich Straßenverkehr;
5. Beimischung / Ersatz von Gasöl durch flüssige Biokraftstoffe (soweit verfügbar);
6. Beimischung / Ersatz von LNG durch gasförmige Biokraftstoffe (soweit verfügbar);
7. Vollständiger Ersatz von fossilen Energieträgern.

Sollten die künftigen Kraftstoffstrategien der Europäischen Kommission und der Staaten die Binnenschifffahrt nicht ausreichend berücksichtigen, wie beispielsweise in der noch aktuellen deutschen Kraftstoffstrategie (Bundesregierung 2004), könnte die ZKR das Vakuum füllen und eine Kraftstoffstrategie der Binnenschifffahrt entwickeln oder zumindest Bausteine dafür, die in übergreifende Strategien integriert werden können.

12. Potential zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen in der Binnenschifffahrt

In den **Abschnitten 9 und 10** dieses Berichts und insbesondere in den **Anlagen 6 und 8** werden verschiedene Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen in der Binnenschifffahrt aufgeführt. Eine zusammenfassende Einschätzung des Einsparungspotentials dieser Maßnahmen ist in **Tabelle 3** wiedergegeben. Ob diese Potentiale umgesetzt werden, hängt von verschiedenen Faktoren, nicht zuletzt vom Ergreifen der in **Abschnitt 13** beschriebenen unterstützenden Maßnahmen, ab.

Als Vergleichsfall oder Basis der Einsparungspotentiale ist der „Durchschnitt“ der heutigen Flotte angenommen. Der niedrigere Wert gibt an, welches Einsparungspotential auf jeden Fall zu erwarten ist, der höhere Wert das größtmögliche Potential. Die Angabe 0 % besagt, dass manche Schiffe dieses Potential schon heute ausschöpfen oder die betreffende Maßnahme aus besonderen Gründen nicht auf allen Schiffen anwendbar ist. Bei der Kombination von Maßnahmen gibt der niedrigere Wert das Einsparungspotential gegenüber schon heute sehr energieeffizient gebauten und betriebenen Schiffen an. Der höhere Wert zeigt das Einsparungspotential bezogen auf heutige Schiffe mit niedriger Energieeffizienz.

Tabelle 3: Einschätzung des Potentials zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt durch Nutzung von bekannten Technologien und Praktiken

| | Maßnahmen | Einsparungen CO ₂ / tkm | Kombiniert | Kombiniert |
|---------------------|--|------------------------------------|---------------|---------------|
| Schiffstechnik | Effizienzsteigerung Motoren | 2 % bis 5 % | 10 % bis 25 % | 10 % bis 50 % |
| | Dieselelektrische Antriebe | 0 % bis 20 % | | |
| | Hybridantriebe | 0 % bis 20 % | | |
| | Rückgewinnung von Abwärme | 0 % bis 5 % | | |
| | Effizientere Propulsionsorgane | 5 % bis 20 % | 0 % bis 25 % | |
| | Alternative Propulsionsorgane | 0 % bis 25 % | | |
| | Leichtbau | 0 % bis 5 % | 5 % bis 25 % | |
| | Luftschmierung | 0 % bis 15 % | | |
| | Optimierung Schiffsform | 0 % bis 10 % | | |
| | Abstromplatte | 0 % bis 10 % | | |
| | Dynamische Tunnelschürze | 0 % bis 10 % | | |
| | Optimierung Koppelstelle | 0 % bis 15 % | | |
| Betrieb | Smart Steaming, just in time | 0 % bis 30 % | 5 % bis 30 % | 10 % bis 40 % |
| | Optimierung Geschwindigkeit mit Hilfe von Decision Support Systems | 0 % bis 15 % | | |
| | Optimierung Reiseplanung | 0 % bis 20 % | | |
| | Optimierung automatische Bahnführung | 0 % bis 10 % | | |
| | Optimierung Instandhaltung Motoren | 0 % bis 5 % | 0 % bis 10 % | |
| | Optimierung Instandhaltung Propeller | 0 % bis 5 % | | |
| | Optimierung Instandhaltung Schiffshaut | 0 % bis 5 % | | |
| | Optimierung Trimm des Schiffes | 0 % bis 5 % | 5 % bis 15 % | |
| | Optimierung Schleusungen / Brückendurchfahrten | 0 % bis 15 % | | |
| | Optimierung Schiffsbetrieb in Häfen | 0 % bis 5 % | | |
| Landstromversorgung | 0 % bis 5 % | | | |

Vorgenannte Werte enthalten große Unsicherheiten hinsichtlich

- des Einsparungspotentials jeder einzelnen Maßnahme für sich auf einem Schiff,
- des Einsparungspotentials bei möglichen Kombinationen einzelner Maßnahmen auf einem Schiff,
- des möglichen Umfangs der Realisierung der Maßnahmen auf allen Schiffen, insbesondere den schon vorhandenen.

Daher kann es sich bei den Angaben bestenfalls um eine Expertenschätzung handeln, wobei einige Experten in der Kombination deutlich geringere Einsparungspotentiale sehen. Daher ist zu begrüßen, dass vorstehende Zusammenstellung bereits von Fachleuten diskutiert wird und auf wissenschaftlicher Basis demnächst überprüft werden soll. Zudem ist die Kosteneffizienz der einzelnen Maßnahmen oder deren Kombination unberücksichtigt, weshalb die Umsetzung einiger der Maßnahmen oder Maßnahmenkombinationen schon aus Kostengründen ausscheiden könnte.

In der Vergangenheit haben verschiedentlich neue Vorschriften zur Erhöhung der Sicherheit oder zum Umweltschutz zu einem höheren Energiebedarf und damit zu einem höheren Kraftstoffverbrauch in der Binnenschifffahrt geführt. Beispielhaft seien hier die Anforderungen an Bordkläranlagen genannt. Eine ganzheitliche Betrachtung von Sicherheits- und Umweltschutzmaßnahmen könnte künftig dazu beitragen, eventuell daraus resultierende negative Auswirkungen auf die Energieeffizienz der Binnenschifffahrt so weit wie möglich zu vermeiden.

13. Unterstützende Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen

Als unterstützende Maßnahmen können solche Maßnahmen bezeichnet werden, die selbst nicht zu einer Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen beitragen, die jedoch die Implementierung der in den vorstehenden Abschnitten des Berichts aufgeführten betrieblichen und schiffstechnischen Maßnahmen fördern. Eine elementare und grundlegende Unterstützungsmaßnahme ist die Bereitstellung relevanter Informationen. Andere unterstützende Maßnahmen können freiwilliger Art, durch Rechtsverordnungen vorgeschrieben oder Subventionen sein.

13.1 Bereitstellung von Informationen

Die Arbeiten der ZKR zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen haben gezeigt, dass eine Fülle von relevanten Informationen vorhanden ist. Die Informationen zu finden, bedarf jedoch eines großen Aufwands. Zudem liegen die Informationen häufig nur in einer Sprache vor. Um den Informationstransfer zu erleichtern, hat das niederländische Schifffahrtsgewerbe mit Unterstützung der niederländischen Verwaltung unter anderem eine Informationsbroschüre (de Grave and Van Wirdum 2006) herausgegeben, die jedoch mittlerweile veraltet ist. Die ZKR und auch PIANC hatten die Einrichtung einer Informationsplattform vorgesehen, wovon bisher lediglich die Webseite der ZKR zum Workshop „CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt – Wie sind sie zu messen? Wie zu reduzieren?“²⁰ im April 2011 realisiert wurde. PLATINA hat auf Vorschlag des Sekretariats der ZKR Maßnahmen in die Innovation Database²¹ aufgenommen, wobei diese jedoch auf wenige technische Aspekte beschränkt bleiben und lediglich in englischer Sprache veröffentlicht werden. Diese Beispiele machen sowohl die aktuellen Informationslücken deutlich, wie auch die Möglichkeiten, die konkret für eine anwenderfreundliche Bereitstellung umfassender relevanter Informationen bestehen und was dabei zu beachten wäre:

1. Herausgabe einer mehrsprachigen Broschüre über die wichtigsten betrieblichen und schiffstechnischen Maßnahmen; diese Broschüre könnte auf Basis der seinerzeitigen Broschüre des niederländischen Schifffahrtsgewerbes erstellt werden;

²⁰ www.ccr-zkr.org/temp/workshop120411_de.htm

²¹ www.naiades.info/innovations/index.php5/Innovation_database

2. Aufbau einer mehrsprachigen Webseite als Informationsplattform für alle wesentlichen Aspekte der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt; diese Webseite könnte unter Verwendung des vorliegenden Berichts sowie der Webseite der ZKR zu dem Workshop entwickelt werden;
3. Erstellen einer anwenderorientierten und mehrsprachigen Datenbank zu den betrieblichen und schiffstechnischen Möglichkeiten der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen als Teil der vorgenannten Webseite und unter Nutzung der Maßnahmendossiers, die bereits für den Workshop der ZKR erstellt wurden.

13.2 Unterstützende Maßnahmen freiwilliger Art

Die IMO hat für die Seeschifffahrt mögliche unterstützende Maßnahmen definiert, wovon hier die folgenden relevant sind:

- Energie-Effizienz-Design-Index (Energy Efficiency Design Index - EEDI)
- Energie-Effizienz-Betriebs-Indikator (Energy Efficiency Operational Index - EEOI)
- Schiffsmanagement-Plan der Energie-Effizienz (Ship Energy Efficiency Management Plan - SEEMP)

Eine ausführliche Beschreibung, inklusive der Möglichkeiten und Grenzen dieser Instrumente, findet sich in **Anlage 11**. Der EEDI und der SEEMP sind ab dem 1. Januar 2013 verbindlich für Schiffe mit einer Gross-Tonnage von 400 und darüber²².

Der EEDI ist ein System der **Klassifizierung des Energieverbrauchs** von Schiffen. Die Klassifizierung der Schiffe hinsichtlich ihres Energieverbrauchs bringt einen mehrfachen Nutzen:

1. Der Schiffseigner wird bei seinen Investitionsentscheidungen unterstützt, da die Energieverbrauchsklassifizierung transparent macht, welche Energie- oder Klimaeffizienz er für seine Investition erhält. Gleichermassen erhöht eine gute Klassifizierung den Wiederverkaufswert seines Schiffes.
2. Werften wird erleichtert, energie- oder klimaeffiziente Schiffsneubauten zu verkaufen, da der Nutzen der erhöhten Investitionskosten durch die günstige Klassifizierung belegt wird.
3. Ökonomische Anreizsysteme erhalten eine einfach handhabbare und transparente Basis. Schiffen mit einer guten Klassifizierung können größere Abschläge bei Hafen- oder Wasserstraßenabgaben gewährt werden als Schiffen mit einer schlechteren oder keiner Klassifizierung.
4. Staatliche Subventionssysteme erhalten bei einer Berücksichtigung der Klassifizierung eine breitere und vor allem maßnahmenunabhängige Bezugsbasis. Die Subvention kann auf die Erreichung eines Ziels, beispielsweise beste Energieverbrauchsklasse, abgestellt werden. Dem Schiffseigner steht es dann frei, die für die Erreichung des Ziels bestgeeigneten Maßnahme auszuwählen.
5. Die Klassifizierung des Energieverbrauchs kann auch direkt als ein wichtiges Element in ein Umweltzertifizierungssystem (Green Label, blauer Engel) von Binnenschiffen aufgenommen werden.

Eine derartige Klassifizierung gibt es bereits für PKW, wie auch elektrische Konsumgüter und Häuser. Auch wurde schon eine vergleichende Untersuchung verschiedener Möglichkeiten der Energieverbrauchsklassifizierung von Binnenschiffen durchgeführt (Zoer 2011). Auf diese Untersuchung und die Arbeiten der IMO aufbauend, könnte eine spezielle oder angepasste Klassifizierung für die Binnenschifffahrt entwickelt werden.

²² www.imo.org/MediaCentre/MeetingSummaries/MEPC/Pages/MEPC-64th-session.aspx

Der EEOI erlaubt einen Vergleich oder ein **Benchmarking des energie- oder klimaeffizienten Betriebs** von Schiffen. Dieses Benchmarking bietet ebenfalls einen mehrfachen Nutzen:

1. Der Schiffseigner kann die Energieeffizienz des Betriebs eines Schiffes direkt mit der anderer Schiffe vergleichen und so das Vorhandensein von Verbesserungspotentialen identifizieren.
2. Der Schiffseigner erhält eine solide Basis, Schiffsführer Prämien als Motivation für einen energiesparenden Betrieb der ihnen unterstellten Schiffe zu gewähren.
3. Die Einführung des EEOI generiert wertvolle Daten über den Kraftstoffverbrauch der Flotte. Diese Daten sind für eine gute Unternehmensführung unabdingbar. Sofern sie der Verwaltung zugänglich gemacht werden, ermöglichen sie auch die Validierung von Emissionsfaktoren durch reale Emissionen sowie eine Erfolgskontrolle der Klimaschutzpolitik der Binnenschifffahrt in der Praxis.
4. Das Vorhandensein eines Energie-Effizienz-Betriebs-Indikators kann ebenfalls direkt als ein Element in ein Umweltzertifizierungssystem von Binnenschiffen aufgenommen werden.

Auf die Arbeiten der IMO und erste Anwendungen durch die Klassifikationsgesellschaften aufbauend könnte ein spezieller oder angepasster Energie-Effizienz-Betriebs-Indikator für die Binnenschifffahrt entwickelt werden.

Der SEEMP ist ein strukturiertes und transparentes **Hilfsmittel für die kontinuierliche Verbesserung der Energieeffizienz beim Betrieb** von Schiffen. Er dient damit der guten Unternehmensführung. Die erzielten Fortschritte sollten sich durch den EEOI messen lassen. Das Vorhandensein eines SEEMP kann ebenfalls als ein Element in ein Umweltzertifizierungssystem von Binnenschiffen einbezogen werden.

Umweltzeichen sind die Dokumentation eines **Zertifizierungssystems für ein umweltfreundliches Schiffsdesign und einen umweltschonenden Schiffsbetrieb**. „Grundsätzlich soll das Umweltzeichen ... dazu dienen, Schiffe auszuzeichnen, die über das gesetzlich geregelte Maß hinaus, Maßnahmen zur Vermeidung oder Verminderung von Umweltbelastungen umsetzen.

Aufgrund stark gestiegener Umwelanforderungen in den letzten Jahren ist der Raum zwischen verbindlichen Vorschriften und technisch möglichen freiwilligen Verbesserungen kleiner geworden. Allerdings kann in Zukunft technischer Fortschritt, insbesondere im Bereich der Energieeffizienz erwartet werden. Das Umweltzeichen wird auch in Zukunft immer wieder an den aktuellen Stand der Gesetzgebung angepasst, so dass neue Anforderungen hinzukommen werden.

Der reale Umweltnutzen, wenn einzelne Schiffe höhere Umweltstandards erfüllen, ist zwar gering, aber es kann damit ein positiver Prozess angestoßen werden. Es wird gezeigt, dass es praktikabel und auch ökonomisch tragfähig ist – sei es durch direkte Kosteneinsparungen oder indirekt durch das bessere Umweltimage – über das gesetzlich notwendige hinaus in Umweltschutzmaßnahmen zu investieren. Damit sollen Anreize für die Einführung innovativer Technologien gegeben werden.“ (Seum, Bahlke et al. 2011)

Die Schiffseigner, die die für den Erhalt eines Umweltzeichens notwendigen Investitionen tätigen, möchten Umwelt und Klima besser schützen sowie das Image ihres Unternehmens verbessern. Sie möchten ihre Investitionen aber auch finanziell honoriert sehen, beispielsweise durch die Reduzierung von Hafengebühren und eine Bevorzugung durch Verloader. Verschiedene Länder haben für die Seeschifffahrt bereits ein Umweltzeichen eingeführt. In Deutschland ist das der „Blaue Engel“²³, wobei je ein Zeichen für ein umweltfreundliches Schiffsdesign und einen umweltschonenden Schiffsbetrieb vergeben wird.

²³ www.blauer-engel.de/de/blauer_engel/was_steckt_dahinter/schutzziele.php?objective=Wasser

Mehr als 300 Binnenschiffe vor allem der Niederlande haben bisher das Umweltzeichen *Green Award*²⁴ erhalten. Ein nach dem Pflichtenheft des Green Award zertifiziertes Schiff muss bestimmte technische und betriebliche Bedingungen, die dem Umwelt- und Klimaschutz dienen, erfüllen, damit es in den Genuss von finanziellen Vergünstigungen, nämlich Rabatte auf Hafengelder in wichtigen niederländischen und belgischen Häfen kommen kann. Staatliche Subventionen und Zuschüsse von Banken unterstützen den Aufbau der Organisation und die Zertifizierung der Schiffe finanziell. Das Zeichen Green Award dürfte grundsätzlich ein für die Binnenschifffahrt geeignetes Instrument sein, die Umsetzung von Maßnahmen des Klimaschutzes auf freiwilliger Basis zu unterstützen. Im Hinblick auf den Klimaschutz könnte die Wirkung dieses Zeichens noch größer sein, wenn das Pflichtenheft (Entscheidungskriterien für die Zertifizierung) weitere Elemente des Klimaschutzes, wie beispielsweise eine bestimmte Klassifizierung des Schiffes hinsichtlich seines Energieverbrauchs, aufweisen würde.

Die Attraktivität von Umweltzeichen und damit der Anreiz für Schiffseigner, Umwelt- und Klimaschutzmaßnahmen zu ergreifen, sind umso größer, je mehr Stellen das Umweltzeichen honorieren. Das spricht dafür, ein Umweltzeichen zu schaffen, das europaweit oder zumindest im ganzen Rheinstromgebiet Anerkennung findet. Hingegen ist die Schaffung verschiedener, beispielsweise nationaler Umweltzeichen für die Binnenschifffahrt nicht sinnvoll, da dann für ein Schiff mehrere Zertifizierungsverfahren durchlaufen werden müssen. Die das Umweltzeichen Green Award vergebende Organisation ist daran interessiert, dieses für den Bereich der Binnenschifffahrt weiterzuentwickeln. Die Umweltzeichen Blauer Engel für die Seeschifffahrt wurden 2009 unter besonderer Berücksichtigung des Klimaschutzes überarbeitet (Seum, Bahlke et al. 2011). Darauf aufbauend sollte es mit angemessenem Aufwand möglich sein, ein einheitliches oder harmonisiertes Umweltzeichen für die Binnenschifffahrt in den Mitgliedsstaaten der ZKR oder darüber hinaus zu schaffen.

13.3 Unterstützende Maßnahmen auf Basis von rechtlichen Verpflichtungen und Subventionen

Es existieren eine größere Zahl von unterstützenden Maßnahmen rechtlicher und ökonomischer Art (UNECE 2012). Die Richtlinie 2009/33/EG ist ein Beispiel, wie mit dem Klimaschutz rechtliche Maßnahmen im Hinblick auf Kaufentscheidungen über Fahrzeuge, in diesem Fall für den Straßenverkehr, gerechtfertigt werden können. Für die europäische Binnenschifffahrt könnten folgende Maßnahmen aus rechtlichen Verpflichtungen erwachsen:

1. Besteuerung der Kraftstoffe,
2. Einbeziehung der Binnenschifffahrt in das europäische Emissionshandelssystem,
3. obligatorische Klassifizierung oder Zertifizierung der Binnenschiffe hinsichtlich ihres Kraftstoffverbrauchs und ihrer Treibhausgasemissionen,
4. emissionsabhängige Hafengebühren und Befahrensabgaben.

Eine Untersuchung vorgenannter Maßnahmen würde über die Möglichkeiten des vorliegenden Berichts hinausgehen. Dennoch dürfte es sinnvoll sein, zumindest neben der obligatorischen Energieklassifizierung der Binnenschiffe auch die Umsetzung der unter 4 aufgeführten Maßnahme eingehender zu prüfen. Bei Wasserstraßen, für die bereits eine Befahrensabgabe erhoben wird, könnte sie aufkommensneutral, das heißt ohne Erhöhung der Gesamtkosten der Binnenschifffahrt eingeführt werden und dennoch zu möglicherweise deutlichen Steuerungseffekte führen. Hingegen dürfte sich bei derzeit abgabefreien Wasserstraßen, allen voran der Rhein, die Einführung einer emissionsabhängigen Befahrensabgabe schon aus rechtlichen Gründen als schwierig oder gar unmöglich erweisen.

²⁴ www.greenaward.org

Ebenfalls nicht betrachtet werden im Rahmen dieses Berichts Subventionsschemas, seien sie staatlicher oder privater Natur.

13.4 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die unterstützenden Maßnahmen einerseits entscheidend dazu beitragen können, dass die Betroffenen die bekannten Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen tatsächlich in der betrieblichen Praxis einführen und dass die unterstützenden Maßnahmen andererseits schon teilweise sehr weit entwickelt wurden oder gar angewendet werden. Um die volle Wirksamkeit der unterstützenden Maßnahmen in der Binnenschifffahrt zu erreichen, ist es notwendig,

- die Entwicklung der unterstützenden Maßnahmen zu Ende zu führen, wo noch nicht geschehen, und dabei – sofern notwendig – auch Maßnahmen anderer Bereiche für die Binnenschifffahrt zu adaptieren,
- den bisher schon national angewendeten Unterstützungsmaßnahmen zu einer europaweiten Anwendung oder zumindest einer Anwendung in der Rheinschifffahrt zu verhelfen,
- ähnlich der IMO transparente und allgemein akzeptierte Standards zu setzen, auf die sich alle Betroffenen, einschließlich staatlicher Stellen zum Beispiel im Rahmen von direkten oder indirekten Subventionen, beziehen können.

Wegen der überaus positiven Effekte der unterstützenden Maßnahmen und da sie zudem freiwilliger Natur sein können, sollten die vorgenannten Arbeiten prioritär behandelt und möglichst bald angegangen werden. Die Natur der Arbeiten verlangt einen übergreifenden Ansatz in mehrfacher Hinsicht: die Arbeiten sind grenzüberschreitend, alle Betroffenen einschließend und technische wie auch betriebliche Aspekte berücksichtigend anzulegen. Für informative oder freiwillige Maßnahmen spielen zudem politische oder rechtliche Kompetenzen keine Rolle, da aus ihnen weder für Unternehmen noch für Staaten Verpflichtungen erwachsen.

Unterstützende Maßnahmen freiwilliger Art sollten in ihrer Wirkung nicht überschätzt werden. Eine aktuelle Studie (Csutora 2012) zeigt, dass allein ein ökologisches Bewusstsein nicht zu einer Verkleinerung des Carbon Footprint führt. Das legt den Schluss nahe, dass Informationen und bewusstseinsbildende Maßnahmen nicht ausreichen, um anspruchsvolle Reduktionsziele zu erreichen. Folglich bedarf es auch signifikanter wirtschaftlicher Anreize oder rechtlicher Vorgaben.

14. Zusätzlicher Nutzen der Reduzierung der Treibhausgasemissionen

Aus Maßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen können weitere Nutzen resultieren:

- Resultiert die Reduzierung der Treibhausgasemissionen aus einer Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs, so werden fast immer auch die Schadstoffemissionen²⁵ reduziert.
- Resultiert die Reduzierung der Treibhausgasemissionen aus dem Einsatz von LNG oder der (indirekten) Nutzung elektrischer Energie aus alternativen Quellen, führt dies zu einer signifikanten oder fast vollständigen Reduzierung der Schadstoffemissionen.
- Eine Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs mindert auch den Verbrauch von Ressourcen, nämlich Mineralöl. Dies stärkt die Nachhaltigkeit Binnenschifffahrt und reduziert ihre Kosten.

²⁵ Unter Schadstoffen werden hier Stoffe verstanden, die Mensch und Umwelt schädigen, insbesondere Stickoxyde (NO_x) und Partikel (PM), im Gegensatz zu den vor allem zum Klimawandel beitragenden Stoffen.

- Wird die Reduzierung der Treibhausgasemissionen durch eine Reduzierung der eingesetzten Antriebsleistung erreicht, so wird das in der Regel auch zu einer Verminderung des Wellenschlags und der Strömungsänderungen im umgebenden Wasserkörper führen. Dies wiederum trägt zu einer Verminderung der Belastung des Gewässerbetts und der Sohle bei. Negative Auswirkungen der Binnenschifffahrt auf die Gewässerökologie werden minimiert.

Dieser mehrfache Nutzen, der bei der Realisierung von Maßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt erzielt werden kann, sollte den Klimaschutz in der Binnenschifffahrt für die Politik und das Schifffahrtsgewerbe interessant machen, auch wenn der mögliche Beitrag der Binnenschifffahrt zum Klimaschutz in seiner absoluten Größe vernachlässigbar klein erscheint.

Verschiedene Studien sehen die spezifischen Emissionen der klassischen Schadstoffe, vor allem Stickoxyde (NO_x) und Partikel (PM), der Binnenschifffahrt auf dem gleichen Niveau wie der Eisenbahn oder gar teilweise deutlich darüber. Mit gewissen Einschränkungen trifft dies auch für den Straßengüterfernverkehr zu (PLANCO 2007; den Boer, Otten et al. 2011).

Es ist schwierig, die volkswirtschaftlichen Kosten der Schadstoffemissionen – oder anders ausgedrückt, die durch sie angerichteten Schäden – mit denen der Treibhausgasemissionen zu vergleichen, insbesondere, weil dafür die verschiedenen Emissionen monetarisiert werden müssen. Der Vergleich hängt also nicht nur von dem Umfang der Emissionen ab, sondern auch davon, wie hoch die Kosten für eine Tonne des jeweils emittierten Stoffes angesetzt werden. Während PLANCO (PLANCO 2007) die volkswirtschaftlichen Kosten für die Schadstoff- und Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt in etwa auf gleicher Höhe ansetzt, sehen andere Studien die Kosten für die Schadstoffemissionen als etwa siebenmal höher an.

Die Schadstoffemissionen der Binnenschifffahrt haben die gleiche Ursache wie die Treibhausgasemissionen, die Verbrennung von Gasöl in den Antriebsmotoren der Schiffe. Maßnahmen, die auf eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt durch eine Verringerung des Kraftstoffverbrauchs abzielen, haben damit also einen zusätzlichen Nutzen: sie reduzieren auch die Schadstoffemissionen.

Selbstverständlich bringt eine Senkung des Kraftstoffverbrauchs auch den zusätzlichen Nutzen einer erhöhten Ressourceneffizienz, mehr Tonnenkilometer aus der gleichen Menge Kraftstoff. Die Ressourceneffizienz ist eine relativ neue politische Zielsetzung (Commission 2011). Für die Unternehmen ist die Ressourceneffizienz eines der wesentlichen Mittel zur Kontrolle der Kraftstoffkosten, die nach internen Berechnungen des Sekretariats der ZKR in der Rheinschifffahrt etwa ein Viertel der Gesamtbetriebskosten eines modernen Motorgüterschiffes ausmachen. Die Kraftstoffkosten der Rheinschifffahrt haben sich innerhalb der letzten zehn Jahre nominal etwa vervierfacht²⁶. Sie steigen zudem schneller als andere und gewinnen dadurch eine zunehmende Bedeutung, wie von Vertretern des Schifffahrtsgewerbes in der Anhörung der ZKR zum vorliegenden Bericht am 6. März 2012 deutlich gemacht wurde.

