Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

Entwicklung von Indizes für die Energie-Effizienz und die Treibhausgasintensität von Binnenschiffen

Anlagen zum Schlussbericht: Kurzfassung englisch, Kurzfassung deutsch und Handbuch

BMDV-Auftragsforschung: FE-Nr.: VB3000355

Erstellt durch:

Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V. (DST)

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen des Verfassers bzw. der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben. Die Verantwortung für den Inhalt liegt daher ausschließlich beim Autor.

Die Verwendung dieses Forschungsberichts oder Auszüge hieraus durch Dritte sind nur mit Quellenangabe zulässig.

Energy efficiency and greenhouse gas intensity of inland waterway vessels

Summary of report no. 2376

Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V.
Development Centre for Ship Technology and Transport Systems

Contracting Authority:
Federal Ministry for Digital and Transport
Invalidenstr. 44
10115 Berlin

Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e. V.
DST – Development Centre for Ship Technology and Transport Systems

Oststr. 77
47057 Duisburg

Tel. +49 203 99369-0
Fax +49 203 99369-70
e-mail dst@dst-org.de
web www.dst-org.de

Member of the Johannes-Rau-Forschungsgemeinschaft e. V.

Institute at the University of Duisburg-Essen

Member of the International Towing Tank Conference

Contents

1 Introduction 9

2 Relevant developments 11

3