Schiffe erzeugen zwangsläufig während der Fahrt Wellen, Strömungen und Sogwirkungen im umgebenden Wasserkörper. Je geringer die Kielfreiheit oder das Flottwasser des Schiffes und je enger der Querschnitt der befahrenen Wasserstraße im Vergleich zum Querschnitt des Schiffes, desto größer sind die negativen Einflüsse von Wellen und Strömungen auf das Ökosystem der Wasserstraße und das Gewässerbett. Besonders wirksame Maßnahmen zur Reduzierung dieser negativen Einflüsse sind die Verringerung der vom Schiff eingesetzten Motorleistung und der Schiffsgeschwindigkeit (Söhngen, Knight et al. 2008).

²⁶ www.rhinecontainer.com/de/gasolpreise/?area=

Beides geht grundsätzlich einher mit einer Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs. Auch wenn vorstehende Darstellung die tatsächlichen komplexen Sachverhalte nur sehr vereinfachend wiedergibt, macht sie doch deutlich, dass solche Maßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen, die auf einer Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs basieren, zu einer Reduzierung der negativen Einflüsse der Binnenschiffe auf die Ökosysteme sowie auf die Sohlen und Ufer der Wasserstraßen beitragen können. Letzteres wiederum reduziert die Kosten für die Instandhaltung der Wasserstraßen.

Dieser Mehrfachnutzen der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs hat bedeutende Implikationen für die Politik:

- Zur Minimierung des Klimawandels, zur Verbesserung der Luftqualität, zur Steigerung der Ressourceneffizienz und zur Reduzierung möglicher negativer Auswirkungen auf das befahrene Gewässer sind grundsätzlich solche Maßnahmen zu fördern, die den Kraftstoffverbrauch der Binnenschifffahrt reduzieren, da durch diese ein Mehrfachnutzen erzielt wird. Beispielhaft sei hier der sogenannte Tempomaat genannt, ein computerbasiertes Geräte, welches den Schiffsführer bei der Wahl der optimalen Geschwindigkeit unterstützt. Bei der Nutzung dieses Geräts sinkt der Kraftstoffverbrauch; in der Folge werden die Schadstoff- wie auch die Treibhausgasemissionen reduziert. Auf Wasserstraßen mit eingeschränkten Querschnitten schlägt das Gerät eine geringere Geschwindigkeit vor, was zu einer Reduzierung der Wellenbildung und der durch das Schiff induzierten Strömungen führt. Zusätzlich sinken auch noch die Betriebskosten und die Binnenschifffahrt kann ihren Nutzern kostengünstigere Transporte anbieten.
- Hingegen sind solche Maßnahmen nach Möglichkeit zu vermeiden, die nur eines der vorgenannten Ziele erreichen lassen, eventuell sogar zu Lasten eines anderen Zieles. Beispielhaft sei hier genannt der Einsatz bestimmter Biokraftstoffe, die möglicherweise zu einer Reduzierung der Treibhausgase beitragen, jedoch bei ihrer Verbrennung eine ungünstige Schadstoffbilanz aufweisen und nicht zu einer Kostenreduzierung beitragen.

Vorstehende Ausführungen geben einen komplexen Sachverhalt sehr vereinfacht wieder. Sie verdeutlichen jedoch, dass die Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt zusätzlichen Nutzen mit sich bringen kann, der in der Bedeutung für die Gesellschaft über ihr ursprüngliches Ziel weit hinausgeht. Für die Politik und die Verwaltung sollte dies ein Grund sein, sich intensiver mit der Reduzierung der Treibhausgasemissionen in der Binnenschifffahrt zu beschäftigen, als dies aufgrund der absolut geringen Auswirkung der Binnenschifffahrt auf die Klimaveränderung angemessen scheint. Für das Schifffahrtsgewerbe sollte dies deutlich machen, dass die Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs nicht nur die Kosten kontrollieren hilft, sondern im Mittelpunkt aller Bemühungen um eine grüne Binnenschifffahrt stehen sollte.

Die Europäische Kommission hat vorgeschlagen, in das neue europäische Programm zur Förderung der Binnenschifffahrt, genannt NAIADES II, auch Maßnahmen zur Reduzierung der Schadstoffemissionen aufzunehmen (EU 2012). Diese umfassen vor allem die Fortentwicklung der Rechtsvorschriften zur Begrenzung der Schadstoffemissionen, insbesondere die Richtlinie 97/68/EG²⁷. Daneben sind noch die folgenden Maßnahmen vorgeschlagen (Panteia, PLANCO et al. 2012):

1. Förderung der Nutzung von LNG als Kraftstoff der Binnenschifffahrt;
2. Förderung oder Verpflichtung der Nutzung von Decision Support Systems (Tempomaat. Econometer);
3. Förderung emissionsabhängiger Hafengebühren und Befahrensabgaben;

²⁷ Richtlinie 97/68/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 1997 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen zur Bekämpfung der Emission von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln aus Verbrennungsmotoren für mobile Maschinen und Geräte

4. Information und Bewusstseinsbildung zur Wahl der optimalen Schiffsgeschwindigkeit (Smart Steaming);
5. dauerhafte Unterstützung eines Umweltzeichens (Green Award);
6. Entwicklung einer Klassifizierung oder Zertifizierung der Binnenschiffe hinsichtlich ihrer Umwelteigenschaften, ähnlich dem EEDI der Seeschifffahrt;
7. Unterstützungskampagne für die Auswahl angemessener, d. h. nicht zu großer Antriebsmotoren.

Diese zusätzlichen Maßnahmen basieren weitgehend darauf, den Kraftstoffverbrauch – und damit die Schadstoffemissionen – zu reduzieren oder LNG als einen umweltfreundlicheren Kraftstoff zu nutzen. Damit würden diese Maßnahmen bei ihrer Realisierung auch zu einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt beitragen. Es ist daher nur folgerichtig, dass diese Maßnahmen in dem vorliegenden Bericht bereits unter letztgenanntem Gesichtspunkt aufgeführt sind. Werden diese Maßnahmen im Rahmen von NAIADES realisiert werden, so erübrigt sich diese im Rahmen weiterführenden Arbeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen, die in Abschnitt 17 dieses Berichts aufgeführt sind, weiter zu verfolgen. Sollten diese Maßnahmen hingegen im Rahmen von NAIADES unberücksichtigt bleiben, könnten sie wie in Abschnitt 17 vorgeschlagen aufgegriffen werden.

15. Szenarien für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt

Der Binnenschifffahrt steht eine große Zahl von Maßnahmen zur Verfügung, die Treibhausgasemissionen aus dem Schiffsbetrieb zu reduzieren. Diese Maßnahmen umfassen einerseits solche, die den Betrieb der Schiffe, deren Bau und deren Ausrüstung umfassen. Andererseits gibt es eine große Gruppe von Maßnahmen, die auf eine "Decarbonisierung" des Kraftstoffs abzielen, also darauf, Kraftstoffe mit geringeren CO₂-Emissionen zu nutzen. Die weitgehende Anwendung der erstgenannten Maßnahmen in der Zukunft könnte als konservatives Szenario bezeichnet werden, da diese Maßnahmen bereits Einzug in die Binnenschifffahrt gehalten haben und grundsätzlich von ihr akzeptiert scheinen. Maßnahmen der zweiten Gruppe finden bisher allenfalls in Ausnahmefällen in der Binnenschifffahrt Anwendung. Eine zusätzliche Anwendung dieser Maßnahmen über die erstgenannten hinaus könnte daher als ein optimistisches Szenario im Hinblick auf die Reduzierung der Treibhausgasemissionen angesehen werden. Gemeinsam für beide Szenarien und von besonderer Bedeutung ist die Erhöhung der mittleren Tragfähigkeit der Schiffe als Ergebnis der fortschreitenden Modernisierung der Binnenschifffahrtsflotte. Eine modellhafte Berechnung der Treibhausgasemissionen für diese Szenarien zeigt, dass nach dem konservativen Szenario die Gesamtemissionen auch bei einer Zunahme der Verkehrsleistung in etwa konstant bleiben und nach dem optimistischen Szenario bis um etwa Zweidrittel abnehmen könnten. Insbesondere für die Verkehrs- und Umweltpolitik scheinen folgende mögliche Schlussfolgerungen daraus von Bedeutung:

- Eine breite Anwendung der heute schon verschiedentlich genutzten technischen und betrieblichen Energieeinsparungsmaßnahmen sowie eine weitergehende Zunahme der durchschnittlichen Schiffsgröße ermöglichen es, die betrieblichen Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt auch bei einer kontinuierlichen Zunahme der Güterverkehrsleistung in etwa konstant zu halten.
- Eine deutliche Reduzierung der absoluten Menge der betrieblichen Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt bei einer gleichzeitigen kontinuierlichen Zunahme der Güterverkehrsleistung wird dann möglich sein, wenn im großen Umfang neben LNG auch Biokraftstoffe und Kraftstoffe, die mit Hilfe von regenerativen Energien gewonnen wurden, eingesetzt werden.

Diese Schlussfolgerungen müssen als vorläufig angesehen werden, da die Szenarien und das eingesetzte Rechenmodell der Validierung bedürfen. Diese sollte im Rahmen der ZKR und der mit ihr zusammenarbeitenden Wirtschaftsverbände möglich sein. Danach könnte das Modell Wirtschaft und Verwaltung beispielsweise für die Entwicklung von Strategien und im Rahmen der politischen Entscheidungsfindung von großem Nutzen sein.

Anlage 12 enthält eine detaillierte Darstellung des Rechenmodells und der Szenarien.

16. Kosten und Barrieren der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen

Fundierte Entscheidungen im Hinblick auf Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bedürfen ausreichender Kenntnisse der damit verbundenen Kosten. Bemerkenswert scheint, dass einige der in diesem Bericht dargelegten Maßnahmen zu einer Kostenreduktion beitragen, aber dennoch in der Binnenschifffahrt bis jetzt nur sehr begrenzt Anwendung finden. Daher werden im folgenden Kosten und Barrieren der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen eingehender betrachtet.

16.1 Kosten der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen

Die verschiedenen technischen und betrieblichen Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen verursachen unterschiedliche Kosten. Investitionen für technische Maßnahmen erhöhen die Kosten der Binnenschifffahrt, sofern sie nicht durch eine Reduzierung der Betriebskosten ausgeglichen werden. Betriebliche Maßnahmen führen im Allgemeinen zu Kosteneinsparungen, d.h. die Kosten der Maßnahmen nehmen negative Werte an.

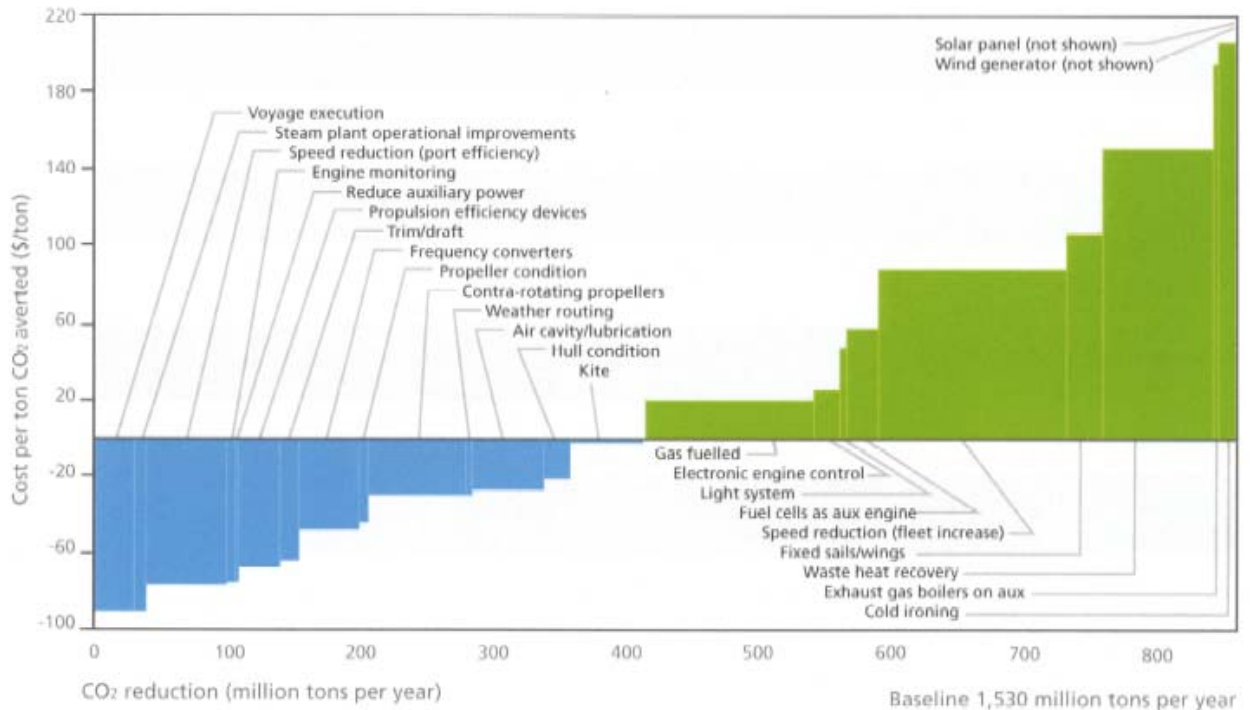
Die verschiedenen Maßnahmen haben auch unterschiedliche Reduktionspotentiale. Maßnahmen, die zu einer Reduzierung des Leistungsbedarfs der Hauptantriebe der Schiffe beitragen, haben ein bedeutend größeres Reduktionspotential als Maßnahmen, die lediglich den Leistungsbedarf von Hilfsfunktionen betreffen. Daher ist beispielsweise das Reduktionspotential des sogenannten Smart Steaming sehr viel größer als das der Wärmerückgewinnung zu Heizzwecken.

Zur graphischen Darstellung von vorgenannten Zusammenhängen, nämlich einerseits der Kosten und andererseits der Reduktionspotentiale der verschiedenen Maßnahmen, werden Kurven der Grenzerminderungskosten (Marginal Abatement Cost Curve – MACC) genutzt. Ganz allgemein ist eine MACC eine Darstellung von entsprechend ihren Vermeidungskosten gereihten Optionen zur Reduzierung von Schadstoff- oder Treibhausgasemissionen. MACC können alle Wirtschaftszweige einer Volkswirtschaft umfassen, global angelegt sein oder nur Optionen für einen Wirtschaftszweig darstellen. MACC sind aufgrund der zusammenfassenden Darstellung von Kosten und Reduktionspotentialen insbesondere als Hilfsmittel für politische Entscheidungsverfahren interessant. Sie zeigen sehr kompakt, welche Reduktionen zu welchen Kosten möglich sind und wo die Politik ansetzen sollte, um Emissionsminderungen zu erzielen.

Für die Seeschifffahrt wurden verschiedene MACC entwickelt (Faber, Behrends et al. 2011). **Abbildung 7** zeigt eine MACC, die auf einer Modellierung des voraussichtlichen quantitativen und qualitativen Wachstums der Welthandelsflotte bis 2030 und der Anwendung von 25 verschiedenen Optionen zur CO₂-Minderung beruht (Jahn 2010). Die auf der linken Seite der Abbildung aufgeführten Maßnahmen führen zu einer Minderung und die auf der rechten Seite zu einer Steigerung der Lebenszykluskosten, vor allem der Investitions- und der Kraftstoffkosten der Schiffe. Für die Binnenschifffahrt hingegen ist keine MACC bekannt. Die MACC der Seeschifffahrt lassen sich – vor allem wegen der sehr unterschiedlichen Einsatzverhältnisse der Schiffe und Kraftstoffkosten – nicht unverändert auf die Binnenschifffahrt übertragen. Allerdings sollte sich tendenziell für die Binnenschifffahrt eine sehr

ähnliche Kurve ergeben, da viele der aufgeführten Maßnahmen auch in der Binnenschifffahrt Anwendung finden können.

Abbildung 7: Durchschnittliche Grenzkosten der CO₂-Minderung pro Option Weltschifffahrtsflotte im Jahr 2030 (Alvik, Eide et al. 2010)²⁸



Die Nutzen und Kosten von Reduktionsmaßnahmen aus Sicht der Schiffseigner oder der betroffenen Unternehmen sind relativ klar. Der Nutzen resultiert aus Kraftstoffeinsparungen (negative Kosten) und die Kosten (Ausgaben) vor allem aus zusätzlichen Investitionen. Aus Sicht der Gesellschaft sind die Verhältnisse etwas komplizierter. Die eingesparten Kraftstoffmengen übersetzen sich aus der Sicht der Gesellschaft nicht nur in eine Reduktion der Treibhausgasemissionen, wie sie in den MACC dargestellt sind, sondern auch in eine Reduzierung der Schadstoffemissionen, insbesondere NO_x und Partikel. Dieser zusätzliche gesellschaftliche Nutzen ist – unter Berücksichtigung der externen Kosten der verschiedenen Emissionen – sogar noch sehr viel größer als der aus der Reduzierung der Treibhausgasemissionen. Was sich für die Unternehmen „nur“ als Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs darstellt, ergibt somit für die Gesellschaft einen multiplen Nutzen. Eine gesellschaftliche Betrachtung der MACC für die Seeschifffahrt unter Berücksichtigung der Verminderung der Schadstoffemissionen würde daher den Nullpunkt der Kosten nach rechts verschieben; einige der Maßnahmen, die für den Unternehmer zusätzliche Kosten verursachen, führen aus Sicht der Gesellschaft zu Kosteneinsparungen.

²⁸ „Wie sind die Minderungskurven zu lesen?“

Die in Abbildung 7 dargestellten Minderungskurven fassen die technischen und betrieblichen Möglichkeiten, die Emissionen aus der im Jahr 2030 fahrenden Schiffsflotte zu reduzieren, zusammen. Die Breite der einzelnen Balken steht für das Potenzial dieser Maßnahme, CO₂-Emissionen der globalen Flotte im Vergleich zu einem Basisszenario zu verringern.

Die Höhe der einzelnen Balken entspricht den durchschnittlichen Grenzkosten der Vermeidung von 1 Tonne CO₂-Emissionen durch diese Maßnahme unter der Annahme, dass alle Maßnahmen auf der linken Seite bereits angewendet werden. Die in Abbildung 5 dargestellten Grenzkosten sind die durchschnittlichen Kosten für alle Schiffsarten. Der Graph ist von links nach rechts mit steigenden Kosten pro vermiedener Tonne CO₂ geordnet. Die Wirkung der verbleibenden Maßnahmen verringert sich, wenn eine Maßnahme durchgeführt wird, und die kostengünstigsten Maßnahmen werden zunächst implementiert. Wo die Balken die x-Achse kreuzen, beginnen die Maßnahmen, die Netto-Kosten statt Netto-Kostensenkung verursachen. Künftige Kohlenstoffkosten sind in der Abbildung nicht wiedergegeben, werden aber im Prinzip die Kosten-Wirksamkeit der Maßnahmen verbessern.“

Die MACC in **Abbildung 7** berücksichtigt als mögliche Maßnahme auch die Nutzung von Flüssig-Erdgas (LNG) und belegt diese mit positiven Grenzkosten.

Aus den aktuellen Arbeiten zur Zulassung von LNG in der Rheinschifffahrt ist bekannt, dass für Binnenschiffe großer Leistung, die rund um die Uhr eingesetzt werden, die Nutzung von LNG als Kraftstoff wahrscheinlich zu Kosteneinsparungen führen wird. Hingegen dürften – zumindest derzeit – für kleinere Schiffe in der Tagesfahrt die Investitionskosten für LNG-Systeme an Bord mögliche Einsparungen bei den Kraftstoffkosten übersteigen. In einem solchen Fall stellt sich die Frage der Berücksichtigung in einer MACC: Sollen nur die Anwendungsfälle dargestellt werden, die zu einer Kostenreduzierung führen – und damit in der Summe ein geringes Emissionsminderungspotential aufweisen – oder alle Anwendungsfälle, die dann in ihrer Summe positive Grenzkosten aufweisen? Die MACC in dem Beispiel zeigt auch nicht den vorstehend dargelegten Nutzen von LNG bei der Reduzierung von Luftschadstoffen und berücksichtigt auch nicht, wie schnell die Flotte umgestellt und damit der gewünschte Nutzen eintreten würde.

Vorstehende Ausführungen zeigen, dass MACC dazu verleiten können, Sachverhalte einfacher einzuschätzen als sie tatsächlich sind. Deshalb, und vor dem Hintergrund der großen Bedeutung, die MACC in den letzten Jahren erlangt haben, wurden sie ausgiebig kritisch untersucht. Aus diesen Untersuchungen ist insbesondere festzuhalten, dass die Modelle und Szenarien, auf denen eine MACC basiert, transparent gemacht werden müssen, damit die Nutzer der MACC nicht zu Fehlentscheidungen verleitet werden. Außerdem können die MACC nur ein, wenn auch wichtiges Werkzeug von mehreren sein, um bekannte Emissionsreduktionsoptionen zu analysieren. Zusätzliche Informationen über die Unsicherheiten der getroffenen Annahmen und die zeitliche Umsetzung der berücksichtigten Optionen sind ebenfalls notwendig wie auch über die gegenseitige Abhängigkeit der verschiedenen Optionen. (Elkins, Kesicki et al. 2011; Vogt-Schilb and Hallegatte 2011)

Vorstehende Feststellungen wären bei der Entwicklung und Nutzung einer MACC für die Binnenschifffahrt zu berücksichtigen. Für die Reduktionsmaßnahmen der Binnenschifffahrt ist dies vergleichsweise einfach, da die Zahl der praktisch relevanten Maßnahmen gering und die Implementierung der Maßnahmen zumindest weniger komplex ist als beispielsweise in der Seeschifffahrt. Mit anderen Worten, die Modelle und Szenarien, die einer MACC für die Binnenschifffahrt zugrunde gelegt würden, wären relativ überschaubar. Selbstverständlich müssten die dafür getroffenen Annahmen transparent gemacht werden. Erfahrungen aus der Erstellung von MACC für die Seeschifffahrt (Faber, Behrends et al. 2011) dürften entsprechende Arbeiten für die Binnenschifffahrt erleichtern.

Auch unter Berücksichtigung der kritischen Anmerkungen wird deutlich, dass es sowohl für Unternehmen wie auch Politikentscheider in vielfacher Hinsicht nützlich wäre, für die Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt eine MACC mit den dahinterliegenden Szenarien und Modellen zu entwickeln. Die umfangreichen Vorarbeiten zu den verschiedenen MACC der Seeschifffahrt und die Analysen in den vorhergehenden Abschnitten dieses Berichts würden dazu beitragen, dass der Aufwand dafür begrenzt wäre.

16.2 Barrieren der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen

Verschiedene Optionen oder Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen führen zu Kosteneinsparungen, werden jedoch nur im beschränkten Umfang vom Binnenschifffahrtssektor aufgegriffen. Es gibt also Barrieren, die die Umsetzung dieser Maßnahmen einschränken. Für die Seeschifffahrt liegen Untersuchungen (Faber, Behrends et al. 2011) vor, die diese Barrieren identifizieren. Nachfolgend werden mögliche Barrieren im Rahmen der Binnenschifffahrt und mögliche Wege zu deren Überwindung aufgezeigt.

Technologische Barrieren

Vielen Betroffenen, vor allem den Schiffseignern, sind nicht alle relevanten Technologien bekannt. Die begrenzte Verbreitung von Technologien kann auf die Struktur der europäischen Binnenschifffahrt zurückgeführt werden. Der europäische Binnenschifffahrtsmarkt ist sehr fragmentiert, obwohl die Binnenschifffahrt aufgrund ihres großen Anteils an grenzüberschreitenden Verkehren international ausgerichtet ist. Diese Fragmentierung resultiert überwiegend aus den sehr kleinteiligen Eigentumsstrukturen der Binnenschifffahrtsflotte.

Ähnlich fragmentiert ist die Schiffbau- und Ausrüstungsindustrie. Die Fragmentierung wird zudem überlagert von Sprachbarrieren in der europäischen Binnenschifffahrt. Technologien werden in einem Sprachraum entwickelt und eingeführt, bleiben aber in einem anderen Sprachraum weitgehend unbekannt.

Wenn eine Technologie entwickelt ist, werden Informationen darüber vom Lieferanten der Technologie bereitgestellt; unabhängige und damit als verlässlich angesehene Informationen über den Nutzen der Technologie in der betrieblichen Praxis fehlen oft. Schiffseigner und Finanzierungsinstitute könnten deshalb das Risiko, das mit einer Investition eingegangen wird, wegen der fehlenden Informationen größer einschätzen als es tatsächlich ist.

Es ist offensichtlich, dass technologische Barrieren in vielen Fällen durch verbesserte Transparenz überwunden werden können. Praktisch erreicht werden könnte dies durch Bereitstellung von relevanten Informationen an wenigen zentralen Stellen in verschiedenen Sprachen und durch einen gezielten Erfahrungsaustausch. Wünschenswert wäre zudem eine herstellerunabhängige Validierung der Nutzen der Technologien, zum Beispiel durch Erfahrungsberichte von Nutzern oder durch unabhängige Prüfinstitute.

Institutionelle Barrieren

Institutionelle Barrieren ergeben sich dann, wenn demjenigen, der die Kosten für kraftstoffsparende Investitionen trägt oder diese Investitionen vorschlägt, dadurch keine Vorteile, sondern allenfalls Nachteile entstehen. Schiffswerften, die kraftstoffsparende Technologien vorschlagen, könnten um Aufträge fürchten, da die von ihnen angebotenen Schiffe teurer sind und sich damit schlechter verkaufen lassen als solche von Werften, die diese Technologien nicht anbieten. Schiffseigner, die in kraftstoffsparende Technologien investieren, werden geringere Erlöse erzielen, wenn sie zwar die Einsparungen an Kraftstoffkosten an ihre Kunden durchreichen müssen, die höheren Investitionskosten ihnen jedoch von den Verladern nicht honoriert werden. Angestellte Schiffsführer dürften wenig Interesse daran haben, sich eine kraftstoffsparende Fahrweise anzueignen, da diese einerseits von ihnen mehr Aufmerksamkeit verlangt und eventuell zu längeren Fahrzeiten führt, die durch eine kraftstoffsparende Fahrweise andererseits aber den Schiffseignern zugutekommt. Wasserstraßenverwaltungen und Häfen, die Investitionen tätigen, um kraftstoffsparende Navigation zu unterstützen, haben keinen direkten Einfluss darauf, dass die von ihnen geschaffenen Möglichkeiten von den Schiffsführern angenommen werden.

Auch institutionelle Barrieren können überwunden, möglicherweise jedoch nicht so einfach, wie andere, was an zwei Beispielen aufgezeigt werden soll. Wenn Binnenschiffe ähnlich wie PKW oder Häuser hinsichtlich ihrer Kraftstoffeffizienz klassifiziert werden, würde dies den Wiederverkaufswert von Schiffen, die mit kraftstoffsparenden Technologien ausgestattet sind, steigern und dem Schiffseigner zumindest einen Teil der dafür von ihm getätigten Investitionen wieder einbringen. Wenn angestellte Schiffsführer Prämien erhalten, die sich an der Größe der von ihnen erzielten Kraftstoffeinsparungen orientieren, wären sie motiviert, sich kraftstoffsparende Fahrweisen anzueignen.

Finanzielle Barrieren

Finanzielle Barrieren verhindern die Bereitstellung von Finanzmitteln für Investitionen in kraftstoffsparende Technologien. Entscheidungsträger, Schiffeigner wie auch Finanzierungsinstitute, setzen möglicherweise künftige Kraftstoffkosten zu niedrig an und berücksichtigen nicht ausreichend, dass Kraftstoffe der Binnenschifffahrt sich über die Lebensdauer der Schiffe deutlich verteuern und kraftstoffsparende Investitionen dadurch lohnender werden. Ähnliches könnte für Manager von Wasserstraßen und Häfen zutreffen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass bedeutende Barrieren, die die Umsetzung von Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen behindern, tatsächlich existieren. Gleichmaßen ist festzustellen, dass Möglichkeiten bestehen, diese Barrieren abzubauen. Notwendig scheint, dass die Betroffenen zusammenkommen, die Barrieren identifizieren, analysieren anschließend Mechanismen zu deren Abbau ermitteln.

Für die meisten der Barrieren sollte dies mit einem geringen Aufwand möglich sein, da ein Großteil der Barrieren und mögliche Abhilfen bereits bekannt sind. Lediglich die institutionellen Barrieren scheinen umfangreiche Aktivitäten erforderlich zu machen.

17. Vorschläge für weiterführende Arbeiten

In diesem Abschnitt werden die Notwendigkeiten für weiterführende Arbeiten, die in dem Bericht aufgezeigt wurden, zusammengefasst, durch Vorschläge zum konkreten Vorgehen ergänzt und einer Bewertung unterzogen. Die ZKR kann – vor allem in Anbetracht ihrer derzeit sehr begrenzten Ressourcen – nur wenige dieser Arbeiten aktiv unterstützen. Daher wird sie sich auf solche Arbeiten konzentrieren wollen,

- bei denen sie über Daten oder Kenntnisse verfügt, die anderswo nicht in diesem Umfang oder dieser Qualität vorliegen,
- die der Entwicklung von Strategien und damit einer mittel- bis langfristigen Ausrichtung der Arbeiten der ZKR dienen,
- die notwendige Vorarbeiten darstellen für Maßnahmen anderer, insbesondere des Schifffahrtsgewerbes oder für spätere Arbeiten der ZKR selbst.

Dementsprechend sind nachstehend auch Arbeiten aufgeführt, an denen sich die ZKR nicht oder nur am Rande beteiligen sollte.

Im Rahmen der Bewertung wird auch der Aufwand, der von den an den vorgeschlagenen Arbeiten Beteiligten zu erbringen ist, grob abgeschätzt. Dieser wird den Kategorien gering, mittel und groß zugeordnet. Ein geringer Aufwand bedeutet, dass nur einige Personen beteiligt sind und diese jeweils nur wenige Arbeitstage zur Erledigung der Arbeiten benötigen. Ein hoher Aufwand bedeutet, dass komplexe Änderungen von Verordnungen oder vergleichbare Arbeiten erforderlich sind.

Keine der vorgeschlagenen weiterführenden Arbeiten beinhalten signifikante Investitionen. Auch aus den vorgeschlagenen ordnungsrechtlichen Maßnahmen ergibt sich keine zwingende Notwendigkeit für Investitionen. Vielmehr eröffnen die vorgeschlagenen Maßnahmen Wahlmöglichkeiten für die Schiffeigner, die derzeit nicht bestehen. Potenziell können sie sogar zu einer Kostenreduzierung für das Schifffahrtsgewerbe beitragen.

Die nachstehend aufgeführten Vorschläge können in verschiedener Weise genutzt werden. Sie können

- als Grundlage für Diskussionen zwischen den Beteiligten, insbesondere dem Schifffahrtsgewerbe und der Schiffbauindustrie dienen,

- zur Entwicklung einer Strategie der ZKR zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen in der Binnenschifffahrt genutzt werden,
- Elemente des Arbeitsprogramms der ZKR bilden.

17.1 Vorschläge für weiterführende Arbeiten zu deren Federführung die ZKR geeignet wäre

A. Ergänzender Bericht zur Fahrgastschifffahrt

| | |
|--------------------------|---|
| Inhalt | Ergänzung des vorliegenden Berichts um Spezifika der Fahrgastschifffahrt |
| Nutzen | Schaffung einer Grundlage zur Information aller Betroffener und für weitere Arbeiten |
| Aufwand | Da lediglich Ergänzung des vorliegenden Berichts mittlerer Aufwand |
| Risiken | Ungenauigkeiten notwendiger Abschätzungen; möglicherweise ausbleibende Angaben des Schifffahrtsgewerbes |
| Vorgehen | Vorbereitung durch Sekretariat der ZKR, Fertigstellung mit Schifffahrtsgewerbe |
| Geeignete Führung | ZKR (Sekretariat) |
| Evtl. Partner | EBU, ESO (Unternehmen des Schifffahrtsgewerbes), CESA |

B. Ergänzender Bericht zur Rheinschifffahrt

| | |
|-----------------|---|
| Inhalt | Darstellung der Besonderheiten der Rheinschifffahrt im Hinblick auf die Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen |
| Nutzen | Schaffung einer Grundlage zur gezielten Information der ZKR und ihrer Delegationen |
| Aufwand | Da lediglich Ergänzung des vorliegenden Berichts ohne zusätzliche Datenerhebung geringer Aufwand |
| Risiken | keine |
| Vorgehen | Erstellung durch ZKR (Sekretariat) |

C. Bestimmung des Carbon Footprint der Binnenschifffahrt

| | |
|--------------------------|---|
| Inhalt | Bestimmung der Treibhausgasemissionen der Rhein- und europäischen Binnenschifffahrt, sowohl absolut als auch bezogen auf Verkehrsleistung (tkm) |
| Nutzen | Schaffung einer abgestimmten Grundlage für eine Vielzahl von Arbeiten und dadurch Minimierung von Unsicherheiten, insbesondere hinsichtlich <ul style="list-style-type: none"> - politischer Zielsetzungen, - Emissionsrechner, - freiwilliger oder obligatorischer Angaben des Schifffahrtsgewerbes zu ihren Treibhausgasemissionen, - Berichtspflicht der Staaten nach dem Kyoto-Protokoll; Verifizierung des "grünen" Images der Binnenschifffahrt |
| Aufwand | Wegen bekannter und relativ einfacher Methodik sowie bereits teilweise vorliegenden statistischen Angaben aus der Marktbeobachtung mittlerer Aufwand |
| Risiken | Ungenauigkeiten notwendiger Abschätzungen; möglicherweise ausbleibende Angaben des Schifffahrtsgewerbes zu tatsächlichen Kraftstoffverbräuchen |
| Vorgehen | Vorbereitung durch Sekretariat der ZKR, Fertigstellung mit Schifffahrtsgewerbe |
| Geeignete Führung | ZKR (Sekretariat) |
| Evtl. Partner | Europäische Kommission, EBU, ESO (Unternehmen des Schifffahrtsgewerbes), VBW, INE |

D. Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs durch Auswertung von Daten des „Übereinkommens über die Sammlung, Abgabe und Annahme von Abfällen in der Rhein- und Binnenschifffahrt“ (CDNI)

| | |
|--------------------------|---|
| Inhalt | Durch Auswertung von Daten des CDNI Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs der Binnenschiffe, absolut und, sofern möglich, auch bezogen auf Verkehrsleistung (tkm) |
| Nutzen | Die genaue Kenntniss des Kraftstoffverbrauchs der Schiffe ermöglicht die Ermittlung der absoluten Schadstoff- und Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt wie auch die Ableitung von Emissionsfaktoren |
| Aufwand | Wegen wahrscheinlich einfacher Methodik relativ geringer Aufwand hinsichtlich des Kraftstoffverbrauchs; Verbindung zu Verkehrsleistung mittlerer Aufwand |
| Risiken | Ungenauigkeiten aufgrund von Abgrenzungsproblemen und wegen evtl. notwendiger Abschätzungen; möglicherweise nicht möglich, Verbindung zur Verkehrsleistung herzustellen |
| Vorgehen | Vorbereitung durch Sekretariat der ZKR, Fertigstellung mit Instrumenten/Organen des CDNI und evtl. dem Schifffahrtsgewerbe |
| Geeignete Führung | ZKR (Sekretariat) |
| Evtl. Partner | Organe des CDNI, EBU, ESO (Unternehmen des Schifffahrtsgewerbes) |

E. Anpassung der technischen Vorschriften für die Binnenschiffe im Hinblick auf die Zulassung von alternativen Energieträgern (Kraftstoffen)

| | |
|--------------------------|--|
| Inhalt | Anpassung der technischen Vorschriften für die Binnenschiffe im Hinblick auf die Zulassung von alternativen Energieträgern (Kraftstoffen) |
| Nutzen | Ermöglichung der Nutzung von anderen Energieträgern (Kraftstoffen) als Gasöl durch die Schifffahrtsunternehmen |
| Aufwand | Wegen umfangreichen Änderungen der technischen Vorschriften für Binnenschiffe hoher Aufwand |
| Risiken | Bestimmte alternative Energieträger (LNG, Wasserstoff) größeres Gefahrenpotential als Gasöl |
| Vorgehen | Auf Kraftstoffstrategie aufbauend Ausarbeitung von Vorschlägen zur Änderung der RheinSchUO und der Richtlinie 2006/87/EG; Ausstellung von Empfehlungen für Versuche / Ausnahmen; zunächst Änderungen der Vorschriften für elektrische Einrichtungen incl. Antriebe, danach für Zulassung von LNG, etc. |
| Geeignete Führung | ZKR (Arbeitsgruppe Untersuchungsordnung) |
| Evtl. Partner | Europäische Kommission, EBU, ESO, CESA, Euromot |

F. Grundsätzliche Prüfung einer verbindlichen Einführung des Energy Efficiency Design Index (EEDI) für die Binnenschifffahrt

| | |
|--------------------------|--|
| Inhalt | Grundsätzliche Prüfung einer verbindlichen Einführung des Energy Efficiency Design Index (EEDI) für die Binnenschifffahrt oder einer anderen Energieklassifizierung |
| Nutzen | Verbindliche Basis zur Feststellung, ob das Design eines Schiffneubaus energetisch günstig ist; erlaubt Schiffseignern ein Benchmarking |
| Aufwand | Energy Efficiency Design Index (EEDI) bereits als "CO ₂ -Design-Index" für die Seeschifffahrt entwickelt und von der IMO im Juli dieses Jahres als verbindliche Maßnahme zur Reduzierung der CO ₂ -Emissionen der Seeschifffahrt angenommen; könnte prinzipiell auch für die Binnenschifffahrt genutzt werden; da nur Prüfung der Eignung ist Aufwand gering |
| Risiken | Kein Risiko, da zunächst nur Prüfung der Eignung |
| Vorgehen | Anhörung der Klassifikationsgesellschaften, die Index maßgeblich entwickelt haben und anwenden, Schiffswerften und Schiffseigner; danach Ausarbeitung eines Vorschlags für eine grundsätzliche Entscheidung und das mögliche weitere Vorgehen (Einführung einer Klassifizierung nach eventueller positiver Entscheidung) |
| Geeignete Führung | ZKR (Arbeitsgruppe Untersuchungsordnung) |
| Evtl. Partner | Europäische Kommission, EBU, ESO, IACS, CESA, |

G. Grundsätzliche Prüfung eines verbindlichen Standards des Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) für die Binnenschifffahrt

| | |
|--------------------------|--|
| Inhalt | Grundsätzliche Prüfung eines verbindlichen Standards des Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) für die Binnenschifffahrt |
| Nutzen | Verlässliche Basis zur Feststellung, ob ein Schiff energieeffizient betrieben wird; erlaubt Schiffseignern ein Benchmarking |
| Aufwand | Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) für die Seeschifffahrt entwickelt und vorläufige Richtlinien dafür von der IMO verabschiedet; könnte prinzipiell auch für die Binnenschifffahrt genutzt werden; da nur Prüfung der Eignung ist Aufwand gering |
| Risiken | Kein Risiko, da zunächst nur Prüfung der Eignung |
| Vorgehen | Anhörung der Klassifikationsgesellschaften, die Index maßgeblich entwickelt haben und anwenden, Schiffswerften und Schiffseigner; danach Ausarbeitung eines Vorschlags für eine grundsätzliche Entscheidung und das mögliche weitere Vorgehen (Einführung des Standards nach eventueller positiver Entscheidung) |
| Geeignete Führung | ZKR (Arbeitsgruppe Untersuchungsordnung) |
| Evtl. Partner | Europäische Kommission, EBU, ESO, IACS, CESA, |

H. Grundsätzliche Prüfung, welche weiteren bedeutenden Maßnahmen die ZKR ergreifen kann, die zu einer Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen von Binnenschiffen führen

| | |
|--------------------------|---|
| Inhalt | Grundsätzliche Prüfung, welche weiteren bedeutenden Maßnahmen die ZKR ergreifen kann, die zu einer Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen von Binnenschiffen führen |
| Nutzen | Neben den bereits im Einzelnen genannten, sind weitere mögliche Maßnahmen bekannt oder denkbar; darunter fallen auch Maßnahmen, die nicht nur die Emissionen von CO ₂ , sondern auch von Schadstoffen reduzieren, was ein wichtiges Ziel der ZKR ist |
| Aufwand | Abhängig von der Anzahl der zu prüfenden Maßnahmen; da nur grundsätzliche Prüfung ist allenfalls ein mittlerer Aufwand zu erwarten |
| Risiken | Keine signifikanten Risiken |
| Vorgehen | Vorauswahl durch Sekretariat der ZKR, Ausarbeitung mit einschlägigen Wirtschaftsverbänden |
| Geeignete Führung | ZKR (Arbeitsgruppe Untersuchungsordnung) |
| Evtl. Partner | EBU, ESO, CESA, Euromot, IACS |

I. Erarbeitung von Szenarien zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt

| | |
|--------------------------|--|
| Inhalt | Erarbeitung von Szenarien zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt |
| Nutzen | Die Szenarien sind ein effektives Werkzeug für die Entwicklung von Klimaschutzzielen, von Strategien wie etwa zu den künftigen Binnenschifffahrtskraftstoffen und von Programmen für eine klimafreundliche Binnenschifffahrt |
| Aufwand | Abhängig von der Detaillierung und der Anzahl der Szenarien; wenn das vorliegende Rechenmodell genutzt oder nur geringfügig erweitert wird relativ geringer Aufwand |
| Risiken | Ungenauigkeiten notwendiger Abschätzungen |
| Vorgehen | Vorbereitung durch Sekretariat der ZKR, Fertigstellung mit Schifffahrtsgewerbe |
| Geeignete Führung | ZKR (Sekretariat) |
| Evtl. Partner | Europäische Kommission, EBU, ESO (Unternehmen des Schifffahrtsgewerbes), CESA, INE |

J. Bereitstellung relevanter Informationen für den Binnenschifffahrtssektor

| | |
|--------------------------|--|
| Inhalt | Anwenderfreundliche Bereitstellung umfassender relevanter Informationen zu den wichtigsten Aspekten der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt und deren Reduzierung |
| Nutzen | Überwindung einer der wesentlichen Barrieren, die die Umsetzung von Maßnahmen durch Schifffahrtsgewerbe und Andere behindern |
| Aufwand | Wegen umfangreicher Vorarbeiten geringer Aufwand |
| Risiken | Unzureichende Akzeptanz der Informationsinstrumente |
| Vorgehen | Herausgabe einer mehrsprachigen Broschüre; Aufbau einer mehrsprachigen Webseite als Informationsplattform; Erstellen einer anwenderorientierten und mehrsprachigen Datenbank zu den betrieblichen und schiffstechnischen Möglichkeiten der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen |
| Geeignete Führung | ZKR (Sekretariat) |
| Evtl. Partner | EBU, ESO, CESA, Euromot, IACS, INE, Europäische Kommission |

17.2 Vorschläge für weiterführende Arbeiten unter Federführung der ZKR oder anderer Institutionen

K. Entwicklung von quantitativen Zielen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt

| | |
|--------------------------|---|
| Inhalt | Entwicklung von quantitativen Zielen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt |
| Nutzen | Ausrichtung der politischen, wirtschaftlichen, technischen und anderer Prozesse; Schaffung einer abgestimmten Grundlage für eine Vielzahl von Arbeiten und dadurch Minimierung von Unsicherheiten; Beitrag zum Erhalt des „grünen“ Images der Binnenschifffahrt |
| Aufwand | Wegen bedeutender Vorarbeiten (OECD, Europäische Kommission, INE/EBU/ESO, vorliegender Bericht) relativ gering |
| Risiken | Unvollständige Kenntnisse der aktuellen Emissionen, der Emissionsminderungsmöglichkeiten sowie der wirtschaftlichen Gesamtentwicklung; abweichende nationale Zielsetzungen |
| Vorgehen | Zielsetzung der Europäischen Kommission und des Schifffahrtsgewerbes prüfen und konkretisieren; Ausarbeitung eines gemeinsamen Vorschlags |
| Geeignete Führung | ZKR oder Europäische Kommission |
| Evtl. Partner | Europäische Kommission, EBU, ESO, INE |

L. Ausarbeitung einer verkehrsträger- und grenzüberschreitenden Strategie für die künftigen Energieträger (Kraftstoffe) oder ersatzweise einer Kraftstoffstrategie für die Binnenschifffahrt

| | |
|--------------------------|--|
| Inhalt | Ausarbeitung einer Strategie für die künftigen Energieträger (Treibstoffe der Binnenschifffahrt) im Hinblick auf die Reduzierung der Treibhausgasemissionen und der Versorgungssicherheit |
| Nutzen | Ausrichtung der wirtschaftlichen, technischen und anderer Prozesse; Schaffung einer abgestimmten Grundlage für andere Arbeiten, wie die der technischen Vorschriften für Binnenschiffe, und dadurch Minimierung von Unsicherheiten; Beitrag zum Erhalt des "grünen" Images der Binnenschifffahrt |
| Aufwand | Wegen bedeutender Vorarbeiten (Europäische Kommission, Industrieverbände, vorliegender Bericht) relativ gering |
| Risiken | Begrenzte Kenntnisse über mittel- und langfristige Entwicklung der Märkte sowie der wirtschaftlichen Gesamtentwicklung; mögliche abweichende nationale Zielsetzungen |
| Vorgehen | Nach Vorliegen der angekündigten Strategie der Europäischen Kommission und der der Staaten diese prüfen und bei Bedarf um die Bedürfnisse der Binnenschifffahrt ergänzen |
| Geeignete Führung | Europäische Kommission, ersatzweise ZKR |
| Evtl. Partner | Europäische Kommission, EBU, ESO, CESA, Euromot, CONCAWE/EUROPIA. INE |

M. Europaweite Einführung eines einheitlichen Umweltzeichens für die Binnenschifffahrt

| | |
|--------------------------|---|
| Inhalt | Europaweite Einführung eines einheitlichen Umweltzeichens für die Binnenschifffahrt, gleich oder ähnlich dem in den Niederlanden bekannten Green Award |
| Nutzen | Förderung des Aufgreifens von Maßnahmen des Binnenschifffahrtsgewerbes zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen und zum Umweltschutz |
| Aufwand | Zur Ausarbeitung des Umweltzeichens geringer Aufwand, da bereits umfangreiche Vorarbeiten und Erfahrungen; Aufwand für einzelne Nutzer gering; für die flächendeckenden Einführung insgesamt hoher Aufwand, da potentiell sehr viel Beteiligte |
| Risiken | Geringe Akzeptanz durch Stellen, die Schiffe mit Umweltzeichen honorieren können, wie Häfen, Verlader, Finanzierungsinstitute |
| Vorgehen | Grundsätzlich Übernahme des niederländischen Green Award Systems durch entsprechende Institutionen anderer Staaten oder Aufbau eines grenzüberschreitenden Systems; Internationale Standardisierung (Bewertungskriterien etc.) durch ZKR möglich |
| Geeignete Führung | INE, VBW, (ZKR – sofern sich keine andere Institution finden lässt) |
| Evtl. Partner | EBU, ESO, EFIP, nationale Wasserstraßenverwaltungen |

N. Unterstützung einer europaweiten Einführung eines Förderprogramms zum energiesparenden Betrieb von Binnenschiffen (Smart Steaming)

| | |
|--------------------------|--|
| Inhalt | Europaweite Einführung eines Förderprogramms zum energiesparenden Betrieb von Binnenschiffen, gleich oder ähnlich dem in den Niederlanden bekannten Programm Smart Steaming |
| Nutzen | Förderung des energiesparenden Betriebs von Binnenschiffen als zentrales Element zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen und zum Umweltschutz |
| Aufwand | Ausarbeitung des Programms mittlerer Aufwand, da einerseits bereits umfangreiche Vorarbeiten und Erfahrungen, andererseits aber Bündel verschiedener Maßnahmen; Aufwand für einzelne Nutzer gering; für die Einführung auf nationaler Ebene hoch |
| Risiken | Geringe Akzeptanz durch Schifffahrtsgewerbe; niederländische Erfahrungen lassen jedoch große Akzeptanz erwarten |
| Vorgehen | Grundsätzlich Übernahme des niederländischen Programms durch entsprechende Institutionen anderer Staaten oder Aufbau eines grenzüberschreitenden Programms; Informations- und Erfahrungsaustausch für nationale Stellen durch ZKR möglich |
| Geeignete Führung | Staaten, INE (ersatzweise ZKR – sofern internationales Programm gewünscht) |
| Evtl. Partner | EBU, ESO, nationale Verwaltungen |

17.3 Vorschläge für weiterführende Arbeiten ohne oder allenfalls mit geringer Beteiligung der ZKR

O. Entwicklung von Maßnahmen an Wasserstraßen und Häfen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt

| | |
|--------------------------|---|
| Inhalt | Entwicklung von Maßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt, die nicht Bau, Ausrüstung und Betrieb der Schiffe betreffen |
| Nutzen | Reduzierung der Treibhausgasemissionen des Gesamtsystems |
| Aufwand | Abhängig vom Detaillierungsgrad; mittel bis hoch |
| Risiken | Beschränkte Möglichkeit der Verallgemeinerung der vorgeschlagenen Maßnahmen und/oder der Darstellung der Reduktionspotentiale |
| Vorgehen | Mandatserweiterung der bestehende PIANC Permanent Task Group on Climate Change |
| Geeignete Führung | PIANC |
| Evtl. Partner | EFIP, EBU, ESO, VBW, nationale Wasserstraßenverwaltungen |

P. Entwicklung von Qualitätsstandards für die künftigen Energieträger (Kraftstoffe) der Binnenschifffahrt

| | |
|--------------------------|---|
| Inhalt | Entwicklung von Qualitätsstandards für die künftigen Energieträger (Kraftstoffe) der Binnenschifffahrt |
| Nutzen | Voraussetzung für einen sicheren Betrieb der Schiffsmotoren und insbesondere von komplexen Abgasnachbehandlungsanlagen bei Verwendung der betreffenden Energieträger (Kraftstoffe) |
| Aufwand | Für einzelne Energieträger (Kraftstoffe) gering bis mittel, da Standards anderer Wirtschaftsbereiche zumindest teilweise übernommen werden können; in der Gesamtheit aller Energieträger hoch |
| Risiken | Erschwerte Einigung wegen Vielzahl von Betroffenen mit teilweise sehr unterschiedlichen Interessen |
| Vorgehen | Schrittweise für einzelne Energieträger (Kraftstoffe) |
| Geeignete Führung | Industrie oder Europäische Kommission; allenfalls Initiierung oder Moderation der Arbeiten durch die ZKR |
| Evtl. Partner | Europäische Kommission, EBU, ESO, CESA, Euromot, CONCAWE/EUROPIA |

Q. Untersuchung des CO₂-Reduktionspotentials bei der Nutzung von LNG und anderer alternativer Energieträger (Kraftstoffe) in der Binnenschifffahrt

| | |
|--------------------------|--|
| Inhalt | Untersuchung des CO ₂ -Reduktionspotentials bei der Nutzung von LNG und anderer alternativer Energieträger (Kraftstoffe) in der Binnenschifffahrt |
| Nutzen | Konzentration auf Energieträger (Kraftstoffe), die tatsächlich nennenswert zu einer Reduzierung der CO ₂ -Emissionen der Binnenschifffahrt beitragen können; Vermeidung von kontraproduktiven Entwicklungen |
| Aufwand | Für einzelne Energieträger (Kraftstoffe) gering bis mittel, da Untersuchungen anderer Verkehrsbereiche zumindest teilweise übernommen werden können; in der Gesamtheit aller Energieträger hoch |
| Risiken | Erschwerte Einigung wegen Vielzahl von Betroffenen mit teilweise sehr unterschiedlichen Interessen |
| Vorgehen | Schrittweise für einzelne Energieträger (Kraftstoffe) |
| Geeignete Führung | Europäische Kommission, Mitgliedstaaten; ZKR könnte allenfalls Untersuchungen, die im Auftrag der Europäischen Kommission und der Mitgliedstaaten sowie der Industrie durchgeführt werden, zusammenstellen (Beobachtungsstelle des ZKR-Sekretariats) |
| Evtl. Partner | Forschungsinstitute |

R. Weiterführende Untersuchungen zu schiffstechnischen Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen von Binnenschiffen

| | |
|--------------------------|--|
| Inhalt | Weiterführende Untersuchungen zu schiffstechnischen Maßnahmen einschließlich des Schiffsantriebs zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO ₂ -Emissionen von Binnenschiffen, insbesondere hinsichtlich ihrer Implementierung |
| Nutzen | Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO ₂ -Emissionen der Binnenschifffahrt |
| Aufwand | Unterschiedlich für die einzelnen Maßnahmen; insbesondere für Untersuchungen von Antrieben für alternative Energieträger hoch |
| Risiken | Untersuchung von Maßnahmen mit geringen Aussichten für praktische Nutzung |
| Vorgehen | Schrittweise für einzelne Maßnahmen |
| Geeignete Führung | Europäische Kommission, Mitgliedstaaten; ZKR könnte allenfalls Untersuchungen, die im Auftrag der Europäischen Kommission und der Mitgliedstaaten sowie der Industrie durchgeführt werden, zusammenstellen (Beobachtungsstelle des ZKR-Sekretariats) |
| Evtl. Partner | Forschungsinstitute |

S. Weiterführende Untersuchungen zu betriebliche Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen von Binnenschiffen

| | |
|--------------------------|--|
| Inhalt | Weiterführende Untersuchungen zu betrieblichen Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO ₂ -Emissionen von Binnenschiffen, insbesondere hinsichtlich ihrer Implementierung |
| Nutzen | Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO ₂ -Emissionen der Binnenschifffahrt |
| Aufwand | Unterschiedlich für die einzelnen Maßnahmen; insgesamt gering bis mittel |
| Risiken | Untersuchung von Maßnahmen mit geringen Aussichten für praktische Nutzung |
| Vorgehen | Schrittweise für einzelne Maßnahmen |
| Geeignete Führung | Europäische Kommission, Mitgliedstaaten; ZKR könnte allenfalls Untersuchungen, die im Auftrag der Europäischen Kommission und der Mitgliedstaaten sowie der Industrie durchgeführt werden, zusammenstellen (Beobachtungsstelle des ZKR-Sekretariats) |
| Evtl. Partner | Forschungsinstitute |

T. Bestimmung der Reduzierung des Kraftstoffs aufgrund der zunehmenden durchschnittlichen Tragfähigkeit der Binnenschiffe

| | |
|--------------------------|---|
| Inhalt | Bestimmung der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen der Rhein- und europäischen Binnenschifffahrt als Folge der Zunahme der durchschnittlichen Tragfähigkeit der Binnenschiffe, absolut als auch bezogen auf Verkehrsleistung (tkm) |
| Nutzen | Die Vergrößerung der durchschnittlichen Tragfähigkeit (Größe) ist eine wichtige Entwicklung zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO ₂ -Emissionen der Binnenschifffahrt und damit von entscheidender Bedeutung für die Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO ₂ -Emissionen der Binnenschifffahrt; genauere Kenntnisse darüber unterstützen unter anderem politische Zielsetzungen |
| Aufwand | Wegen wahrscheinlich einfacher Methodik sowie bereits teilweise vorliegenden statistischen Angaben aus der Marktbeobachtung relativ geringer Aufwand |
| Risiken | Ungenauigkeiten notwendiger Abschätzungen; möglicherweise ausbleibende Angaben des Schifffahrtsgewerbes zu tatsächlichen Flottenentwicklungen |
| Vorgehen | Initiierung durch nationale Verwaltungen |
| Geeignete Führung | Nationale Verwaltungen |
| Evtl. Partner | EBU, ESO (Unternehmen des Schifffahrtsgewerbes), VBW |

Treibhausgasemissionen (THG-Emission) der Binnenschifffahrt – andere Emissionen als die aus dem Schiffsbetrieb

Wissenslücken in Bezug auf bestimmte Aspekte der THG-Emissionen der Binnenschifffahrt

Das EU-Forschungsprojekt *EU Transport GHG: Routes to 2050 I*²⁹ befasst sich – unter anderem – mit den THG-Emissionen der Binnenschifffahrt, die nicht aus dem Schiffsbetrieb resultieren. Es zeigt, dass es enorme Wissenslücken in Bezug auf diese Emissionen gibt.

Umfang der möglichen Aktivität

Das Ziel der Aktivität ist es, in einem ausreichenden Umfang Verständnis und Werkzeuge zu entwickeln, um die THG-Emissionen aus der gesamten Binnenschifffahrt zu bestimmen. Mit diesen Werkzeugen sollte es möglich sein, die THG-Emissionen für alle Phasen des Lebenszyklus von Wasserstraßen, Binnenhäfen / Terminals und Schiffen abzuschätzen.

Der mögliche Umfang der Aktivität, die einzelnen Aufgaben und die wichtigsten Beteiligten sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

| | | Bau | Betrieb | Instandhaltung | Rückbau / Verschrottung |
|--------------------------|---|--|-------------------------|--|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Wasserstraße | A | Wasserstraßenverwaltung | Wasserstraßenverwaltung | Wasserstraßenverwaltung | Wasserstraßenverwaltung |
| Häfen / Terminals | B | Wasserstraßenverwaltung, Hafenverwaltung / betreiber | Hafenbetreiber | Hafenverwaltung / betreiber, Wasserstraßenverwaltung | Wasserstraßenverwaltung, Hafenverwaltung / betreiber |
| Schiffe | C | Schiffbauer | Schiffseigner | Schiffbauer / Schiffseigner | Schiffbauer |

Im Hinblick auf die Wasserstraßen ist es nicht notwendig, Aspekte der Wasserwirtschaft, die nicht mit der Schifffahrt im Zusammenhang stehen, in die vorgesehene Aktivität einzubeziehen. Für PIANC kann es von Interesse sein, auch die Sportschifffahrt zu berücksichtigen. Das ist jedoch nicht so für das EU-Forschungsprojekt, da dieses auf den Transport beschränkt ist.

Für die Häfen / Terminals müssen nur wasserseitige Aktivitäten berücksichtigt werden, z. B. Be- und Entladen von Schiffen, einschließlich der notwendigen Infrastruktur und Ausrüstung. (Alle anderen Hafenaktivitäten sind Schiene oder Straße und separaten logistischen Aktivitäten zuzuordnen.)

Während offensichtlich PIANC-Mitglieder am ehesten in der Lage sein werden, die notwendigen Kenntnisse für die Aufgaben im Zusammenhang mit den Wasserstraßen zu generieren, würde PIANC für alle anderen Aufgaben sehr stark von Beiträgen aus der jeweiligen Branche (Verbände) abhängen.

²⁹ www.eustransportghg2050.eu

Der Umfang der Aktivität ist groß und deshalb ist es notwendig Prioritäten zu setzen. Die nebenstehende Tabelle gibt Prioritäten für die verschiedenen Aufgaben wieder. Die Prioritäten sind den einzelnen Aufgaben entsprechend ihrem angenommenen Anteil an den gesamten THG-Emissionen der Binnenschifffahrt zugeordnet.

| Priorität | | Aufgabe |
|-----------|-----|--------------------|
| hoch | I | A2, A3, B2, B3, C2 |
| mittel | II | A1, B1, C1, |
| niedrig | III | A4, B4, C3, C4 |

Aufbau der möglichen PIANC Aktivität

Da der Umfang der Tätigkeit groß ist, scheint es sinnvoll, Arbeitspakete zusammenzustellen, wobei die verschiedenen Beteiligten und die oben genannten Prioritäten zu berücksichtigen sind.

WP1.1: A2+A3, WP1.2: B2+B3; WP2.1: A1+A4, WP2.2: B1+B4, WP2.3: C1+C3+C4

Kein Arbeitspaket ist für die Emissionen aus dem Betrieb der Binnenschiffe erforderlich, da diese Aufgabe bereits mit diesem Bericht von der ZKR abgedeckt wird.

Die Aktivität würde die Klassifizierung von Objekten für jede Aufgabe erfordern. Offensichtlich würden Schiffe entsprechend ihrer Art und Größe eingeteilt werden. Ähnliche Kategorien müssten für die Wasserstraßen und Häfen / Terminals entwickelt werden.

Inputs und Outputs

Es scheint unwahrscheinlich, dass ein deduktiver Ansatz gefunden werden kann, um das notwendige Wissen zu generieren. Vielmehr müssen reale Daten über die THG-Emissionen und den Energieverbrauch gesammelt werden. Informationen über die Energie- oder CO₂-Intensität für die Herstellung von Baumaterial werden auch notwendig sein.

Zumindest für den Augenblick ist es nicht möglich, genaue Zahlen für die THG-Emissionen des Verkehrs zu entwickeln. Dies gilt auch für die Binnenschifffahrt. Darüber hinaus produziert die Binnenschifffahrt in absoluten Zahlen deutlich weniger Treibhausgasemissionen als die Straße oder die Schiene. Daher werden nicht exakte Berechnungen, sondern ausreichende Kenntnisse, die fundierte Abschätzungen der Emissionen erlauben, der gewünschte Output der Aktivität sein.

Es ist zu erwarten, dass der Betrieb der Schiffe die Hauptquelle der THG-Emissionen in der Binnenschifffahrt darstellt. Die Aktivität sollte das Ausmaß der THG-Emissionen der anderen Aufgaben im Vergleich zu den THG-Emissionen aus dem Schiffsbetrieb etablieren. Wenn nachgewiesen werden kann, dass die THG-Emissionen von einigen der anderen Aufgaben nur wenige Prozentpunkte der Emissionen des Schiffsbetriebs darstellen, besteht für diese Aufgaben keine Notwendigkeit für eine gründliche Prüfung.

Im Idealfall wären Werte für Emissionskoeffizienten oder die Emissionsintensität, wie Gramm CO₂ pro Tonnenkilometer, eines der wichtigsten Ergebnisse der Aktivität. Dies würde eine einfache und allgemeine Anwendung der Ergebnisse der Arbeit ermöglichen. Die Werte dieser Koeffizienten würden als Bereich wahrscheinlicher Werte angegeben, da genaue Zahlenwerte weder möglich sind noch wirklich gebraucht werden.

Die Entwicklung der Emissionskoeffizienten erfordert ein fundiertes Verständnis der Faktoren, die die THG-Emissionen für jede Aufgabe bestimmen. Die Entwicklung dieses Verständnis und seine Beschreibung in einer Weise, die verständlich für Entscheider in allen Bereichen der Binnenschifffahrt, einschließlich des Betriebsmanagements und der Politikentwicklung ist, werden die anderen wichtigen Ergebnis der Aktivität sein.

**Ziele der Mitgliedstaaten der ZKR
zur Senkung der anthropogenen Treibhausgasemissionen**

Tabelle 4: Ziele der Mitgliedstaaten der ZKR zur Senkung der anthropogenen Treibhausgasemissionen für alle Sektoren und für den Verkehr

| Land | Klimaschutzziele | | Quellen |
|-------------|--|---|--|
| | Alle Sektoren | Verkehr | |
| Belgien | Ziel außerhalb des Emissions Trading System: Senkung der Treibhausgasemissionen um 15% bis 2020 gegenüber 2005 (mit linearem Senkungspfad) | Noch in Vorbereitung | EU-Entscheidung (Effort Sharing Decision) |
| Deutschland | Senkung der Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40 %, bis 2030 um 55 %, bis 2040 um 70 % und bis 2050 um 80-95 % (jeweils gegenüber 1990) | Rückgang des Endenergieverbrauchs bis 2020 um rund 10 % und bis 2050 um rund 40 % (gegenüber 2005) | Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung (BMWi 2010) |
| Frankreich | Senkung der Treibhausgasemissionen bis 2020 um 23 % und bis 2050 um 75 % (jeweils gegenüber 1990) | Rückkehr zum Treibhausgas-Emissionsniveau von 1990 bis 2020 (nach einem Anstieg um 19 % zwischen 1990 und 2004), zusätzliche Senkung um 65 % bis 2050 | Französischer Klimaplan, Aktualisierung 2011 Klima- und Energieeffizienzpolitik Zusammenfassung der Verpflichtungszusagen und Ergebnisse Frankreichs, 2011 |
| Niederlande | Senkung der Treibhausgasemissionen bis 2020 um 20 % (gegenüber 1990). Bis 2030 konditionales Ziel von - 40 %. | Das Ziel der Senkung um 20 % kann allgemein in einen Ausstoß von max. 35,5 Mio. Tonnen im Jahr 2020 umgesetzt werden. Noch kein sektorales Ziel bis 2030. Bis 2050 wird von - 60 % ausgegangen. | Regierungsstrategie Klimapolitik bis 2020 (Juni 2011). Klimabrief 2050 (18. November 2011). |
| Schweiz | Senkung der Treibhausgasemissionen bis 2020 um 20 %, (gegenüber 1990) | Sektorielle Ziele werden im Rahmen der Ausführungsverordnung festgelegt. Diese ging im Mai 2012 in die Vernehmlassung. Sektorielle Ziele können erst genannt werden, wenn die Verordnung vom Bundesrat in Kraft gesetzt worden ist. | Bundesgesetz vom 23. Dezember 2011 über die Reduktion der CO ₂ -Emissionen (CO ₂ -Gesetz) vom |

Bestimmung des „Carbon footprint“ und der spezifischen CO₂-Emissionen (CO₂-Intensität) der Binnenschifffahrt

Die CO₂-Intensität eines Verkehrsträgers kann durch die CO₂-Emissionen bezogen auf die Verkehrsleistung, überwiegend in g/tkm, aber zum Beispiel auch in g/TEUkm, dargestellt werden. Häufig wird dieses Verhältnis auch als CO₂-Emissionsfaktor bezeichnet. Die CO₂-Emissionen resultieren aus der Verbrennung von Gasöl, welches in der Binnenschifffahrt fast ausnahmslos als Kraftstoff verwendet wird. Aufgrund der bei der Verbrennung ablaufenden chemischen Prozesse ergibt sich dabei ein konstantes Verhältnis zwischen der Menge des verbrannten Kraftstoffes und der erzeugten CO₂-Emissionen. Dieses ist grundsätzlich unabhängig vom Alter oder Fabrikat des Motors.

Grundlage der Bestimmung der CO₂-Intensität ist daher in jedem Fall die Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs eines Schiffes oder einer Flotte bezogen auf die erbrachte Verkehrsleistung.

In den in der **Tabelle 5** aufgeführten Studien und Verfahren wird grundsätzlich ein **theoretischer Ansatz zur Bestimmung der CO₂-Intensität** genutzt. Unter Berücksichtigung von mehr oder weniger Parametern wird der durchschnittliche Energieverbrauch für bestimmte Schiffe oder ganze Flotten bestimmt und dann zu Verkehrsleistungen, die diese Schiffe oder Flotten erbringen (können), ins Verhältnis gesetzt.

Tabelle 5: Ausgewählte Studien, in denen Werte der CO₂-Intensität (CO₂-Emissionsfaktoren) für die Binnenschifffahrt bestimmt werden

| Studie/Verfahren | Datum der Publikation | Zusätzliche Information | Einbeziehung Vorkette |
|---|-----------------------|--|-----------------------|
| INFRAS; <i>External Costs of Transport, Update Study</i> (Schreyer, Schneider et al. 2004) | 2004 | Unsichere Datenlage; weitgehende Vereinfachungen | Ja |
| Haskoning; Schilperoord, H.A., <i>Binnenvaart voortdurend duurzaam – Environmental Performance of Inland Shipping</i> (Schilperoord 2004) | 2004 | Verschiedene Emissionsfaktoren für verschiedene Schiffstypen (Schiffsabmessungen) und Transportaufgaben | nein |
| ADEME/VNF; <i>Etude sur le niveau de consommation de carburant des unites fluviales francaises</i> (ADEME 2006) | 2006 | Bestimmung Kraftstoffverbrauch anhand Befragung Schiffsführer / Reedereien | nein |
| PLANCO; <i>Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Bahn und Wasserstraße</i> (PLANCO 2007) | 2007 | Verschiedene Emissionsfaktoren für verschiedene Schiffstypen (Schiffsabmessungen) und Transportaufgaben | Ja |
| DST; <i>Strömungstechnische Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen von Binnenschiffen</i> (Zöllner 2009) | 2009 | Verschiedene Emissionsfaktoren für verschiedene Schiffstypen (Schiffsabmessungen) bei Standardrandbedingungen | nein |
| TTI; <i>A Modal Comparison of Domestic Freight Transportation – Effects on the General Public</i> (Kruse, Protopapas et al. 2009) | 2009 | Durchschnittswert für Binnenschifffahrt in den USA; Berechnungsmodell wurde mit tatsächlichen Transportleistungen und Kraftstoffverbräuchen verifiziert. | |

| Studie/Verfahren | Datum der Publikation | Zusätzliche Information | Einbeziehung Vorkette |
|---|-----------------------|--|-----------------------|
| Gent University; <i>Improving the efficiency of small inland vessels</i> (Geerts, Verwerf et al. 2010) | 2010 | Durchschnittswert für 3 Schiffsklassen; Berücksichtigung der Verkehrsleistung für verschiedene Wasserstraßenklassen | nein |
| IFEU/TREMODO; <i>Fortschreibung und Erweiterung "Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030</i> (TREMODO, Version 5) Endbericht (Knörr 2010) | 2010 | Undifferenzierte Grobabschätzung | Ja |
| CEFIC; Measuring and Managing CO2 Emissions of European Chemical Transport; Alan McKinnon, Maja Piecyk (McKinnon and Piecyk 2010) | 2010 | Basierend auf Emissionsfaktoren, die von INFRAS, TRENDS, Tremove und IFEU publiziert wurden; nur <u>ein</u> Durchschnittswert | Ja |
| Seine-Schelde Study; External and infrastructure costs of freight transport Paris-Amsterdam corridor (Schroten, van Essen et al. 2010) | 2010 | Verschiedene Emissionsfaktoren für verschiedene Schiffstypen (Schiffsabmessungen) und Transportaufgaben; sehr differenziert; Emissionsdaten entsprechen in etwa STREAM | |
| EcoTransIT World; Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transports; Methodology and Data (IFEU 2011) | 2010 | Geringe Differenzierung hinsichtlich Schiffstypen und Wasserstraßen | Ja |
| STREAM; STREAM International Freight 2011 – Comparison of various transport modes on a EU scale with the STREAM database (den Boer, Otten et al. 2011) | 2011 | Verschiedene Emissionsfaktoren für verschiedene Schiffstypen (Schiffsabmessungen) und Transportaufgaben; sehr differenziert | Ja |
| Marco Polo; External cost calculator for Marco Polo freight transport project proposals (Brons and Christidis 2011) | 2011 | Verschiedene Emissionsfaktoren für drei Größenklassen (schiffstypenunabhängig) und einen Mittelwert | Ja |
| NEA; Medium and Long Term Perspectives of IWT in the European Union (NEA, Planco et al. 2012) | 2012 | Emissionsdaten aus STREAM | Ja |

In einem in diesem Zusammenhang interessanten Projekt wurde der Energieverbrauch für Binnenschiffstypen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und anderen relevanten Parametern theoretisch ermittelt und dann mit realen Verbrauchsdaten von einigen wenigen Schiffen abgeglichen (Georgakaki and Sorenson 2004). Sofern die jeweiligen Parameter einschließlich der Geschwindigkeit bekannt sind, kann mit Hilfe der Daten aus diesem Projekt der jeweilige Energieverbrauch ermittelt und in CO₂-Emissionen umgerechnet werden. Diese Studie enthält jedoch keine CO₂-Emissionsfaktoren.

Die zuverlässigste und scheinbar einfachste **Methode zur Bestimmung CO₂-Intensität** wäre, **in der Praxis** den Kraftstoffverbrauch eines Schiffes oder einer Flotte zu messen und in Relation zu der von diesem Schiff oder dieser Flotte im Untersuchungszeitraum erbrachten Verkehrsleistung zu setzen. Diese Methode birgt jedoch grundsätzliche Probleme:

- Bei der Betrachtung ganzer Flotten entstehen teils erhebliche Abgrenzungsprobleme hinsichtlich der Bestimmung der Mengen verbrauchten Kraftstoffs und möglicherweise auch hinsichtlich der erbrachten Verkehrsleistung. Diese wurden bei einigen Studien (Denier van der Gon and Hulskotte 2010; Knörr, Heidt et al. 2011) offensichtlich, weshalb diese Studien im vorliegenden Bericht auch nicht weiter betrachtet werden.
- Bei der Betrachtung ganzer Flotten besitzen die Untersuchungsergebnisse hinsichtlich bestimmter Fragestellungen eine geringe Aussagekraft, wenn die Flotten, ihre Einsatzbedingungen und/oder ihre Fahrtgebiete sehr heterogen sind. Für die Bestimmung des „Carbon footprint“ der Binnenschifffahrt in einem Land oder einer Region wäre dies jedoch unerheblich.
- Untersuchungen mit wenigen Schiffen haben eine geringe Aussagekraft; umgekehrt bedingen Untersuchungen mit einer Vielzahl von Schiffen mit unterschiedlichen Einsatzbedingungen und/oder Fahrtgebieten einen sehr hohen Aufwand.

Lediglich in der Studie von TTI wird auf eine Untersuchung verwiesen, bei der der tatsächliche Kraftstoffverbrauch einer Flotte zur Verkehrsleistung dieser Flotte ins Verhältnis gesetzt. PLANCO hat Untersuchungen mit einzelnen Schiffen berücksichtigt. Dazu hat PLANCO Ergebnisse verschiedener Studien zum Leistungsbedarf von Binnenschiffen ausgewertet und diese anschließend mit einem mathematischen Verfahren inter- und extrapoliert. TTI und PLANCO nutzen also die Ergebnisse von Untersuchungen in der Praxis zur Verifizierung der theoretischen Herleitung des Kraftstoffverbrauchs und damit der CO₂-Intensität.

Wesentliche Parameter, die bei der Bestimmung der CO₂-Intensität (und möglichen Nutzung der Emissionsfaktoren) der Binnenschifffahrt zu berücksichtigen sind

Der **durchschnittliche Energieverbrauch** eines Binnenschiffes hängt von einer Vielzahl von **Parametern** ab. Die wichtigsten Parameter dürften sein:

- Schiffstyp beziehungsweise Schiffgröße,
- Schiffsgeschwindigkeit,
- Auslastung (Beladungsfaktor) des Schiffes,
- Anteil von Leerfahrten,
- Abmessungen der befahrenen Wasserstraßen (insbesondere die Wassertiefe),
- Art der befahrenen Wasserstraßen (freifließender Fluss, staugeregelter Fluss, Kanal),
- Richtung der Wasserströmung.

Damit dürften solche Studien oder Verfahren, die diese Parameter vollständig oder weitgehend berücksichtigen, grundsätzlich von höherer Qualität sein als solche, die weniger Parameter berücksichtigen oder zur Vermeidung einer vertieften Betrachtung ungeprüfte Durchschnittswerte zur Berücksichtigung dieser Parameter verwenden.

Vor allem bei der Ermittlung der CO₂-Emissionen von Containertransporten durch Binnenschiffe berücksichtigen manche Studien zusätzlich den **Energieverbrauch für Umschlag und Vor- und/oder Nachlauf**. Dies ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn die Folgen einer Verkehrsverlagerung betrachtet oder Verkehrsträgervergleiche, bei denen Versender und Empfänger der Güter über keinen Wasserstraßenanschluss verfügen, angestellt werden. Für die Bestimmung des „Carbon footprint“ der Binnenschifffahrt wäre die Berücksichtigung des Energieverbrauchs für Umschlag und Vor- und/oder Nachlauf jedoch noch zu diskutieren. In dem vorliegenden Bericht bleiben diese Aktivitäten unberücksichtigt.

Manche Studien berücksichtigen bei der Ermittlung der Emissionsfaktoren auch den **Energieeinsatz zur Produktion des Kraftstoffs**. Da auch bei der Berechnung des Carbon Footprint anderer Verkehrsträger dieser Energieeinsatz (Vorkette) häufig berücksichtigt wird, erfolgt dies auch nachstehend. Sofern in Studien die Vorketten nicht berücksichtigt wurden, werden für die Emissionen der Vorkette 11,8 g CO₂ pro MJ berücksichtigt (den Boer, Otten et al. 2011). In der noch nicht veröffentlichten Europäischen Norm EN 16258 : 2013 wird dafür ein Wert von 15,9 g CO₂ pro MJ angegeben. Es würde über den Rahmen des vorliegenden Berichts hinausgehen, die Ursache für den Unterschied zwischen beiden Werten zu analysieren. Da der Unterschied nur etwa 5 % der Gesamtemissionen (pro MJ) ausmacht, scheint diese Ungenauigkeit für die Zielsetzung des Berichts, aber auch für die Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen der europäischen Binnenschifffahrt hinnehmbar zu sein.

Auch das Alter der in den Schiffen eingebauten Motoren beeinflusst den Emissionsfaktor. Das ist darauf zurückzuführen, dass ältere Motoren für die von ihnen erbrachte Arbeit (zur Fortbewegung des Schiffes), ausgedrückt in kWh, mehr Kraftstoff verbrauchen als neuere Motoren. Beispielsweise geben Studien für Motoren, die vor 1975 gebaut wurden, einen spezifischen Kraftstoffverbrauch von 235 g/kWh und für Motoren, die nach 2002 hergestellt wurden, einen Wert von 200 g/kWh an. (Denier van der Gon and Hulscombe 2010; Knörr, Heidt et al. 2011). Die Spannweite des spezifischen Kraftstoffverbrauchs beträgt somit weniger als 20 % der Absolutwerte, was bei Wahl eines geeigneten Mittelwerts eine Ungenauigkeit von maximal etwa 10 % implizieren könnte. Auch diese mögliche Ungenauigkeit sollte im Rahmen des Berichts und bei der Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen der europäischen Binnenschifffahrt akzeptabel sein.

Nutzung der in den Studien und Verfahren wiedergegebenen Werte der CO₂-Intensität (Emissionsfaktoren) der Binnenschifffahrt

Wünschenswert wäre, in einer Art Meta-Studie, die Methoden, die von den in der **Tabelle 5** aufgeführten Studien und Verfahren zur Bestimmung der CO₂-Intensität (Emissionsfaktoren) der Binnenschifffahrt genutzt werden, im Detail zu vergleichen und darauf aufbauend, Werte der CO₂-Intensität der Binnenschifffahrt festzulegen. Dies ist jedoch im Rahmen der Erstellung des Berichts der ZKR über Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen in der Binnenschifffahrt nur sehr eingeschränkt möglich.

Allerdings zeigt schon der einfache Vergleich der Studien und Verfahren große Unterschiede bei der Berücksichtigung der verschiedenen Parameter. Grundsätzlich tendieren einige Studien und Verfahren dazu, nur bestimmte Parameter zu berücksichtigen. Weiterhin werden vielfach für berücksichtigte Parameter stark vereinfachende oder verallgemeinernde Annahmen getroffen, ohne dass vorher anhand von Einzelbetrachtungen festgestellt wurde, ob diese Vereinfachungen oder Verallgemeinerungen die Ergebnisse wesentlich beeinflussen. Die Problematik der Durchschnittswerte für die CO₂-Intensität wird bei einem Vergleich der Binnenschifffahrt mit dem Straßenverkehr deutlich. Die kleinsten Schiffe (Peniche) haben eine Tragfähigkeit von unter 400 t. Dies entspricht etwa 1/40 der eines großen Schubverbands. Übertragen auf den Straßenverkehr gibt dies etwa das Verhältnis der Zuladung eines Kleinlieferwagens zu der eines großen Sattelzuges wieder.

In der **Tabelle 6** sind die Studien aufgeführt, die lediglich einen Durchschnittswert für die CO₂-Intensität angeben, der nicht durch eine differenzierte Betrachtung der Emissionen der verschiedenen Schiffsklassen oder durch einen Abgleich mit dem tatsächlichen Kraftstoffverbrauch aller Schiffe in einem bestimmten Fahrtgebiet unterfüttert ist. Diese Studien werden – mit Ausnahme der Studien der Gent University und des TTI – wegen der vorstehend aufgeführten Gründe nachfolgend nicht weiter betrachtet. In der der Gent University erfolgt zwar eine Mittelwertbildung unter Berücksichtigung der Verkehrsleistung für verschiedene Wasserstraßenklassen; die Studie beschränkt sich jedoch auf 3 kleine Schiffstypen in einem relativ kleinen Fahrtgebiet. Die in dieser Studie ermittelte CO₂-Intensität könnte daher durchaus von Bedeutung sein, jedoch nur für die Diskussion der Emissionen kleiner Schiffstypen. Die Studie des TTI gibt einen Durchschnittswert für die Binnenschifffahrt in den USA an, wobei das Berechnungsmodell mit tatsächlichen Transportleistungen und Kraftstoffverbräuchen verifiziert wurde. Da in den USA Binnenschifffahrtstransporte in der Regel mit großen Schubverbänden erfolgt, kann der aus dieser Studie resultierende Wert für die CO₂-Intensität durchaus mit denen für große Schubverbände in Europa verglichen werden.

Tabelle 6: Ausgewählte Studien, in denen Werte für die CO₂-Intensität (CO₂-Emissionsfaktoren) für die Binnenschifffahrt undifferenziert bestimmt werden

| Studie/Verfahren | CO ₂ -Intensität (CO ₂ -Emissionsfaktoren) |
|------------------|--|
| CEFIC | 31 g/tkm |
| Gent University | 32 g/tkm |
| IFEU/TREMOD | 31,8 g/tkm |
| INFRAS | 31 g/tkm |
| TTI | 11 g/tkm |

Eine der Realität gerecht werdende Differenzierung der Untersuchung und ausreichende Berücksichtigung der wichtigen Parameter scheint nur bei den Studien Stream/Shift, Haskoning und PLANCO der Fall zu sein. In den Studien Stream/Shift und Haskoning sind auch sehr kleine Schiffseinheiten mit naturgemäß den größten spezifischen Emissionen berücksichtigt. 2007 hatten Gütermotorschiffe mit einer Tragfähigkeit von unter 650 t einen zahlenmäßigen Anteil an der europäischen Flotte von etwa einem Drittel, einen Anteil von deutlich weniger als 10 % an der Gesamttonnage und einen Anteil von etwa 15 % an der gesamten installierten Leistung (ZKR and EK 2009). Dies macht deutlich, dass diese sehr kleinen Schiffe in einem gesamteuropäischen Kontext von eher untergeordneter Bedeutung sind.

Tabelle 8 zeigt Werte für die CO₂-Intensität (CO₂-Emissionsfaktoren) für die Binnenschifffahrt, die in verschiedenen Studien differenziert bestimmt wurden, unter Einbeziehung der Vorketten zur Kraftstoffherstellung (well-to-wheel). Auffällig ist die große Spanne zwischen den minimalen und maximalen Werten schon allein für die einzelnen Schiffstypen und noch viel mehr über alle Schiffstypen. Bei den einzelnen Schiffstypen betragen die maximalen Werte teilweise das Fünffache der minimalen; über alle Schiffstypen ist es teilweise das Zehnfache. Die maximalen Werte beziehen sich überwiegend auf leichte Ladungen und auf Schiffe geringer Tragfähigkeit. Diese sind in der europäischen Binnenschifffahrt und insbesondere in der Rheinschifffahrt jedoch von geringerer Bedeutung. Daher kann davon ausgegangen werden, dass grundsätzlich die Minimalwerte den realen Emissionen näher kommen als die Maximalwerte.

Eine Verallgemeinerung oder gar eine Mittelwertbildung allein aufgrund der in diesen Studien angegebenen Werte mit dem Ziel der Bestimmung des Carbon Footprint der Binnenschifffahrt verbietet sich wegen der großen Spannweite der Werte. Um den Carbon Footprint der Binnenschifffahrt für ein Fahrtgebiet - etwa für die Rheinschifffahrt oder die Binnenschifffahrt in Europa - zuverlässig zu bestimmen, scheint folgendes Vorgehen angebracht:

- Verifizieren der für jeden Schiffstyp angegebenen Emissionsfaktoren für das betreffende Fahrtgebiet;
- Bestimmen der Verkehrsleistung, die von jeder Schiffskategorie (alle Schiffe eines Typs) in dem betreffenden Fahrtgebiet erbracht wird;
- Bestimmen des Carbon Footprints für jede Schiffskategorie durch die Multiplikation der Verkehrsleistung der Schiffskategorie mit dem Emissionsfaktor des Schiffstyps;
- Addition des Carbon Footprints von allen Schiffskategorien in einem Fahrtgebiet.

Die einzelnen Fahrtgebiete könnten noch zu unterteilen sein, je nachdem, ob es sich um freifließende oder staugeregelte Flüsse oder Kanäle handelt, da dies einen signifikanten Einfluss auf den spezifischen Kraftstoffverbrauch und damit die Emissionsfaktoren hat (Knörr, Heidt et al. 2011). Die Verifizierung der Emissionsfaktoren könnte durch die Hinzuziehung von Angaben über den realen Kraftstoffverbrauch für verschiedene Schiffstypen erfolgen. Die Verkehrsleistung jeder Schiffskategorie kann ebenfalls anhand von Angaben aus der Praxis ermittelt werden. Zusammen mit den statistischen Angaben zur Zahl der Schiffe pro Kategorie lässt sich so die Verkehrsleistung pro Kategorie bestimmen.

Das Sekretariat der ZKR hat von einzelnen Schifffahrtstreibenden erste vorläufige Werte von Emissionsfaktoren erhalten. Diese sind in **Tabelle 7** wiedergegeben.

Tabelle 7: Werte für die CO₂-Intensität (CO₂-Emissionsfaktoren) für die Binnenschifffahrt auf Basis von realen Kraftstoffverbräuchen für ausgewählte Schiffstypen und Fahrtgebiete (incl. Vorkette)

| Schiffstypen/Fahrtgebiete | CO ₂ -Intensität (CO ₂ -Emissionsfaktoren) |
|--|--|
| 4er bzw. 6er Schubverbände / Niederrhein | 11,6 g/tkm |
| Johann Welker / Containertransporte Rheinstromgebiet | 24,9 ... 40,0 g/tkm |
| Großmotorschiff / Containertransporte Rheinstromgebiet | 19,1 ... 32,6 g/tkm |
| Jowi / Containertransporte Rheinstromgebiet | 10,3 ... 17,6 g/tkm |

Bemerkenswert ist, dass die aufgrund der Angaben des Schifffahrtsgewerbes ermittelten Emissionsfaktoren am unteren Rand der in den Studien angegebenen Werte liegen und die Werte, die im Rahmen von EcoTransIT und Marco Polo für Subventionsentscheidungen der Europäischen Kommission und für unternehmerische Entscheidungen genutzt werden, deutlich unterschreiten.

Im Hinblick auf die große politische und zunehmend auch unternehmerische Bedeutung, die den Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt zukommt, scheint es angebracht, dieses Arbeiten fortzuführen. Unabdingbar wäre dabei eine intensive Beteiligung des Schifffahrtsgewerbes, um die Angaben aus der Praxis, die notwendigen Statistiken und die technisch-betrieblichen Aspekte zusammenzuführen. Außerdem bietet sich eine Abstimmung mit der Europäischen Kommission an, um zu erreichen, dass die Arbeiten eine EU-weite Akzeptanz erhalten und bei der Entwicklung der europäischen Verkehrspolitik berücksichtigt werden.

Tabelle 8: Ausgewählte Studien, in denen Werte der CO₂-Intensität (CO₂-Emissionsfaktoren) für die Binnenschifffahrt differenziert bestimmt werden, unter Einbeziehung der Vorketten zur Kraftstoffherstellung (well to wheel)

| | | CO ₂ -Intensität (Emissionsfaktoren), in g/tkm | | | | | | | | Minimum / Maximum für Studie | |
|----------------------------|-------------------------|---|--------------------|----------------|---------------|--------------|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------------|----------------|
| Wasserstraßenklasse (CEMT) | | I | II | III | IV | | V | | VI | | |
| Schiffstyp | | Peniche | Kempenaar | Gustav Koenigs | Johann Welker | Schubverband | Großes Rheinschiff | Schub- / Koppelverband | Jowi | Schubverband | |
| Tragfähigkeit (t) | | 250 - 400 | 400 – 650 | 650 – 1000 | 1000 - 1500 | | 1500 - 3000 | | ≥ 3000 | | |
| Studie | Transportgut | | | | | | | | | | |
| Haskoning ³⁰ | Massengut | 43,2 | 47,2 | | 40,0 | | 22,8 ³¹ | 14,4 | 23,1 ³² | 10,6 ³³ | 10,6 ... 47,2 |
| | Nicht-Massengut | | 28,2 ³⁴ | | 47,0 | | 14,7 | 17,0 | | | |
| ADEME ³⁵ | | 51,4 | 50,4 | 45,0 | 42,1 | | 34,8 | 25,0 | | | 25,0 ... 51,4 |
| Planco | Massengut | | | | | 15,8 | 19,6; 22,8 | 12,0 ... 21,1 | | 14 | 10,3 ... 22,8 |
| | Container ³⁶ | | | | | 21,1; 21,9 | 13,0 | 17,4 | 10,3 | | |
| DST2009 ³⁷ | | (47,1) | | (31,3) | (17,6) | | (6,4) | (11,6) | (7,7) | (11,9) | (6,4 ... 47,1) |
| Marco Polo ³⁸ | Massengut | | | | (68,5) | | (64,3) | (43,21) | | | |
| EcoTransit ³⁹ | Massengut | (60,6) | | | | (37,7) | | | | (31,5 ... 60,6) | |
| | Container | (52,7) | | | | (31,5) | | | | | |

³⁰ Umgerechnete Werte (Emissionsfaktoren mit Vorkette ~ 1,16 * Emissionsfaktoren ohne Vorkette)

³¹ Tankschiff 3500 t

³² Tankschiff 6000 t

³³ 4er-Schubverband

³⁴ Neokemp

³⁵ Umgerechnete Werte (Emissionsfaktoren mit Vorkette ~ 1,16 * Emissionsfaktoren ohne Vorkette)

³⁶ Umgerechnete Werte (1TEU ~ 10,5 t)

³⁷ Werte nicht vergleichbar, da logistische Randbedingungen, wie Leerfahrten, nicht berücksichtigt; Werte daher nicht weiter berücksichtigt

³⁸ Eigene Berechnungen auf Basis von Van Essen und den Boer (2012); nur 3 Schiffstypen; Werte daher nicht weiter berücksichtigt

³⁹ Werte nicht vergleichbar, da über mehrere Schiffstypen gemittelt; Werte daher nicht weiter berücksichtigt

| | | CO ₂ -Intensität (Emissionsfaktoren), in g/tkm | | | | | | | | | |
|---|------------------------------|---|-----------|----------------|---------------|--------------|------------------------|------------------------|-----------|--------------|------------------------------|
| Wasserstraßenklasse (CEMT) | | I | II | III | IV | | V | | VI | | Minimum / Maximum für Studie |
| Schiffstyp | | Peniche | Kempenaar | Gustav Koenigs | Johann Welker | Schubverband | Großes Rheinschiff | Schub- / Koppelverband | Jowi | Schubverband | |
| Tragfähigkeit (t) | | 250 - 400 | 400 – 650 | 650 – 1000 | 1000 - 1500 | | 1500 - 3000 | | ≥ 3000 | | |
| Studie | Transportgut | | | | | | | | | | |
| STREAM Internat. Freight 2011 ⁴⁰ | Leichtes Stück- & Massengut | 41 ... 56 | 41 ... 46 | | 40 ... 46 | | 32 ... 34 | 27 ... 32 19 ... 20 | | 14 ... 16 | 14 ... 56 |
| | Mittleres Stück- & Massengut | 36 ... 54 | 39 ... 41 | | 34 ... 40 | | 29 ... 30 | 23 ... 29 17 ... 19 | | 12 ... 15 | 12 ... 54 |
| | Schweres Stück- & Massengut | 34 ... 60 | 37 ... 42 | | 32 ... 40 | | 27 ... 32 | 23 ... 28 17 ... 20 | | 12 ... 16 | 12 ... 60 |
| | Leichte Container | | 74 ... 95 | | 75 ... 90 | | 39 ... 43 45 ... 55 | 51 ... 69 | 51 ... 36 | | 36 ... 95 |
| | Mittlere Container | | 53 ... 64 | | 49 ... 60 | | 29 ... 33 25 ... 33 | 37 ... 49 | 24 ... 35 | | 24 ... 64 |
| | Schwere Container | | 44 ... 53 | | 40 ... 50 | | 20 ... 27 24 ... 29 | 32 ... 35 | 19 ... 30 | | 19 ... 53 |
| | Minimum / Maximum Transporte | 34 ... 60 | 37 ... 95 | | 32 ... 90 | | 24 ... 55 | 17 ... 69 | 19 ... 51 | 12 ... 16 | 12 ... 95 |
| Minimum / Maximum für alle Studien | Massengut | 34 ... 60 | 37 ... 47 | | 32 ... 46 | 16 | 20 ... 35 | 12 ... 32 | 23 | 11 ... 16 | 11 ... 60 |
| | Nicht-Massengut | | 28 ... 95 | | 40 ... 90 | 21; 22 | 13 ... 55 | 17 ... 69 | 10 ... 51 | | 10 ... 96 |
| | Alle Güter | 34 ... 60 | 28 ... 95 | 45 | 32 ... 90 | 16 ... 22 | 13 ... 55 | 12 ... 69 | 10 ... 51 | 11 ... 16 | 10 ... 95 |

⁴⁰ Angaben für das Jahr 2009

Grundsätzliche Möglichkeiten der Binnenschifffahrt zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen

Für die Binnenschifffahrt wurde eine Vielzahl von technischen, betrieblichen und logistischen Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und damit der CO₂-Emissionen identifiziert und in vielen Fällen umgesetzt. In dem vorliegenden Bericht werden lediglich die Maßnahmen betrachtet, die die Schiffe selbst und deren Betrieb betreffen. Um den Gesamtkontext aufzuzeigen und da in einigen Fällen Zusammenhänge zwischen schiffsbezogenen und infrastrukturellen Maßnahmen bestehen, gibt die nachfolgende **Tabelle 9** eine Übersicht über diese Maßnahmen, wobei sie jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.

Tabelle 9: Übersicht über identifizierte und umgesetzte Maßnahmen

| Eingriffsbereich | | Maßnahmen | Anmerkungen |
|------------------|---|--|---|
| Infrastruktur | Wasserstraße - Bauwerke - Fahrrinne | Auslegung für optimale Schiffsgröße | Da die Wasserstraßen- infrastruktur häufig weitestgehend festliegt, sind hier nur kleinschrittige Veränderungen möglich und sinnvoll |
| | | Minimierung notwendiger Manöver | |
| | | Vermeidung ungünstiger Strömungsverhältnisse | |
| | Wasserstraßen information | Bereitstellung von Informationen über Wasserstraßenparameter | Querschnitte, Wasserstände, Strömungsbedingungen |
| | | Bereitstellung von Informationen über Verkehrsbedingungen | Verkehrsdichte und - störungen, Sperrungen |
| | Vessel Traffic Management | Verkehrslenkung | Optimale Schiffsgeschwindigkeit |
| | | Optimierung des Betriebs der Wasserbauwerke (Schleusen, Brücken) | Vermeidung von Wartezeiten, Abstellen der Motoren |
| | Häfen und Liegestellen | Minimierung notwendiger Manöver | Siehe Zeile Wasserstraße |
| | | Landanschluss | Versorgung mit elektrischer Energie aus regenerativen Quellen |
| | | Ausrüstung für ein energieeffizientes Be- und Entladen | |
| Fahrzeuge | Design und Ausrüstung | Optimierung des Schiffsentwurfs über Modellversuche oder Rechnersimulationen | Hydrodynamische Eigenschaften (Optimierung der Hauptabmessungen, Schiffsform, Geschwindigkeit, Propulsionsorgane) |
| | | Optimierung konventioneller Antriebe | Energieeffiziente Auslegung, Vermeidung über- dimensionierter Motoren, elektrische Antriebe |

| Eingriffsbereich | | Maßnahmen | Anmerkungen |
|------------------|-------------|---|---|
| | | Dieselelektrische Antriebe | Kombination eines im optimalen Drehzahlbereich arbeitenden Dieselmotors, eines elektrischen Generators und eines elektrischen Motors zum Antrieb des Schiffes |
| | | Hybridantriebe | Elektrische Pufferung der Antriebsenergie, ggfs. in Verbindung mit einem dieselelektrische Antrieb |
| | | Energieeffiziente Ausrüstung | Hilfsantriebe, Verbraucher |
| | | Energierückgewinnung | Heizung, Klimatisierung, zusätzliche Antriebsleistung |
| | | Effizientere oder alternative Propulsionsorgane | z.B. Düsen, Whale Tail ⁴ |
| | | Gewichtsreduzierung | Leichtbau, kleinere Motoren |
| | | Reduzierung Schiffswiderstand | Luftschmierung, Optimierung Schiffsform, Abstromplatte, dynamische Tunnelschürze, Optimierung Koppelstelle |
| | Kraftstoffe | Nutzung biogener Kraftstoffe (flüssig und gasförmig) | Möglicherweise kritische ökologische & soziale Auswirkungen; Lagerung an Bord evtl. problembehaftet; nur in begrenzten Mengen verfügbar |
| | | Nutzung gasförmiger Kraftstoffe | Produktion, Lagerung an Land, Verteilung, Lagerung an Bord aufwendig |
| | | Nutzung von Kraftstoffen, die mithilfe von regenerativen Energien gewonnen werden, z.B. Wasserstoff | Langfristige Entwicklung; wahrscheinlich nur in begrenzten Mengen verfügbar |
| | Betrieb | Allgemeine Reduzierung der Geschwindigkeit | Eventuell die effektivste Einzelmaßnahme in Verbindung mit angepasster Geschwindigkeit |
| | | Anpassung der Geschwindigkeit an die Fahrinnenabmessungen / Wassertiefe (Smart Steaming) | Grundsätzlich ist Widerstand des Schiffes umso geringer, je größer die Fahrinnenabmessungen |
| | | Onboard Informationssysteme für verbrauchsarmes Fahren | Econometer, Reiseplanung |
| | | Optimierung Reiseplanung | Wahl bestgeeigneter Fahrwege, Berücksichtigung von Einschränkungen |
| | | Automatische Bahnführung | Vermeidet unnötige Ruderbewegungen |
| | | Optimierung der Instandhaltung | Schiffshaut, Propeller, Motor |
| | | Vermeidung des Leerlaufs der Motoren | z. B. vor oder in Schleusen |

| Eingriffsbereich | | Maßnahmen | Anmerkungen |
|---------------------|----------------|--|---|
| | | Optimierung des Trimm | Ladung, Ballast |
| | | Schulung Schiffsführer zur Nutzung der betrieblichen Maßnahmen | Maßnahme von zentraler Bedeutung |
| | Instandhaltung | Optimal eingestellte und gewartete Motoren | Wartung nach Herstellervorgaben |
| | | Unbeschädigte Propulsionsorgane | Schäden können Wirkungsgrad reduzieren |
| | | Saubere, unbeschädigte Unterwasserschiffe | Bewuchs und größere Verformungen können Schiffswiderstand erhöhen |
| Transportmanagement | | Vermeidung von Leerschiffsfahrten | |
| | | Volle Ausnutzung der Ladungskapazität | Soweit aufgrund Bedingungen der Wasserstraßen möglich |
| | | Vermeidung von Wartezeiten | Z.B. in Häfen |

Vorstehend aufgeführte Maßnahmen bedingen unterschiedliche Kosten bezogen auf ihr Emissionsreduzierungspotential. Etliche der Maßnahmen dürften sogar aufgrund der möglichen Einsparungen an Kraftstoff kostendeckend sein.

Maßnahmen zur Emissionsreduzierung können sich auch auf die Sicherheit und der Leichtigkeit des Schiffsverkehrs sowie den Umweltschutz auswirken. Reduzierungsmaßnahmen, die die Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt negativ beeinflussen können, sind auszuschließen. Eine positive Wechselwirkung besteht zwischen Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Umweltbelastung. Im Allgemeinen führt ein geringer Kraftstoffverbrauch auch zu geringen Schadstoffemissionen, wie Stickoxyden oder Rußpartikeln. Verbrauchsärmere Schiffe verursachen häufig auch einen geringeren Wellenschlag und geringere Strömungsänderungen im umgebenden Wasserkörper, was wiederum zu einer Verminderung der Belastung des Gewässerbetts und der Sohle beiträgt.

Technische Optionen zur Treibhausgasreduktion für non-road Verkehrsmodi

(Übernommen aus (Hazeldine, Pridmore et al. 2009))

Tabelle 10: Potential der technischen Optionen für die Treibhausgasreduktion in der Binnenschifffahrt

| Technische Maßnahme | Derzeitiges Minderungspotential auf Ebene der Schiffe, falls möglich | Amortisierungszeitraum aus heutiger Sicht |
|--|--|---|
| Kraftübertragung | | |
| Effizientere Motoren | 15 - 20 % | > 10 Jahre |
| Dieselelektrischer Antrieb | 10 % | > 10 Jahre |
| Verringerung des benötigten Antriebs | | |
| Größere Einheiten (Skaleneffekt) | Bis zu 75 % je nach Größenunterschied | Keine allgemeine Schlussfolgerung möglich |
| Verbesserte Propellersysteme | 20 - 30 % | Schnelle Amortisierung |
| Verbessertes Rumpfdesign | 10 - 20 % | Schnelle Amortisierung |
| Computergestützte Umlaufplanung und Geschwindigkeitsmanagement | 5 - 10 % | < 1 Jahr |
| Leichtbau | 5 - 15 % | > 10 Jahre (in Untersuchung) |
| Luftschmierung | 10 % | Unbekannt (in Untersuchung) |
| Whale tail/-Antriebssysteme (in Ausarbeitung) | 25 % | Unbekannt (noch zu untersuchen) |

(Anmerkung des Autors: Vorstehende Tabelle dient lediglich zur Information über das Forschungsprojekts *EU Transport GHG: Routes to 2050?* Eine vertiefte Betrachtung der Maßnahmen und Potentiale erfolgt in der **Anlage 6** dieses Berichts.)

Schiffstechnische Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen von Binnenschiffen

Tabelle 11 enthält eine zusammenfassende Darstellung und Bewertung schiffstechnischer Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen. Die Angaben und die Bewertungen beruhen auf Untersuchungen der Seeschifffahrt (Buhaug, Corbett et al. 2009; Miola, Ciuffo et al. 2010), dem Projekt EU Transport GHG: Routes to 2050? (Hazeldine, Pridmore et al. 2009), der Datenbank über entsprechende Maßnahmen auf der Webseite der ZKR (www.ccr-zkr.org), Vorträgen anlässlich des Workshops *CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt, Wie sind sie zu messen? Wie zu reduzieren?* der ZKR vom 12. April 2011 (Andersen 2011; Christophel 2011; Guesnet 2011; Scherm 2011; Shuto 2011; van Terwisga 2011) und weiteren Quellen (PLATINA 2009; Zöllner 2009). Sofern keine Angaben zu den Reduktionspotentialen vorliegen, wurden diese durch das Sekretariat der ZKR geschätzt.

Tabelle 11 zeigt, dass etliche schiffstechnische Maßnahmen, die es erlauben, den Kraftstoffverbrauch und damit die CO₂-Emissionen der Binnenschiffe zu reduzieren, schon verfügbar sind. Die verschiedenen Reduktionspotentiale sind als Anteil am Kraftstoffverbrauch (in %) angegeben. Diese können grundsätzlich nicht addiert werden, da Kraftstoffmengen, die mit einer Maßnahme eingespart wurden, nicht nochmals mit einer anderen Maßnahme eingespart werden können; vielmehr sind die Anteile der nach einer Reduktionsmaßnahme verbleibenden Anteile des Kraftstoffverbrauchs miteinander zu multiplizieren. (Die mathematischen Zusammenhänge sind in **Abschnitt 15** des Berichts dargestellt.)

Die Bewertung muss zwangsläufig einer Vielzahl von Einschränkungen unterliegen:

- Nicht alle der Maßnahmen wurden bisher wissenschaftlich untersucht.
- Einige der Maßnahmen wurden noch gar nicht, andere erst in Einzelfällen auf kommerziell eingesetzten Schiffen erprobt.
- Etliche der zugrundeliegenden Angaben wurden von Entwicklern und Herstellern übermittelt, die die von ihnen propagierten Maßnahmen vorteilhaft darstellen müssen, um wirtschaftlich erfolgreich zu sein.
- Manche Maßnahmen sind nur für bestimmte Schiffstypen geeignet, wie die Optimierung der Koppelstelle.
- Es ist in vielen Fällen technisch oder wirtschaftlich wenig sinnvoll, bestimmte der vorgeschlagenen Maßnahmen an einem Schiff zu realisieren.
- Die Angaben zu den Reduktionspotentialen sind häufig Grobabschätzungen oder nur besonderen Randbedingungen zutreffend.

Gleichzeitig ist festzustellen, dass die aufgelisteten Maßnahmen nicht vollständig sein können. Es gibt noch eine Vielzahl weiterer Maßnahmen, die jedoch häufig nicht erprobt sind, über die keine verlässlichen Informationen vorliegen oder deren Energie- und Emissionsreduktionspotentiale sehr gering sind.

Daher sind die Angaben in **Tabelle 11** mit einer gewissen Zurückhaltung aufzunehmen. Für die Abschätzung des globalen Energie- und Emissionsreduktionspotentials der Binnenschifffahrt sollten sie jedoch hilfreich sein.

Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass Reduktionspotentiale vorhanden sind, die sich vor allem auf den Antrieb beziehen. Grundsätzlich ist festzustellen, dass es ein Bündel von möglichen Maßnahmen gibt, aus denen sich der Schiffseigner die für sein Schiff und dessen Einsatzfall die wirtschaftlich und technisch günstigsten auswählen kann.

Für diese Auswahl sind Untersuchungen des Schiffsentwurfs unter Nutzung von CFD (Computational Fluid Dynamics) hilfreich. Diese lassen durch Simulationen in leistungsfähigen Rechnern Optimierungsmöglichkeiten des Entwurfs erkennen und ermöglichen zudem, Änderungen daran theoretisch zu analysieren (Guesnet 2011; van der Meij 2011). Aufwendige Modellversuche in Versuchsbecken werden teilweise entbehrlich. Eine weitere Möglichkeit für den Schiffseigner festzustellen, ob das Design seines Schiffneubaus energetisch günstig ist, bietet die von TNO entwickelte Simulation Generic Energy Systems (GES). Diese erlaubt, ein Schiff unter Berücksichtigung der vorgesehenen Betriebsfälle hinsichtlich des Energieverbrauchs zu analysieren und unter Variierung verschiedenster Parameter, insbesondere der Ausrüstung, zu optimieren (Veen 2012). Vorgenannte Verfahren reduzieren selbst nicht den Energieverbrauch eines Schiffes, ermöglichen aber, die bekannten Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs vorab zu simulieren und das Schiff zu optimieren.

Einige der vorgenannten Maßnahmen wurden an dem Tankschiff „Amulet“, welches zur Versorgung von Seeschiffen eingesetzt wird, realisiert. Für dieses Schiff werden Kraftstoffeinsparungen und damit CO₂-Emissionsminderungen von bis zu 45 % gegenüber einem herkömmlichen Schiff angegeben (Jansen, Jansen et al. 2010). Dieses Einsparungspotential könnte als obere Grenze des CO₂-Reduktionspotentials bei einer Kombination technisch erprobter Maßnahmen angesehen werden. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass es sich bei dem Tankschiff „Amulet“ um ein Schiff für einen besonderen Anwendungsbereich handelt.

Etlliche der in **Tabelle 11** aufgeführten Maßnahmen lassen sich auch beim Umbau vorhandener Schiffe realisieren. Allerdings sind dort aus wirtschaftlichen und technischen Gründen die Möglichkeiten begrenzt und daher die Reduktionspotentiale kleiner (Renner 2005). Die größten Kraftstoffverbrauchseinsparungen scheinen die folgenden Maßnahmen zu erzielen: Austausch der Hauptantriebsanlage, Austausch und Ergänzung der Propulsionsorgane (Propeller / Düse), Anpassung der Schiffsenden an Koppelverband. Daraus ergeben sich auch technisch sinnvolle Maßnahmenkombinationen wie Anpassung der Hinterschiffsform in Verbindung mit Austausch und Ergänzung der Propulsionsorgane. Vorgenannte Maßnahmen sind auch in **Tabelle 11** berücksichtigt.

Tabelle 11: Zusammenfassende Darstellung und Bewertung schiffstechnischer Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen von Binnenschiffen

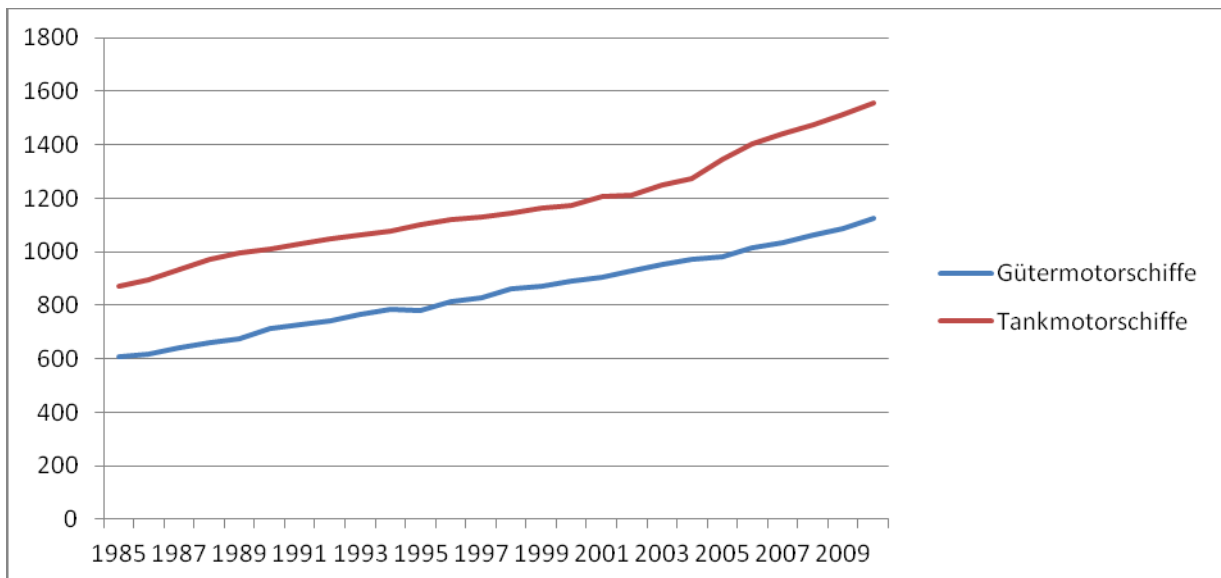
| Maßnahme | Energie- / CO ₂ -/ Reduktionspotential | Stand Entwicklung | Anwendungsbereich | Wirtschaftlichkeit | Kommentar / Bewertung |
|--|--|-------------------------|----------------------------|----------------------------|---|
| Maßnahmen hinsichtlich der Propulsion (Antrieb) | | | | | |
| Effizienzsteigerung Motoren | 2 % bis 5 % | Marktreife | Grundsätzlich alle Schiffe | ja, | Künftiges Reduktionspotential gering, da gesetzlich vorgeschriebene Maßnahmen zur Reduzierung der Schadstoffemissionen zu Kraftstoffmehrverbrauch führen können; wirtschaftliche Maßnahme, sofern ältere Motoren mit einem hohen spezifischen Verbrauch ersetzt werden; dann Reduktionspotential größer als 10 %. |
| Dieselelektrische Antriebe | 0 % bis 20 % | Marktreife | Grundsätzlich alle Schiffe | ja | Aussichtsreiche Maßnahme; Reduktionspotential im Vergleich zu modernen konventionellen Antriebsmotoren jedoch geringer; Effizienz sehr abhängig von Einsatzbedingungen des Schiffes und Anzahl / Typ der elektrischen Verbraucher |
| Hybridantriebe | 0 % bis 20 % | Marktreife | Derzeit auf Yachten | | Erfolgversprechend bei Schiffen, die viel manövrieren, wie Sammel-/Verteilerverkehre in Häfen, Tagesausflugsschiffe |
| Effizientere Propulsionsorgane | 5 % bis 20 % | Marktreife | Grundsätzlich alle Schiffe | ja | Verschiedene, aussichtsreiche Maßnahmen (gegenläufige Propeller, Skew-Propeller) |
| Alternative Propulsionsorgane | 0 % bis 25 % | Forschung & Entwicklung | | | Derzeit nicht abzusehen, ob sich alternative Propulsionsorgane (z.B. Whale Tail) durchsetzen werden |
| Rückgewinnung von Abwärme | 0 % bis 5 % | Marktreife | Grundsätzlich alle Schiffe | Amortisierung ~ 5 Jahre | Aussichtsreiche Maßnahme bei Schiffen, die überwiegend mit hoher Last fahren; bei stillliegenden Schiffen nicht möglich in Verbindung mit Landstromversorgung |

| Maßnahme | Energie- / CO ₂ -/ Reduktionspotential | Stand Entwicklung | Anwendungsbereich | Wirtschaftlichkeit | Kommentar / Bewertung |
|--|--|-------------------------|---|--------------------|---|
| Maßnahmen hinsichtlich des Schiffskörpers | | | | | |
| Leichtbau | 0 % bis 5 % | Marktreife | In bestimmten Fällen schon üblich, wie Tagesausflugsschiffe | | Leichtbau für Güterschiffe aktuell kaum genutzt; Leichtbau kann zu höheren Reparaturkosten führen |
| Luftschmierung | 0 % bis 15 % | Marktreife | Grundsätzlich für alle Schiffe | ja | Derzeit nicht abzusehen, ob sich Maßnahme durchsetzen wird; Luftkammern reduzieren Laderaum, was bei mittleren bis niedrigen Wasserständen Transportkapazität reduziert |
| Schiffsform | 0 % bis 10 % | Marktreife | Grundsätzlich für alle Schiffe | ja | Auch künftig Optimierung möglich |
| Abstromplatte | 0 % bis 10 % | Forschung & Entwicklung | Grundsätzlich für alle Schiffe | | Erfolgreiche Modellversuche |
| Dynamische Tunnelschürze | 0 % bis 10 % | Forschung & Entwicklung | Gütermotorschiffe, Tankmotorschiffe | ja | Erfolgreiche Modellversuche, Planung einer ersten Anwendung |
| Optimierung Koppelstelle Schubverbänden | 0 % bis 15 % | Marktreife | Schub- und Koppelverbände | ja | Bei Koppelverbänden, die ständig verbunden sind, schon üblich |
| Optimierung der Gesamtheit der schiffstechnischen Maßnahmen | | | | | |
| Rechnergestützte Simulation CFD | n.a. | Marktreife | Grundsätzlich für alle Schiffe | ja | Erfolgsversprechende Maßnahme zur Optimierung des Schiffsentwurfs hinsichtlich der Hydrodynamik, in manchen Fällen schon genutzt |
| Energie Analyse | n.a. | Marktreife | Grundsätzlich für alle Schiffe | ja | Erfolgsversprechende Maßnahme zur Optimierung des Schiffsentwurfs hinsichtlich des Energiebedarfs, in manchen Fällen schon genutzt |

Betrachtung der Entwicklung der durchschnittlichen Schiffsgröße in Europa und ihre möglichen Auswirkungen hinsichtlich der CO₂-Emissionen

Das vielleicht größte Potential zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt dürfte in der Vergrößerung der durchschnittlichen Tragfähigkeit (Größe) der Schiffe liegen (Hazeldine, Pridmore et al. 2009; Schweighofer 2011). Die durchschnittliche Tragfähigkeit der Binnenschiffe in Westeuropa ist zwischen 1991 und 2010 bei Trockengüterschiffen um ca. 20 Tonnen pro Jahr und bei Tankschiffen um ca. 25 Tonnen pro Jahr gewachsen, wie **Abbildung 5** zeigt. Das bedeutet eine jährliche Zunahme von etwa 1,8 % beziehungsweise 1,6 %. Aus der Abbildung geht auch hervor, dass 2010 die durchschnittliche Tragfähigkeit von Trockengüterschiffen etwa 1130 Tonnen und von Tankschiffen etwa 1560 Tonnen betrug.

Abbildung 5: Durchschnittliche Tragfähigkeit (in Tonnen) von Motorschiffen der westeuropäischen Flotte (Quelle: Statistische Erhebungen und Berechnungen des Sekretariats der ZKR)



Die spezifischen CO₂-Emissionen sind grundsätzlich umso geringer, je größer die Tragfähigkeit der Schiffe ist. Dieser Sachverhalt ist ausführlich in **Abschnitt 5.1** des Berichts dargestellt. Nachfolgend wird eine Grobabschätzung der Änderung der spezifischen Emissionen aufgrund der Zunahme der durchschnittlichen Tragfähigkeit der Binnenschiffe in Westeuropa vorgenommen. Dazu werden Emissionswerte verwendet, die unter definierten Randbedingungen (Abladung maximal, 2,5 m, Wassertiefe 5 m, Schiffsgeschwindigkeit 12 km/h) ermittelt wurden (Zöllner 2009) und daher gut miteinander vergleichbar sind. Die Werte sind in der **Tabelle 12** dargestellt.

Tabelle 12: Illustration des Einflusses der Tragfähigkeiten auf die spezifischen CO₂-Emissionen von Binnenschiffen unter definierten Randbedingungen (Zöllner 2009)

| Schiffstyp | dW [t] | CO ₂ [g/tkm] |
|------------------|--------|-------------------------|
| Peniche | 366 | 47,1 |
| Gustav Koenigs | 935 | 31,3 |
| Johann Welker | 1272 | 17,6 |
| Gütermotorschiff | 1900 | 6,4 |
| Jowi-Klasse | 3335 | 7,7 |

Ausgehend von den Werten in der **Tabelle 12** werden durch eine vereinfachende Mittelwertbildung die in **Tabelle 13** wiedergegebenen Annahmen getroffen.

Tabelle 13: Angenommene mittlere spezifische CO₂-Emissionen von Binnenschiffen

| Schiffskategorie | dW [t] | CO ₂ [g/tkm] |
|--------------------|--------|-------------------------|
| Trockengüterschiff | 1130 | 25 |
| Tankschiff | 1560 | 12 |

Für Trockengüterschiffe wird weiterhin vereinfachend angenommen, dass Schiffe mit mittleren spezifischen Emissionen von 40 g/tkm und einer mittleren Tragfähigkeit von 700 t aus dem Markt gehen. Bei den Tankschiffen ist davon auszugehen, dass die aus dem Markt genommenen Schiffe größer sind als bei den Trockengüterschiffen. Daher werden für diese eine mittlere Tragfähigkeit von 1000 t und mittlere spezifische Emissionen von 27 g/tkm angenommen. Für beide Kategorien wird angenommen, dass die neu in den Markt gelangenden Schiffe eine mittlere spezifische Emission von 7 g/tkm und eine mittlere Tragfähigkeit von 3000 t aufweisen. Mit diesen Werten lassen sich wiederum mittlere Änderungen der spezifischen Emissionen bezogen auf die Zunahme der mittleren Tragfähigkeit ermitteln. Die Ergebnisse sind in **Tabelle 14** dargestellt.

Tabelle 14: Angenommene Änderungen der mittleren spezifischen CO₂-Emissionen von Binnenschiffen bezogen auf mittlere Tragfähigkeiten

| Schiffskategorie | | dW [t] | CO ₂ [g/tkm] | Δ CO ₂ [g/tkm] pro dW [t] |
|--------------------|-----|--------|-------------------------|--|
| Trockengüterschiff | Alt | 700 | 40 | 0,014 |
| | Neu | 3000 | 7 | |
| Tankschiff | Alt | 1000 | 27 | 0,01 |
| | Neu | 3000 | 7 | |

Werden die mittleren Änderungen der spezifischen Emissionen mit der jährlichen Zunahme der mittleren Tragfähigkeiten multipliziert resultiert daraus für Trockengüterschiffe eine Reduktion der mittleren spezifischen Emissionen von 0,28 g/tkm pro Jahr und bei Tankschiffen von 0,25 g/tkm pro Jahr. Bezogen auf die Werte aus **Tabelle 13** ergeben sich damit anteilige Veränderungen von etwa 1,1 % pro Jahr für Trockengüterschiffe und von etwa 2,1 % pro Jahr für Tankschiffe.

Sollten die vorstehend abgeschätzten Verbesserungen bei den spezifischen Emissionen aufgrund der Zunahme der mittleren Tragfähigkeit zutreffend sein, wäre bestätigt, dass die Schiffsgröße der entscheidende Faktor bei der Reduzierung der CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt darstellt. Die so erreichten Verbesserungen stimmen auch in etwa mit der Zunahme der Verkehrsleistung der Binnenschifffahrt überein (Ickert, Ulrike et al. 2007; ITP and BVU 2007). Sollte sich das Wachstum der mittleren Tragfähigkeit der Binnenschiffe der letzten Jahre auch künftig fortsetzen, wird die daraus resultierende Abnahme der spezifischen CO₂-Emissionen eine Zunahme der Emissionen infolge einer eventuellen größeren von der Binnenschifffahrt erbrachten Verkehrsleistung möglicherweise ausgleichen. Dies würde, kurz gesagt, bedeuten: ein Mehr an Verkehrsleistung ohne ein Mehr an Treibhausgasemissionen.

PLANCO hat ebenfalls die Reduzierung der CO₂-Emissionen aufgrund der Zunahme der Tragfähigkeit der Schiffe betrachtet und ist dabei zu dem Ergebnis gelangt, dass der Energiebedarf der Binnenschiffsflotte anteilig mindestens in dem Umfang abnimmt, wie ihre mittlere Tragfähigkeit zunimmt (PLANCO 2007). Allerdings geht PLANCO lediglich von einem Größenwachstum von etwa 0,5 % pro Jahr aus und nicht wie die ZKR von etwa 1,5 % pro Jahr, dargestellt in **Abbildung 5**. Der Unterschied könnte daraus resultieren, dass PLANCO nur die deutsche Flotte betrachtet hat, die statistischen Erhebungen des Sekretariats der ZKR hingegen schneller wachsende Flotten einschließt. Die Entwicklung der durchschnittlichen Schiffsgröße könnte auch vom Fahrtgebiet abhängen. Auf Wasserstraßen, auf denen nur relativ kleine Schiffe verkehren können, ist zu erwarten, dass die durchschnittliche Schiffsgröße kaum noch zunimmt. Beispielhaft seien hier die kleinen Kanäle in Frankreich genannt. Hingegen bietet der Rhein noch sehr viel Spielraum für die Zunahme der durchschnittlichen Schiffsgröße.

Vorstehende Betrachtung stellt eine stark vereinfachende Analyse der Zusammenhänge zwischen der Flottenstruktur und den Treibhausgasemissionen dar. Zur Absicherung ihrer Ergebnisse wäre es wünschenswert, nicht die durchschnittlichen Schiffsgrößen zu betrachten, sondern gesondert jede einzelne Schiffsgrößenklasse. Diese Größenklassen sind bereits definiert. Auch liegen Informationen zur Entwicklung der Anzahl der Schiffe in jeder Größenklasse vor. Die Berechnungen sollten sich nicht auf Werte spezifischer CO₂-Emissionen allein einer Untersuchung stützen, wie vorstehend geschehen, sondern Werte aus mehreren Quellen heranziehen. Zusätzlich wäre es noch erforderlich, für die Gesamtheit der Schiffe in jeder Größenklasse den Anteil an der Gesamtverkehrsleistung der Binnenschifffahrt zu bestimmen. Dann könnte der Einfluss der Änderung der mittleren Tragfähigkeit oder Schiffsgröße auf die CO₂-Emissionen zuverlässig geklärt werden.

Betriebliche Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen von Binnenschiffen

Tabelle 15 enthält eine zusammenfassende Darstellung und Bewertung betrieblicher Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen. Die Angaben und die Bewertungen beruhen auf Untersuchungen der Seeschifffahrt (Buhaug, Corbett et al. 2009; Miola, Ciuffo et al. 2010), dem Projekt EU Transport GHG: Routes to 2050? (Hazeldine, Pridmore et al. 2009; Kampman, Rijkee et al. 2009), der Datenbank über entsprechende Maßnahmen auf der Webseite der ZKR (www.ccr-zkr.org), Vorträgen anlässlich des Workshops *CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt, Wie sind sie zu messen? Wie zu reduzieren?* der ZKR am 12. April 2011 (Kammertöns 2011; Koopmans 2011; Lutz and Gilles 2011; Savelkoul 2011) und weiteren Quellen (PLATINA 2009; van Kempen 2010). Sofern keine Angaben zu den Reduktionspotentialen vorliegen, wurden diese durch das Sekretariat der ZKR geschätzt.

Tabelle 15 zeigt, dass etliche betriebliche Maßnahmen, die es erlauben, den Kraftstoffverbrauch und damit die CO₂-Emissionen der Binnenschiffe zu reduzieren, verfügbar sind. Die verschiedenen Reduktionspotentiale sind als Anteil am Kraftstoffverbrauch (in %) angegeben. Die Bewertung der Maßnahmen und insbesondere die Werte für die Reduktionspotentiale unterliegen grundsätzlich den gleichen Einschränkungen, wie sie in **Anlage 6** für die schiffstechnischen Maßnahmen festgestellt wurden. Daher sind die Angaben in **Tabelle 15** mit einer gewissen Zurückhaltung aufzunehmen. Für die Abschätzung des globalen Energie- und Emissionsreduktionspotentials der Binnenschifffahrt sollten sie jedoch hilfreich sein.

Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass umfangreiche Reduktionspotentiale vorhanden sind, die sich vor allem auf die Optimierung der Schiffsgeschwindigkeit beziehen. Diese lässt sich vor allem auf Wasserstraßen mit unterschiedlichen Querschnitten und Strömungsverhältnissen erreichen, wie dem Rhein, und weniger auf Kanälen mit ihren relativ gleichbleibenden Bedingungen. Erfolge bei der Ausnutzung dieser Potentiale meldet das Programm *Smart Steaming* in den Niederlanden. Bemerkenswert ist außerdem die Vielzahl der IT-basierten Hilfsmittel, die mittlerweile dazu entwickelt wurden und teilweise auch schon auf den Markt angeboten werden. Der sogenannte Tempomaat ist ein derartiges Hilfsmittel, das auch schon Einzug in verschiedene Förderprogramme gefunden hat. (Dieses ist ausführlich in **Anlage 9** beschrieben.) Da offensichtlich deren Reduktionspotentiale hinsichtlich des Kraftstoffverbrauchs und damit der Treibhaus- wie auch der Schadstoffemissionen allgemein anerkannt ist und da die Investition in derartige Hilfsmittel sehr kurze Amortisationszeiten haben, könnte deren Installation und Nutzung in der Rhein- oder europäischen Binnenschifffahrt auch rechtlich vorgeschrieben werden. Eine Folgenabschätzung dürfte auf jeden Fall zu einem sehr positiven Ergebnis kommen.

Einige Maßnahmen bedürfen der Unterstützung der Wasserstraßenbetreiber, wie etwa eine „grüne Welle“ für Schleusen und bewegliche Brücken. In der Containerschifffahrt kann eine Optimierung des Betriebs der Terminals in den Seehäfen zu einer deutlichen Emissionsreduzierung beitragen. Je weniger Terminals ein Schiff anfahren und je weniger es dabei manövrieren muss, desto geringer die Emissionen. Dies ist insbesondere für die großen Containerschiffe von Bedeutung. (Für Verkehre zwischen Terminals bieten sich Schiffe mit einem Hybrid-Antrieb oder gar mit einem vollelektrischen Antrieb an.) Grundsätzlich ist festzustellen, dass es ein Bündel von möglichen Maßnahmen gibt, aus denen sich der Schiffseigner die für sein Schiff und dessen Einsatzfall die wirtschaftlich und technisch günstigsten auswählen kann.

Im Mittelpunkt der Realisierung von betrieblichen Reduktionspotentialen stehen die Schiffsführer. Daher kann deren Schulung, möglichst mit Hilfe von geeigneten Simulatoren, als prioritäre Maßnahme zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen in der Binnenschifffahrt angesehen werden. Alle in der **Tabelle 15** aufgeführten Maßnahmen lassen sich auch bei vorhandenen Schiffen realisieren.

Tabelle 15: Zusammenfassende Darstellung und Bewertung schiffsbetrieblicher Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen von Binnenschiffen

| Maßnahme | Energie- / -CO ₂ / Reduktionspotential | Stand Entwicklung | Anwendungsbereich | Wirtschaftlichkeit | Kommentar / Bewertung |
|--|--|--|---|---|--|
| Optimierung der Schiffsgeschwindigkeit durch Schiffsführer | | | | | |
| Smart steaming, just in time | 0 % bis 30 % | Öffentliche geförderte Programme in den Niederlanden; üblich in vielen Unternehmen | Alle Schiffe | Hohe Wirtschaftlichkeit durch minimale Kosten | Einfachste und wirtschaftlichste Maßnahmen zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO ₂ -Emissionen |
| Maßnahmen unter Verwendung von IT-basierten Hilfsmittel | | | | | |
| Optimierung der Geschwindigkeit mit Hilfe von Decision Support Systems | 0 % bis 15 % | Marktreife, bereits Gegenstand von Subventionsprogrammen | Alle Schiffe, eventuell mit Ausnahme Tagesausflugsschiffe | | Zusammenführung verschiedener Daten über Transportaufgabe, Fahrwasserverhältnissen, Nutzung eigener Erfahrungen und der anderer Schiffe |
| Optimierung der Reiseplanung | 0 % bis 20 % | Marktreife | Alle Schiffe, eventuell mit Ausnahme Tagesausflugsschiffe | | Nutzung von Inland ECDIS und Nachrichten für die Binnenschifffahrt |
| Optimierung durch automatische Bahnführung | 0 % bis 10 % | Prototypen | Alle Schiffe, eventuell mit Ausnahme Tagesausflugsschiffe | | Wahl der optimalen Fahrtroute im Hinblick auf Fahrwassertiefe und Strömung; Reduzierung der Steuerbefehle (Ruderausschläge) |
| Maßnahmen hinsichtlich der Instandhaltung des Schiffes | | | | | |
| Optimierung Instandhaltung Antriebsmotor | 0 % bis 5 % | Üblich | Alle Schiffe | | Regelmäßige Kontrollen/Wartungsarbeiten werden zur Erhaltung der Effizienz des Abgasnachbehandlungssystems (Reduzierung von Schadstoff-Emissionen) ohnehin erforderlich sein |

| Maßnahmen hinsichtlich der Instandhaltung des Schiffes | | | | | |
|---|--------------|--|-----------------------------------|--|---|
| Optimierung Instandhaltung Propeller | 0 % bis 5 % | Üblich | Alle Schiffe | | |
| Optimierung Instandhaltung Schiffshaut | 0 % bis 5 % | Üblich | Alle Schiffe | | Wahrscheinlich in Binnenschifffahrt von geringerer Bedeutung als in Seeschifffahrt |
| Andere betriebliche Maßnahme | | | | | |
| Optimierung Trimm des Schiffes | 0 % bis 5 % | Üblich | Alle Schiffe | | |
| Optimierung Schleusungen / Brückendurchfahrten | 0 % bis 15 % | | Staugeregelte Gewässer und Kanäle | | Durch Betreiber der Schleusen / Brücken „grüne Welle“ für Durchfahrten der Schiffe vorsehen; Realisierung mit Hilfe von RIS |
| Optimierung Betrieb in Hafen | 0 % bis 5 % | | Güterschifffahrt | | Insbesondere die spezifische Emissionen von Containerschiffen können bei Anlaufen verschiedener Terminals stark ansteigen |
| Landstrom | 0 % bis 5 % | An vielen Liegestellen bereits üblich | Alle Schiffe | | Kommerziell genutzte Binnenschiffe haben heute sehr kurze Liegezeiten, weshalb Einsparungspotential sehr gering |
| Optimierung der Gesamtheit der betrieblichen Maßnahmen | | | | | |
| Training am Simulator | | Geeignete Simulatoren vorhanden oder im Aufbau | Alle Schiffe | | Training am Simulator vermittelt vor allem Bewusstsein, Verständnis und Fähigkeit für Wahl der optimalen Geschwindigkeit in Abhängigkeit von Transportaufgabe, Fahrwassertiefe und Strömung |

Smart Steaming

Nachstehende Ausführungen beruhen auf einer persönlichen Information (de Vries 2012). Weiterführende Informationen sind über das Büro für Schifffahrtsprojekte (SPB) und das Kompetenz- und Innovationszentrum für die Binnenschifffahrt (EICB) zu erhalten⁴¹.

Einleitung

Das Programm „Smart Steaming“ wurde 2007 vom niederländischen Ministerium für Infrastruktur und Umwelt ins Leben gerufen. Hauptziel des Programms ist die Senkung der CO₂-Emissionen in der Binnenschifffahrt durch eine Änderung der Verhaltensweisen beim Führen von Schiffen. Weil der Kraftstoffverbrauch sinkt, wirkt sich die Reduzierung der CO₂-Emissionen bei den teilnehmenden kleinen und mittelständischen Unternehmen auch auf der Kostenseite positiv aus. Seit 2001 hat das Kompetenz- und Innovationszentrum für die Binnenschifffahrt (EICB) die Leitung des Programms von der niederländischen Regierung übernommen.

Ergebnisse

Für den Zeitraum von 2007 bis 2010 wurde eine Kontrollstudie zu den Ergebnissen der ersten Jahre des Programms durchgeführt. Das jährliche Ergebnis von 6,7 Prozent übertrifft das ursprünglich formulierte Ziel einer CO₂-Senkung von 5 Prozent pro Jahr. **Tabelle 16** enthält die jährlichen Ergebnisse im Überblick:

Tabelle 16: Jährliche Ergebnisse auf der Grundlage der ermittelten Einsparungen in Höhe von 6,7 %

| | NO_x | NM VOC | PM | CO₂ |
|---|-----------------------|----------------|----------------|-----------------------|
| | Mio. kg | Mio. kg | Mio. kg | Mio. kg |
| Ersparnis im Vergleich zu 2007 | 1,742 | 0,241 | 0,0744 | 119,6 |
| Ersparnis in EURO im Vergleich zu 2007 | € 18.465.200 | € 602.298 | € 3.049.170 | € 2.989.875 |

| | Sozialer Nutzen | Nutzen für die Unternehmen | Insgesamt |
|---|------------------------|-----------------------------------|------------------|
| Ersparnis abzüglich Kosten des Programms | € 21.916.881 | € 27.180.682 | € 49.097.563 |
| Ersparnis in EURO im Vergleich zu 2007 | € 25.106.543 | € 27.180.682 | € 52.287.225 |

⁴¹ www.spb.binnenvaart.nl / www.eicb.nl

Inhalte des Programms

Das Programm „Smart Steaming“ besteht aus verschiedenen Inhalten, Bildungsangebote, ein CO₂-Vergleichswerkzeug, einen Wettbewerb und Kommunikationsmaßnahmen.

Bildung

Tragende Säule des Programms ist die Fortbildung von Skippern über die effizienteste Art der Führung von Binnenschiffen zur Senkung des Kraftstoffverbrauchs. Die grundlegenden Ideen von Smart Steaming wurden in das reguläre Ausbildungsprogramm für Skipper integriert. Für Skipper mit großer Erfahrung wurde ein Spezialkurs entwickelt, in dem die Schüler die Feinheiten der wirtschaftlichen Führung von Binnenschiffen erlernen.

CO₂-Vergleichswerkzeug

Das CO₂-Vergleichswerkzeug gibt Binnenschiffverkehrsunternehmen einen klaren Blick auf die CO₂-Produktion ihrer Schiffe. Neben historischen Übersichten über den Kraftstoffverbrauch und die CO₂-Produktion gibt das Werkzeug dem Anwender auch die Möglichkeit zum Vergleich seines Schiff mit dem (Teil-) Markt. Das Vergleichswerkzeug kann durch die Binnenschiffverkehrsunternehmen verwendet werden, um ihren Verladern mehr Details zu deren CO₂-Produktion zu geben. Das Werkzeug wird 2012 entwickelt und im Februar 2013 eingeführt werden.

Wettbewerb

Welches Schiff ist das sauberste Schiff? Das ist die grundlegende Idee des Kraftstoffwettbewerbs für die Binnenschiffahrt. Die Schiffe und deren Mannschaften treten gegeneinander an. Die Rahmenbedingungen eines Wettbewerbs haben sich nachweislich als große Motivation für ein besonders wirtschaftliches Führen von Binnenschiffen erwiesen. Im ersten Jahr, in dem die Schiffe am Wettbewerb teilnehmen, liegen ihre Einsparungen beim Kraftstoff und beim CO₂ bei etwa zwanzig Prozent. In den kommenden Jahren wird das Tool zu einem Vergleichswerkzeug weiterentwickelt, bei dem der Teilnehmer den eigenen Verbrauch im Vergleich zu dem für den gesamten Markt sehen kann.

Kommunikation

Die zentrale Idee von „Smart Steaming“ besteht darin, bei den Skippern eine Verhaltensänderung hin zu einem sparsameren Umgang mit Kraftstoff und mehr Umweltschutz zu bewirken. Die Kommunikation zur Vermittlung der Möglichkeiten, mit denen Skipper dieses Ziel verwirklichen können, ist dabei von großer Bedeutung. Die folgenden Inhalte werden den Zielgruppen aktiv vermittelt:

- Tipps und Tricks für ein wirtschaftliches Führen von Binnenschiffen;
- Vorausberechnung des wirtschaftlichen Nutzens;
- Nutzung technischer Hilfsmittel.

Stakeholder-Plattform „Smart Steaming“

Die Maßnahmen für ein effizientes Fahren werden durch eine Stakeholder-Plattform, bestehend aus Binnenschiffverkehrsunternehmen und anderen relevanten Interessengruppen, kommuniziert. Die Plattform muss das Programm „Smart Steaming“ durch ausreichende Aufmerksamkeit der Medien und durch die Organisation von Veranstaltungen fördern.

Einführung auf europäischer Ebene

Die Ergebnisse des Programms „Smart Steaming“ sind so positiv, dass die übrigen europäischen Staaten in entscheidendem Maße von der Einführung dieses Programms profitieren könnten. Die Inhalte des Programms können mit Blick auf Europa erweitert werden, damit sie auch weiterhin für die gegenwärtigen Teilnehmer des Programms von Interesse sind. Hauptschwerpunkt in den anderen Ländern wird die Fortbildung im Bereich „Smart Steaming“ sein.

Zukünftige Transportkraftstoffe
Bericht der Europäischen Expertengruppe zu den künftigen Kraftstoffen für den
Verkehr, Januar 2011
Kommentierte Zusammenfassung
(Übernommen aus (Fuels 2011))

Die heutige Kraftstoffbereitstellung ist, besonders im Straßenverkehr, vom Öl bestimmt ... das noch über bewiesene Vorräte für rund 40 Jahre verfügt ... Die Verbrennung von aus Mineralöl gewonnenen Kraftstoffen erhöht die CO₂-Emissionen und, obwohl die Energieeffizienz der neuen Fahrzeuge verbessert wurde, sodass diese weniger CO₂ ausstoßen, hat die totale CO₂-Emission des Transports von 1990 bis 2008 um 24 % zugenommen, was 19,5 % der Treibhausgasemissionen der gesamten Europäischen Union darstellt.

Das EU-Ziel ist eine allgemeine Abnahme der CO₂-Emissionen um 80 - 95 % bis zum Jahr 2050, im Vergleich zum Niveau von 1990 Die Dekarbonisierung des Verkehrs und der Ersatz des Öls als Kraftstoff des Verkehrssektors haben daher den gleichen Zeithorizont, nämlich 2050. Die Verbesserung der Transporteffizienz und der Steuerung der transportierten Gütermenge ist zur Unterstützung der Reduzierung der CO₂-Emissionen notwendig, da fossile Kraftstoffe noch stets dominieren und es den begrenzten erneuerbaren Quellen ermöglicht werden muss, der gesamten Energienachfrage des Transportsektors auf lange Sicht zu entsprechen.

Optionen für alternative Kraftstoffe zum Ersatz des Öls als Antriebsenergiequelle im Transport sind:

Elektrizität/Wasserstoff und **(flüssige) Biokraftstoffe** als wichtigste Option

Synthetische Kraftstoffe als technologische Brücke zwischen fossilen und auf Biomasse aufbauenden Kraftstoffen

Methan (Erdgas und Biomethan) als zusätzlicher Kraftstoff

LPG als Ergänzung

Elektrizität und **Wasserstoff** sind universelle Energieträger und können aus allen primären Energiequellen gewonnen werden. Beide Wege können im Prinzip CO₂-frei sein, der CO₂-Gehalt hängt ab vom Energiemix bei der Elektrizitäts- und Wasserstoffherstellung. Der Antrieb erfolgt über Elektromotoren. Die Energie kann über drei Wege geliefert werden:

Batterie-Elektrizität, mit Elektrizität aus dem Netz, die an Bord der Schiffe in Batterien gelagert wird. Der Krafttransfer zwischen dem Netz und den Fahrzeugen erfordert eine neue Infrastruktur und Energieüberwachung. Die Anwendung ist auf den Straßenverkehr im Nahbereich und die Schiene beschränkt. Die Entwicklung von kostengünstigen High Energy Density Batterien und der Aufbau der Ladeinfrastruktur haben höchste Priorität.

Mit Wasserstoff geladene Kraftstoffzellen, für die Elektrizitätsgewinnung an Bord. Die Produktion, Lieferung und Lagerung von Wasserstoff benötigen eine neue Infrastruktur. Die Nutzung ist unwahrscheinlich für den Flugsektor und den Fernverkehr auf der Straße. Die Entwicklung von kostengünstigen Kraftstoffzellen, on-board-Wasserstofflagern und einer strategischen **Betankungs**-Infrastruktur haben die höchste Priorität.

Oberleitung / Dritte Schiene für Straßenbahn, Metro, Bahn und Trolley-Busse, mit Elektrizität, die direkt aus dem Netz bezogen wird ohne Notwendigkeit einer zwischengeschalteten Lagerung.

Biokraftstoffe könnten technisch gesprochen Öl in allen Transportmodi ersetzen, unter Verwendung der derzeitigen Kraftübertragungstechnologie und Betankungsinfrastruktur.

Der Einsatz von Biomasse kann ebenso synthetische Kraftstoffe, Methan und LPG dekarbonisieren. Die Biokraftstoffe der ersten Generation stammen aus herkömmlichen Pflanzen, tierischen Fetten und verbrauchtem Haushaltsöl. Sie umfassen FAME Biodiesel, Bioethanol und Biomethan. Biokraftstoffe der neuen und zweiten Generation werden gewonnen aus Ligno-Zellulose und Abfällen. Sie umfassen Bioethanol, HVO, höhere Alkohole, DME, BTL und Biomethan.

Die Produktion von Biokraftstoffen aus Nahrungs- und Energiepflanzen ist beschränkt durch die Verfügbarkeit von Land, Wasser, Energie- und Co-Produkt-Erträgen, und Nachhaltigkeitserwägungen wie die CO₂-Lebenszyklusbilanzierung. Biokraftstoffe der zweiten Generation aus Abfällen und Rückständen sind ebenfalls beschränkt durch die Verfügbarkeit dieser Grundstoffe.

Die Entwicklung eines Rohmaterialpotentials und optimisierter Produktionsprozesse hat höchste Priorität. Unterstützende Maßnahmen auf EU-Ebene und harmonisierte Standards für Biokraftstoffe in der ganzen EU sind Schlüsselemente für die künftige Entwicklung nachhaltiger Biokraftstoffe.

Synthetische Kraftstoffe, als Ersatz für Diesel und Flugturbinenkraftstoff, können aus verschiedenem Einsatzmaterial durch Verflüssigung von Biomasse (biomass to liquid BTL), Kohle (coal to liquid CTL) oder Gas (gas to liquid GTL) gewonnen werden. Paraffinähnliche wasserstoffbehandelte pflanzliche Öle (hydrotreated vegetable oils, HVO) können durch Wasserstoffbehandlung von pflanzlichen Ölen und tierischen Fetten gewonnen werden. Synthetische Kraftstoffe können mit der bestehenden Infrastruktur vertrieben, gelagert und in den vorhandenen internen Verbrennungsmotoren verwendet werden. Diese bieten eine kostengünstige Alternative, um die auf Öl basierenden Kraftstoffe zu ersetzen, mit der Perspektive einer weiter verbesserten Leistung des Systems mit Motoren, die speziell an synthetische Kraftstoffe angepasst sind. Die Entwicklung von industriell arbeitenden Anlagen für die Produktion von kostengünstigen synthetischen Kraftstoffen oder von Biomasse abgeleiteten Kraftstoffen genießt die höchste Priorität, indem Anstrengungen weitergeführt werden müssen zur Verbesserung der CO₂-Bilanz der GTL und insbesondere CTL. DME (Di-Methyl-Ether) ist ein weiterer synthetischer Kraftstoff, erzeugt aus fossilem Ursprung oder Biomasse-Quellen über Gasifizierung (synthesis gas), der allerdings kleinere Anpassungen der Motoren notwendig macht.

Methan kann aus fossilem Erdgas oder aus Biomasse und Abfällen wie Biomethan gewonnen werden. Biomethan muss vorzugsweise in das allgemeine Gasnetz eingespeist werden. Durch Methan angetriebene Fahrzeuge müssen dann von einem einzigen Netz beliefert werden. Zusätzliche Betankungsinfrastruktur muss aufgebaut werden, um eine weitreichende Belieferung zu ermöglichen. Für den Antrieb können interne Verbrennungsmotoren ähnlich denen für flüssige Kohlenwasserstoff-Kraftstoffe verwendet werden. Methan in komprimierter Gasform (CNG) ist eine eher unwahrscheinliche Option dort wo eine hohe Energiedichte benötigt wird. Flüssiges Methangas (LNG) könnte in diesen Fällen eine mögliche Option sein. Harmonisierte Normen für Biomethaninjektion in das Gasnetz und der Ausbau einer EU-weiten Betankungsinfrastruktur genießen höchste Priorität.

LPG (Liquefied Petroleum Gas) ist ein Nebenprodukt der Kohlenwasserstoff-Kraftstoffkette, derzeit aus Öl und Erdgas, in Zukunft möglicherweise auch aus Biomasse hergestellt. LPG ist derzeit der meistverwendete alternative Kraftstoff in Europa, mit 3 % des Kraftstoffs für Auto d.h. 5 Millionen Fahrzeuge. Die Kerninfrastruktur besteht aus über 27.000 öffentlichen Tankstellen.

Lösungen mit einem einzigen Kraftstoff, der alle Verkehrsträger deckt, wären technisch möglich mit flüssigen Biokraftstoffen und synthetischen Kraftstoffen. Aber die Verfügbarkeit der Ausgangsstoffe und Nachhaltigkeitserwägungen beschränken das Lieferpotential. Das bedeutet, dass die zukünftige Energienachfrage im Verkehr nicht durch einen einzigen Kraftstoff befriedigt werden kann. Die Nachfrage nach Kraftstoff und die Treibhausgaserausforderung werden den Einsatz einer großen Anzahl verschiedener primärer Energien verlangen. Es herrscht eine große Einigkeit darüber, dass alle nachhaltigen Kraftstoffe notwendig sein werden, um die erwarteten Engpässe zwischen Nachfrage und Angebot zu überbrücken.

Die wichtigsten alternativen Kraftstoffe sollten EU-weit mit harmonisierten Normen verfügbar sein, damit in der gesamten EU der freie Verkehr von allen Fahrzeugen gesichert ist. Incentives für die wichtigsten alternativen Kraftstoffe und die desbetreffenden Fahrzeuge sollten EU-weit harmonisiert werden, um Marktverzerrungen vorzubeugen und Skaleneinsparungen sowie eine schnelle und breite Markteinführung von alternativen Kraftstoffen zu ermöglichen.

Die wichtigsten in Erwägung gezogenen alternativen Kraftstoffe sollten aus kohlenstoffarmen oder schließlich aus kohlenstofffreien Quellen hergestellt werden. Ersatz von Öl im Verkehrssektor durch diese wichtigsten alternativen Kraftstoffe führt unweigerlich zu einer Dekarbonisation des Verkehrs, wenn das Energiesystem kohlenstofffrei ist. Dekarbonisation des Verkehrs und Dekarbonisation der Energie müssen als zwei ergänzende strategische Linien betrachtet werden, die eng miteinander verbunden aber doch eigenständig sind und eine unterschiedliche technische Behandlung brauchen, um konsequent weiterentwickelt zu werden.

Die verschiedenen Transportmodi erfordern verschiedene Kraftstoff-Alternativen:

Der Straßenverkehr könnte im Nahverkehr mit Elektrizität betrieben werden, mit Wasserstoff und Methan im Mittelstreckenbereich und mit Bio- oder synthetischen Kraftstoffen, LNG und LPG im Fernverkehr.

Die Bahn sollte, wo immer machbar, elektrifiziert werden, ansonsten Biokraftstoffe verwenden.

Der Flugverkehr müsste mit aus Biomasse gewonnenem Kerosin beliefert werden.

Wasserfahrzeuge könnten mit Biokraftstoffen arbeiten (alle Fahrzeuge), mit Wasserstoff (Binnenschifffahrt und kleine Boote), LPG (Küstenschifffahrt), LNG und Atomkraft (Maritimer Verkehr).

(Anmerkung des Autors: Der Bericht Fuels, dessen kommentierte Zusammenfassung vorstehend wiedergegeben ist, bietet eine gute Grundlage für die Diskussion künftig in der Binnenschifffahrt genutzter Kraftstoffe und für die Erarbeitung einer Kraftstoffstrategie für alle Verkehrsmodi. Der Bericht scheint jedoch den Entwicklungen der Binnenschifffahrt nur eingeschränkt Rechnung zu tragen, wie die Außerachtlassung von LNG für die Binnenschifffahrt in vorstehender Zusammenfassung zeigt. Der Bericht sollte daher in Verbindung mit dem **Abschnitt 11** dieses Berichts genutzt werden, der die Besonderheiten und aktuellen Entwicklungen der Binnenschifffahrt berücksichtigt.)

Regulierungsmaßnahmen zum Klimaschutz in der Seeschifffahrt: EEDI, EEOI, SEEMP

„Die Vollversammlung der International Maritime Organization (IMO) beauftragte mit der Resolution A.963(23) aus 2003 das Meeresumweltkomitee (MEPC), Mechanismen zur Reduzierung der Klimagasemissionen von Schiffen zu entwickeln. Der dafür beschlossene Arbeitsplan reichte bis zum Jahr 2011. Das MEPC entwickelte 2008 dazu technische und betriebliche Regulierungsinstrumente:

- Energie-Effizienz-Design-Index (Energy Efficiency Design Index - EEDI) als Zusammenfassung der technischen Maßnahmen zur Emissionsreduzierung,
- Energie-Effizienz-Betriebs-Indikator (Energy Efficiency Operational Index - EEOI) als Zusammenfassung der Maßnahmen für einen CO₂-armen Schiffsbetrieb,
- Schiffsmanagement-Plan der Energie-Effizienz (Ship Energy Efficiency Management Plan - SEEMP).

Eine vorläufige Methodik für die Berechnung des EEDI und die Erstellung von SEEMP wurde 2009 verabschiedet, aber noch nicht endgültig beschlossen. Auf der MEPC 60 Sitzung 2010 wurde vereinbart, EEDI und SEEMP als zwingend unter MARPOL Annex VI einzuführen.

Der EEDI ist ein Ausdruck für die Klimagaseffizienz eines Schiffsentwurfs. Er setzt die Emissionen eines Schiffes, berechnet aus der Antriebsleistung und dem spezifischen Treibstoffverbrauch ins Verhältnis zur Transportkapazität (= Ladefähigkeit x Geschwindigkeit) und hat die Dimension g CO₂ / tsm Kapazität (i.d.R. Kapazität als Tragfähigkeit). Er wird für das einzelne Schiff im Zähler um Faktoren zur Berücksichtigung der Einsatzbedingungen, spezieller Entwurfs Elemente und der Verfügbarkeit innovativer Energieeffizienztechnologien ergänzt:

$$EEDI = \frac{Power * spec. fuel cons. * Emission factor}{Capacity * Speed}$$

Der EEDI ist jeweils Ausdruck für die Emissionen eines Schiffes unter genau spezifizierten Betriebs- und Einsatzbedingungen als „Entwurfs-EEDI“, der bei der Klassifizierung ermittelt wird und nur bei Veränderung des Entwurfs Änderungen erfährt. Ein verpflichtender „Baseline-EEDI“ soll von der IMO in Auswertung der Daten der bestehenden Flotte für die verschiedenen Schiffstypen als Regressionskurve ermittelt werden. Die Basislinie soll dann in Zukunft schrittweise gesenkt werden. ...

Er bildet nur unzureichend die Vielfalt der Schiffstypen ab. Fragen wirft auch die mögliche Verbesserung des EEDI eines Schiffes auf Kosten der Sicherheit auf (z.B. unzureichende Leistungsreserve, reduziertes Stahlgewicht). Insgesamt wird er als potenziell guter Indikator für die Entwurfs-Energieeffizienz angesehen, der jedoch noch nicht ausgereift ist und weiterer Erprobung bedarf. ... Ein erstes EEDI-Zertifikat wurde im Juni 2010 vom Germanischen Lloyd für ein Containerschiff der Hapag Lloyd erteilt. ...

Die Anwendung des EEDI ist lediglich für Schiffsneubauten verbindlich vorgeschrieben, der wesentliche Teil der Flotte bleibt damit ausgeklammert. ...

Dem Energie-Effizienz-Betriebs-Indikator EEOI liegt der gleiche Gedanke des Verhältnisses zwischen Kosten (Emissionen) und Nutzen zugrunde wie dem EEDI. Er ist definiert als:

$$EEOI = \frac{\sum_i FC_i \times C_{\text{carbon}}}{\sum_i m_{\text{cargo},i} \times D_i}$$

FC_i – Treibstoffverbrauch auf Reise i ;
 C_{carbon} – Kohlenstoffgehalt des Treibstoffs;
 $m_{\text{cargo},i}$ – Ladungsmenge auf Reise i ;
 D_i – Reiselänge i .

Die Einheit des EEOI ist g CO_2 je Ladungsmeile beförderter Ladung (i.d.R. t , andere Einheiten sind möglich). Die Höhe des EEOI hängt damit in hohem Maße von der tatsächlichen Auslastung der Ladekapazität eines Schiffes ab und wird daher mit der Schifffahrtskonjunktur schwanken. Auch die Eigenschaften und Zusammensetzung der Ladung bewirken erhebliche Schwankungen des Index, sodass die Berechnung eines obligatorischen Grenzwerts kaum möglich erscheint. Ein weiteres Problem besteht darin, dass die Emissionen aus dem Einsatz eines Schiffs durch Entscheidungen des Charterers und nicht des Reeders bestimmt werden. Die IMO empfiehlt daher, den EEOI als freiwillige Maßnahme zur Bewertung der Leistung eines Schiffes durch Reeder und Betreiber ...

Der Ship Energy Efficiency Management Plan, SEEMP soll ein strukturierter Rahmenplan (framework) für einen energieeffizienten Schiffsbetrieb sein und dem Monitoring der Leistung des Schiffes und der Ermittlung möglicher Verbesserungen dienen. Im SEEMP sind zu diesem Zweck u.a. folgende Maßnahmen genannt:

- Wetter-, Strömungs- und Tidenoptimiertes Routing;
- Trimm-Optimierung;
- Rumpf- und Propellermonitoring und -pflege;
- Realzeit Kontrolle und Optimierung der Schiffsparameter ...

Dabei folgt der SEEMP dem Gedanken des kontinuierlichen Verbesserungskreislaufs mit den Phasen:

1. Planung (plan);
2. Umsetzung (do);
3. Leistungsmonitoring und Selbst-Beurteilung (check);
4. Verbesserung (act).

Der EEOI kann für das Monitoring im SEEMP herangezogen werden. Der SEEMP knüpft an die im ISM Code (International Management Code for the Safe Operation of Ships and for Pollution Prevention) vorgesehenen Mechanismen an ... Vorgesehen ist die Pflicht zur Mitführung der entsprechenden Dokumente, aber keine inhaltliche Berichtspflicht.

Die mögliche Wirksamkeit der Regulierungsoptionen wird wie folgt eingeschätzt:

- ein bindender Grenzwert des EEDI für Neubauten ist eine kosteneffiziente Lösung mit auf den Zuwachs der Welthandelsflotte begrenzter Wirkung (siehe Kritikpunkte weiter oben);
- verpflichtende oder freiwillige Berichterstattung über EEOI entfaltet Wirkung nur in Verbindung mit Anreizsystemen;
- verpflichtende oder freiwillige Nutzung eines SEEMP ist ein das Bewusstsein für kosteneffiziente Maßnahmen zur Emissionsreduzierung schärfendes Instrument, führt jedoch selbst nicht zu Emissionsminderungen;
- obligatorische Grenzwerte für den EEOI-Wert in Verbindung mit Sanktionen könnten sehr wirksam werden, sind aber technisch äußerst schwierig umzusetzen ...“ (Jahn 2010a).

Szenarien zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt

Die Politik setzt Ziele zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen, wie etwa die Europäische Kommission – ebenso das europäische Schifffahrtsgewerbe. Experten haben eine Vielzahl von Maßnahmen identifiziert, die zu einer Reduzierung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen beitragen können. Aber sind die Reduktionspotentiale dieser Maßnahmen ausreichend, um die postulierten Emissionsminderungsziele zu erreichen?

Um eine erste vorläufige Antwort auf diese Frage zu finden, wird nachfolgend ein einfaches mathematisches Modell zur Abschätzung der absoluten Menge der Treibhausgasemissionen beim Betrieb von Binnenschiffen vorgestellt. Das Modell erlaubt die Berücksichtigung der Reduzierung der Emissionen aufgrund von verschiedenen Gruppen von Maßnahmen. In einem zweiten Schritt werden dann ausgehend von Grobabschätzungen verschiedener Reduktionspotentiale mögliche Szenarien zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt vorgestellt und diskutiert. Das Modell beschränkt sich zunächst auf die Güterschifffahrt. Grundsätzlich ist jedoch anzustreben, die Datenbasis für die Personenschifffahrt zu vervollständigen, um ihren Anteil an den Gesamtemissionen der Binnenschifffahrt sicher abschätzen zu können.

Das Modell zur Abschätzung der Gesamtemissionen aus dem Betrieb der Güterschifffahrt, das die tatsächlichen Zusammenhänge lediglich stark vereinfachend wiedergibt, berücksichtigt die folgenden Parameter:

- Entwicklung der Verkehrsleistung (exponentiell),
- Reduzierungspotential für den Energieverbrauch durch technische Maßnahmen (summarische Grobabschätzung),
- Reduzierungspotential für den Energieverbrauch durch betriebliche Maßnahmen (summarische Grobabschätzung),
- Reduzierungspotential für den Energieverbrauch durch Zunahme der durchschnittlichen Tragfähigkeit der Schiffe (summarische Grobabschätzung),
- Reduzierungspotential für Treibhausgasemissionen durch die Verwendung von LNG,
- Reduzierungspotential für Treibhausgasemissionen durch die Verwendung von Biokraftstoffen (summarische Grobabschätzung),
- Reduzierungspotential für Treibhausgasemissionen durch die Verwendung von elektrischer Energie, incl. Wasserstoff und E-Gas (summarische Grobabschätzung).

Das Rechenmodell und die Szenarien berücksichtigen allein die CO₂-Emissionen. Andere Treibhausgase sind in CO₂-Äquivalente umgerechnet. (Dies betrifft vor allem Methan.) Nachfolgend ist das Modell dargestellt und in der **Tabelle 17** sind die verwendeten Rechengrößen und Bezeichnungen erklärt.

$$C_{\text{Zukunft}} = L_{\text{Basis}} * (1 + x)^n * c_{\text{Basis}} * (1 - r_T) * (1 - r_O) * (1 - r_D) * [(1 - r_{\text{LNG}}) * G_{\text{LNG}} + (1 - r_{\text{Bio}}) * G_{\text{Bio}} + (1 - r_{\text{EE}}) * G_{\text{EE}} + (1) * G_{\text{O}}]$$

Tabelle 17: Im Modell für die Emissionsszenarien verwendete Rechengrößen und Bezeichnungen

| Indizes | | |
|---------|-----------------------------|---|
| | Zur Bezeichnung von | Erläuterung |
| T | Technik | Zur Kennzeichnung der Reduktionspotentiale |
| O | Betrieb | |
| D | Tragfähigkeit | |
| Öl | Öl (Diesel, Gasöl) | Zur Kennzeichnung der Reduktionspotentiale und der Anteile an der Gesamtheit der verbrauchten Energie |
| LNG | Flüssig-Erdgas | |
| Bio | Biokraftstoffe | |
| EE | Elektrische Energie | |
| Basis | Ausgangsgröße, Ausgangsjahr | Zur Kennzeichnung der Verkehrsleistung der Ausgangssituation |
| Zukunft | Zielgröße, Zieljahr | Zur Kennzeichnung der Gesamtemissionen im Zieljahr |

| Rechengrößen | | | |
|--------------|---|------------|---|
| | Sachverhalt | Maßeinheit | Erläuterung |
| L | Verkehrsleistung | tkm | Güterverkehrsleistung der Binnenschifffahrt pro Jahr |
| C | Masse Treibhausgasemissionen | t | Gesamtemissionen CO ₂ pro Jahr |
| c | Spezifische Treibhausgasemissionen | g/tkm | |
| r | Reduzierungsfaktor | | Zur Angabe von Reduzierungsmöglichkeiten; z.B. 10 % weniger Emissionen bedeuten $r = 0,1$ |
| G | Normierte Gesamtheit der beim Schiffsbetrieb verbrauchten Energie | | Zur Beschreibung der Anteile der verschiedenen Energieträger am gesamten Energieverbrauch; Summe der Anteile ergibt 1 |
| x | Mittlerer jährlicher Zuwachs der Verkehrsleistung | | Zur Angabe der mittleren Zuwachsrate; z.B. 2 % größere Verkehrsleistung bedeuten $x = 0,02$ |
| n | Anzahl Jahre | | Jahre zwischen dem Bezugsjahr (Ausgangsjahr) und dem Betrachtungsjahr (Zieljahr) |

Das Modell wird genutzt, um zwei Szenarien der westeuropäischen Binnenschifffahrt zu beschreiben, eines mit einer konservativen Abschätzung der Reduzierungspotentiale, und eines mit einer optimistischen. Beide Szenarien werden modelliert für eine geringe Zunahme der Verkehrsleistung der Binnenschifffahrt und eine größere Zunahme. Die geringe Zunahme wird mit 1 % pro Jahr angenommen, was in etwa den Prognosen für die Entwicklung in Verkehrsleistung in Deutschland (Prograns 2007) (ITP and BVU 2007) entspricht. Die größere Zunahme wird mit 3 % angenommen, was grundsätzlich die Zielsetzung der Europäischen Kommission hinsichtlich des Zugewinns von Anteilen am Modalsplit für die Binnenschifffahrt (EU 2011b) reflektiert. Als Basis- oder Bezugsjahr wird jeweils 2010 angenommen und als Betrachtungs- oder Zieljahr 2050.

Für die konstanten Größen in den Szenarien werden die nachstehend aufgeführten Werte verwendet: $L_{\text{Basis}} = 120$ Mrd. tkm; $C_{\text{Basis}} = 25$ g/tkm; $n = 40$. Die Verkehrsleistung, welche als Basis angenommen wird, entspricht den letzten Daten, die für die wichtigen Binnenschifffahrtsstaaten in Westeuropa verfügbar sind. Der Wert für die spezifischen Emissionen ist eine Grobabschätzung, die der Verifizierung bedarf. (Siehe dazu **Abschnitt 5.1.**)

In den Szenarien werden für die variablen Größen die in **Tabelle 18** dargestellten Werte verwendet. Die Abschätzungen für die Einsparungspotentiale reflektieren die Schlussfolgerungen der Betrachtungen in den **Abschnitten 8, 9 und 10** dieses Berichts. Zusätzlich wird angenommen, dass das Größenwachstum der Flotte noch etwa 2 Jahrzehnte anhält, bevor es an Grenzen stößt. Diese Grenzen resultieren aus wirtschaftlich/logistischen Aspekten, aber auch aus den Abmessungen der Wasserstraßen und den zugelassenen Schiffsgrößen. Weiterhin wird angenommen, dass bei einer größeren Gesamtnachfrage nach Binnenschifffahrtstransporten die mittlere Tragfähigkeit der Schiffe größer ausfällt, da dann die bessere wirtschaftliche Lage mehr Investitionen in neue und damit im allgemeinen in größere Schiffe ermöglicht.

Tabelle 18: Variable Größen, die in den verschiedenen Szenarien genutzt werden

| | Konservatives Szenario | | Optimistisches Szenario | |
|------------------|------------------------|---------------|-------------------------|---------------|
| | Wachstum gering | Wachstum groß | Wachstum gering | Wachstum groß |
| X | 0,01 (1 %) | 0,03 (3 %) | 0,01 (1 %) | 0,03 (3 %) |
| r_T | 0,2 (20 %) | | 0,4 (40 %) | |
| r_O | 0,1 (10 %) | | 0,3 (30 %) | |
| r_D | 0,2 (20 %) | 0,4 (40 %) | 0,2 (20 %) | 0,4 (40 %) |
| r_{LNG} | 0,1 (10 %) | | 0,1 (10 %) | |
| r_{Bio} | 0,35 (35 %) | | 0,6 (60 %) | |
| r_{EE} | 0,7 (70 %) | | 0,9 (90 %) | |
| G_{LNG} | 0,5 (50 %) | | 0,5 (50 %) | |
| G_{Bio} | 0,15 (15 %) | | 0,4 (40 %) | |
| G_{EE} | 0,05 (5 %) | | 0,1 (10 %) | |
| $G_{\text{Öl}}$ | 0,3 (30 %) | | 0 (0 %) | |

Die **Tabelle 19** gibt die Ergebnisse der Modellrechnungen wieder. Die Emissionen für die Ausgangssituation (Basis, 2010) und das Zieljahr sind in ihrer absoluten Menge angegeben. Für das Zieljahr sind zusätzlich für die verschiedenen Szenarien die prozentualen Veränderungen gegenüber der Basis aufgeführt. Aufgrund des einfachen Modells und der grob abgeschätzten Eingangsgrößen können die Ergebnisse kaum mehr als eine Tendenz angegeben.

Tabelle 19: Grobabschätzung der Gesamtemissionen der betrieblichen CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt westeuropäischer Länder für verschiedene Szenarien

| Szenario | | Wachstum | Betriebliche Gesamtemissionen CO ₂ | |
|----------|--------------|----------|---|-----------------------------|
| | | | in Tonnen pro Jahr | Veränderung gegenüber Basis |
| 2010 | Basis | | 3.000.000 | |
| 2050 | Konservativ | Gering | 2.220.000 | - 26 % |
| | | Groß | 3.650.000 | + 22 % |
| | Optimistisch | Gering | 930.000 | - 69 % |
| | | Groß | 1.529.000 | - 49 % |

Wie können die in Tabelle 19 wiedergegebenen Ergebnisse der Modellrechnungen verstanden werden? Bei dem konservativen Szenario, bei dem Emissionsreduzierungen vor allem aus dem Einsatz von LNG und der Zunahme der durchschnittlichen Tragfähigkeit der Schiffe resultieren, bleiben die Gesamtemissionen auch bei einer Zunahme der Verkehrsleistung in etwa konstant. Bei einer geringen Zunahme der Verkehrsleistung überkompensieren die Reduktionsmaßnahmen die Zunahme der Emissionen aufgrund der höheren Verkehrsleistung, die Gesamtemissionen nehmen etwa um ein Viertel ab. Bei einer größeren Verkehrsleistung gelingt die Kompensation nicht mehr und die Gesamtemissionen nehmen um knapp ein Viertel zu. Nach dem optimistischen Szenario hingegen, bei dem das Gasöl vollkommen durch alternative Kraftstoffe ersetzt wird, nehmen die Emissionen bei einer geringen Zunahme der Verkehrsleistung um etwa Zweidrittel und bei einer höheren Zunahme der Verkehrsleistung um etwa die Hälfte ab. Damit scheinen folgende Schlussfolgerungen zulässig:

- Eine breite Anwendung der heute schon verschiedentlich genutzten technischen und betrieblichen Energieeinsparungsmaßnahmen einschließlich der Nutzung von LNG als Kraftstoff sowie eine weitergehende Zunahme der durchschnittlichen Schiffsgröße ermöglichen, die betrieblichen Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt auch bei einer kontinuierlichen Zunahme der Güterverkehrsleistung in etwa konstant zu halten.
- Eine deutliche Reduzierung der absoluten Menge der betrieblichen Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt bei einer gleichzeitigen kontinuierlichen Zunahme der Güterverkehrsleistung wird dann möglich sein, wenn im großen Umfang neben LNG auch Biokraftstoffe und Kraftstoffe, die mit Hilfe von regenerativen Energien gewonnen wurden, eingesetzt werden.

Vorstehendes Rechenmodell ist sehr einfach gestaltet und die Szenarien beruhen auf Grobabschätzungen. Daher ist anzustreben, das Modell mit Hilfe von Fachleuten aus der Wissenschaft und insbesondere den betroffenen Wirtschaftsbereichen zu validieren. Danach könnte es ein wichtiges Werkzeug für die Entwicklung von Klimaschutzzielen, von Strategien wie etwa zu den künftigen Binnenschiffahrtskraftstoffen und von Programmen für eine klimafreundliche Binnenschiffahrt werden.

Im vorliegenden Fall wurde das Modell genutzt, um Szenarien für die westeuropäische Binnenschiffahrt zu entwickeln. Durch Änderung der Eingabeparameter kann es auch für ausgewählte Fahrtgebiete oder kleine Flotten genutzt werden. Beispielsweise wäre bei der Bildung von Szenarien für Wasserstraßen, die nur kleine Schiffsabmessungen zulassen, von einer geringen oder gar ausbleibenden Zunahme der Tragfähigkeit der Schiffe auszugehen.

Bibliographie

- ADEME (2006). Etude sur le niveau de consommation de carburant des unites fluviales francaises, ADEME, VNF, TL&A.
- Ahrens, R. (2011). Biokraftstoffe sind weltweit ein Hit. VDI nachrichten. Düsseldorf, VDI. **36**.
- Alvik, S., M. Eide, et al. (2010). Pathways to low carbon shipping. Abatement potential towards 2030. Høvik, Norway, DNV (Det Norske Veritas AS).
- Andersen, P. (2011). Reduzierung der CO₂-Emissionen durch dieselelektrische Antriebe des Neubaus eines Kabinenschiffes. CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt - Wie sind sie zu messen? Wie zu reduzieren? Strasbourg, Zentralkommission für die Rheinschifffahrt: 12.14.2011.
- Arntz, H. J. G. J. (2010). IVR Report on the impact on implementaion of low sulphur fuel in seagoing per 1-1-2010 and inland navigation per 01-01-2011 from a practice viewpoint. Rotterdam, IVR.
- BMW (2010). Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung
28. September 2010. Berlin, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).
- Borken-Kleefeld, J. and R. Sausen (2011). "Wieviel tragen "klassische" Luftschadstoffe zu globalen Erwärmung bei?" Internationales Verkehrswesen **63**(1).
- Brons, M. and P. Christidis (2011). External cost calculator for Marco Polo freight transport proposals.
- Buhaug, Ø., J. J. Corbett, et al. (2009). Second IMO GHG Study 2009. London UK, International Maritime Organization (IMO).
- Bundesregierung (2004). Die Kraftstoffstrategie - Alternative Kraftstoffe und innovative Antriebe. Berlin, Presse und Informationsamt der Bundesregierung.
- CEMT (2000). Sustainable Transport Policies. C. o. Ministers. Paris, European Conference of Ministers of Transport.
- Christophel, C. D. (2011). Reduzierung der CO₂-Emissionen durch diesel-elektrische Antriebe am Beispiel eines bestehenden Motorgüterschiffes. CO₂-Emissionen der Binnenschifffahrt - Wie sind sie zu messen? Wie zu reduzieren? Strasbourg.
- Commission, E. (2011). Roadmap to a Resource Efficient Europe. Brussels.
- Consuegra, S. C. and M. S. M. Paalvast (2010). Sustainability in Inland Shipping, The use of LNG as Marine Fuel. Delft, Delft University of Technology.
- Contargo (2011). Der CO₂ Fussabdruck eines Containertransportes. Contargo.
- Croo, H. (2011). Parallel Workshop 3 - Propulsion-related measures to reduce the CO₂ emissions from inland navigation. Inland Navigation CO₂ emissions - How to measure them? How to reduce them? Strasbourg.
- Csutora, M. (2012). "One More Awareness Gap? The Behaviour-Impact Gap Problem." Journal of Consumer Policy **35**.
- de Grave, H. and M. Van Wirdum (2006). Brandstofbesparende en CO₂-reducerende technieken in de binnenvaart. B. I. Binnenvaart and SenterNovem. Rotterdam, Bureau Innovatie Binnenvaart.
- de Jong, J. (2010). Electric ship. Barge to Business. Brussels.
- de Schepper, K. (2011). Parallel Workshop 1 - Methods to determine the CO₂ emissions from inland navigation. Inland Navigation CO₂ emissions - How to measure them? How to reduce them? - Workshop of the CCNR. Strasbourg.
- de Vries, A. J. (2012). Programm „Smart Steaming“. G. Pauli.
- de Wilde, H. and E. Weijers (2008). Schone rondvaart Amsterdam - Een verkenning van technische en beleidsmatige mogelijkheden, ECN.
- den Boer, E., M. Otten, et al. (2011). STREAM International Freight 2011 - Comparison of various transport modes on a EU scale with the STREAM database. Delft, CE Delft.
- DENA (2011). Entwicklung einer Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie für Deutschland –Voruntersuchung. Berlin, Deutsche Energie-Agentur.
- Denier van der Gon, H. and J. Hulskotte (2010). Methodologies for estimating shipping emissions in the Netherlands - A documentation of currently used emission factors and data on related activity. BOP reports. AH Bilthoven, The Netherlands, Netherlands Environmental Assessment Agency, (PBL).
- Eder, S. W. (2011). Klage auf Schadensersatz wegen CO₂-Emissionen. VDI nachrichten. Düsseldorf, VDI-Verlag.

- Elkins, P., F. Kesicki, et al. (2011). Marginal Abatement Cost Curves: A call for caution. London, UCL Energy Institute.
- Essen, v., Rijke, et al. (2009). Modal split and decoupling options. Paper 5 produced as part of contract ENV.C.3/SER/2008/0053 between European Commission Directorate-General Environment and AEA Technology plc.
- EU (2011a). White Paper - Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system – Presidency's Synthesis of Member States' views, Council of the European Union.
- EU (2011b). White Paper 'Roadmap to a single European transport area — Towards a competitive and resource-efficient transport system'. E. C.-I. f. E. a. Sustainability. Luxembourg, Publications Office of the European Union.
- EU (2011d). COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT - Accompanying the White Paper - Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system. Brussel, European Commission.
- EU (2012). Towards "NAIADES II" - Promoting, greening and integrating inland waterway transport in the single EU transport area. E. Commission. Brussels, European Commission.
- EU (2012a). Vorschlag für eine RICHTLINIE DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES zur Änderung der Richtlinie 98/70/EG über die Qualität von Otto- und Dieselmotoren und zur Änderung der Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. E. Kommission. Brüssel.
- Eurostat. (2009). "Transport modal breakdown." Retrieved 12.8., 2011, from http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Transport_modal_breakdown.
- Faber, J., B. Behrends, et al. (2011). Analysis of GHG Marginal Abatement Cost Curves. Delft, CE Delft.
- Fuels (2011). Future Transport Fuels, European Expert Group on Future Transport Fuels.
- Fuels (2011a). Infrastructure for Alternative Fuels. E. E. G. o. F. T. Fuels.
- Geerts, S., B. Verwerft, et al. (2010). Improving the efficiency of small inland vessels. European Inland Waterway Navigation Conference. Baja, Hungary.
- Georgakaki, A. and S. C. Sorenson (2004). Report on Collected Data and Resulting Methodology for Inland Shipping. Lyngby, Denmark, Technical University of Denmark.
- Geringer, B. and W. K. Tober (2010). auto-umwelt.at. Wien, Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK).
- Guesnet, T. (2011). Energy efficiency of inland water ships - and how to improve it. Inland Navigation CO₂ emissions - How to measure them? How to reduce them? Strasbourg.
- Hausberger, S. N₂O aus mobilen Quellen. ACCC-Workshop „N₂O und das Kyoto-Ziel.
- Hazeldine, T., A. Pridmore, et al. (2009). Technical Options to reduce GHG for non-Road Transport Modes. Paper 3 produced as part of contract ENV.C.3/SER/2008/0053 between European Commission Directorate-General Environment and AEA Technology plc. EU Transport GHG: Routes to 2050?, European Commission.
- Heidelberg, I.-., Öko-Institut, et al. (2011). "Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transports, Methodology and Data Update." Retrieved 13 October 2012, from http://www.ecotransit.org/download/ecotransit_background_report.pdf.
- Houghton, J. T., L. G. Meira Filho, et al. (1996). Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of WGI to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University Press; Published by the Press Syndicate of the University of Cambridge.
- Ickert, L., M. Ulrike, et al. (2007). Abschätzung der langfristigen Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland bis 2050. Basel, protrans.
- IEA (2011a) "The age of cheap energy is over, IEA Executive Director warns."
- IEA (2011b) "Biofuels can provide up to 27% of world transportation fuel by 2050, IEA report says - IEA 'roadmap' shows how biofuel production can be expanded in a sustainable way, and identifies needed technologies and policy actions."
- IFEU (2011). Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transports, IFEU Heidelberg, Öko-Institut, IVE/RMCON.
- IMO (2009). Report of the Marine Environment Protection Committee on its Fifty-Ninth Session London, IMO.
- INE, EBU, et al. (2011). Setting the course - A new transport policy. E. S. O. European Barge Union, Inland Navigation Europe. Brussels.

- ITP and BVU (2007). Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025 - Kurzfassung. München/Freiburg.
- Jahn, C. (2010). Klimaschutz und Seeschifffahrt. Bonn, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
- Jahn, C. (2010a). Regulierungsmaßnahmen zum Klimaschutz in der Seeschifffahrt: EEDI, EEOI, SEMP. Bonn, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung
- Jansen, F., I. Jansen, et al. (2010). VOF AMULET -ECOTANKER: Sail the Green way, and reduce CO₂. Barge to Business. Brussels.
- Kammertöns, O. (2011). CO₂ reduction due to "topography orientated" voyage-planning and navigation - Prerequisites of ship handling simulators as training tool. Inland Navigation CO₂ emissions - How to measure them? How to reduce them? Strasbourg.
- Kampman, B., X. Rijkee, et al. (2009). Operational options for all modes. Paper 4 produced as part of contract ENV.C.3/SER/2008/0053 between European Commission Directorate-General Environment and AEA Technology plc.
- Knörr, W., C. Heidt, et al. (2011). Aktualisierung der Emissionsfaktoren und Verkehrsleistungen von Binnenschiffen und Übertragung ins TREMOD-Programm -Endbericht. Heidelberg, IFEU Öko-Institut e.V.
- Knörr, W. u. M. v. K., F., Lambrecht, U. und Schacht, A. (2010). Fortschreibung und Erweiterung "Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030 IFEU Heidelberg für Umweltbundesamt.
- Koopmans, M. (2011). CO₂-Reduction of InlandNavigationin The Netherlands. Inland Navigation CO₂ emissions - How to measure them? How to reduce them? Strasbourg.
- Krijgsman, M. (2010). Hydrogen for inland ships. Barge to Business. Brussels.
- Kruse, C., A. Protopapas, et al. (2009). Modal Comparison of Domestic Freight Transportation – Effects on the General Public. USA, U.S. Maritime Administration and the National Waterways Foundation; Texas Transportation Institute, Center for Ports & Waterways, The Texas A&M University System, College Station, Texas.
- Lenz, H. P., B. Illini, et al. (2004). Neue Prognose der Abgasemissionen in Deutschland und europäische Perspektiven. Innovative Fahrzeugantriebe, Dresden, VDI Verlag.
- Lutz, A. and E. D. Gilles (2011). Reduction of Fuel Consumption by Using Automatic Path-Following Systems. Inland Navigation CO₂ emissions - How to measure them? How to reduce them? Strasbourg.
- McKinnon, A. and M. Piecyk (2010). Measuring and Managing CO₂ Emissions of European Chemical Transport, CEFIC.
- Miola, A., B. Ciuffo, et al. (2010). Regulating Air Emissions from Ships - The State of the Art on Methodologies, Technologies and Policy Options. Luxembourg, European Commission, Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability.
- Müller-Wondorf (2012). Bei Post und Bahn stehen die Logistikweichen auf Grün. VDI nachrichten. Düsseldorf, VDI. **22**.
- NEA, Planco, et al. (2012). Medium and Long Term Perspectives of IWT in the European Union. Zoetermeer, The Netherlands.
- NOAA. "The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI)." from www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/.
- OECD (2002). OECD Guidelines towards Environmentally Sustainable Transport. Paris, OECD Publishing: 56.
- Panteia, PLANCO, et al. (2012). Inception Report - Contribute to the Impact Assessment of
- Pauli, G. (2010). "Sustainable transport: A case study of Rhine navigation." Natural Resources Forum **34**: 18.
- PLANCO (2007). Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Bahn und Wasserstraße; Schlussbericht. Magdeburg, PLANCO Consulting GmbH, Essen, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.
- PLATINA (2009). Innovation database.
- Progtrans (2007).
- Renner, V. (2005). "Modernisierung der Binnenschiffsflotte - Chancen und Möglichkeiten einer beschleunigten Implementierung technischer Neuerungen in bestehende Binnenschiffe." Binnenschifffahrt - ZfB.
- Renner, V. and W. Bialonski (2004). Technische und wirtschaftliche Konzepte für flußangepaßte Binnenschiffe. Duisburg, Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V.
- Reuss, I. (2012). Mobilität der Zukunft hat viele Facetten. VDI nachrichten. Düsseldorf, VDI **42**.

- Savelkoul, D. (2011). EconomyPlanner. Inland Navigation CO₂ emissions - How to measure them? How to reduce them? Strasbourg.
- Scherm, P. (2011). Engine manufacturers' considerations on Emissions Reduction in Inland Waterway Transport. Inland Navigation CO₂ emissions - How to measure them? How to reduce them? . Strasbourg.
- Schilperoord, H. A. (2004). Binnenvaart voortdurend duurzaam – Environmental Performance of Inland Shipping. Arnheim, Royal Haskoning for Centraal Bureau Rijn- en Binnenvaart Koninklijke Schuttevaer.
- Schreyer, C., C. Schneider, et al. (2004). External Costs of Transport, Update Study, INFRAS und IWW (Universität Karlsruhe).
- Schroten, A., H. van Essen, et al. (2010). External and infrastructure costs of freight transport Paris-Amsterdam corridor - Deliverable 1: Overview of costs, taxes and charges. Delft.
- Schuh, H. (2011). Biostrom, nein danke! Zeit Online.
- Schulze, M. (2012). Power-to-Gas: Wirkungsgrad konkurrenzfähig. VDI nachrichten. Düsseldorf, VDI. **10**.
- Schweighofer, J. (2011). Parallel Workshop 2 – Hydrodynamic measures to reduce the CO₂ emissions from inland navigation. Inland Navigation CO₂ emissions - How to measure them? How to reduce them? Strasbourg.
- Seum, S., C. Bahlke, et al. (2011). Umweltschonender Schiffsbetrieb - PROSA Studie zum RAL Umweltzeichen UZ 110. Berlin, Freiburg, Öko-Institut.
- Shuto, H. (2011). Super Eco Inland Vessels, Line –Shaft Contra Rotating Propellers with Diesel Electric Propulsion System. Inland Navigation CO₂ emissions - How to measure them? How to reduce them? . Strasbourg.
- Söhngen, B., S. Knight, et al. (2008). Considerations to reduce environmental impacts of vessels.
- Solomon, S., D. , M. Qin, et al. (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- Spielman, M., M. Faltenbacher, et al. (2010). Energiebedarfs- und Emissionsvergleich von LKW, Bahn und Schiff im Güterfernverkehr. Leinfelden – Echterdingen, Deutschland: 56.
- ten Broeke, I. (2011). Parallel Workshop 4 - Operational measures to reduce the CO₂ emissions from inland navigation. Inland Navigation CO₂ emissions - How to measure them? How to reduce them? Strasbourg.
- Trechow, P. (2012). Biokraftstoffhersteller in der Offensive. VDI nachrichten. Düsseldorf, VDI. **10**.
- Uherek, E., T. Halenka, et al. (2010). "Transport impacts on atmosphere and climate: Land transport." Atmospheric Environment **44**(37): 4772-4816.
- UNECE. (2012). "CO₂ emissions from inland transport: statistics, mitigation polices, and modelling tools." from <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/themes/2012 - UNECE - Global Status Report October 2012 - final version.pdf>.
- UNEP. (2011). "Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication - A Synthesis for Policy Makers." Retrieved 19.5.2011, 2011, from www.unep.org/greeneconomy.
- van der Meij, K. (2011). CO₂ emission reduction by hull form optimisation using CFD. Inland Navigation CO₂ emissions - How to measure them? How to reduce them? Strasbourg.
- Van Essen, H. and E. den Boer (2012). Assessment of external costs of inland waterway transport in the Marco Polo Calculator. Delft.
- van Kempen, D. (2010). Smart Steaming. Barge to Business. Brussels.
- van Terwisga, P. (2011). Air Lubrication as a means to reduce Cost and CO₂ emissions in Inland Shipping. Inland Navigation CO₂ emissions - How to measure them? How to reduce them? Strasbourg.
- Veen, D. (2012). Does Greening Pay off? Barge to Business. Vienna.
- Verbeek, R., G. Kadijk, et al. (2011). Environmental and Economic aspects of using LNG as a fuel for shipping in The Netherlands. Delft, TNO: 48.
- Vogt-Schilb, A. and S. Hallegatte (2011). When Starting with the Most Expensive Option Makes Sense - Use and Misuse of Marginal Abatement Cost Curves. Policy Research Working Paper, The World Bank.

- Wittenbrink, P. and G. Gburek (2009). Green Logistics als Gewinner-Thema in stürmischen Zeiten, Ergebnisse einer Befragung der Dualen Hochschule Baden-Württemberg mit dem Bundesverband Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik (BME). Frankfurt/Lörrach Bundesverband Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik e.V. (BME); Duale Hochschule Baden-Württemberg Lörrach.
- ZKR and EK (2009). Marktbeobachtung Nr. 7. Europäische Binnenschifffahrt - Marktbeobachtung. Strasbourg. 2008-I.
- Zoer, S. (2011). Energielabel binnenvaart, Verkennend onderzoek. Utrecht, ECOFYS.
- Zöllner, J. (2009). Strömungstechnische Möglichkeiten zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen von Binnenschiffen. ZKR Kongress „Rheinschifffahrt und Klimawandel“. Bonn.
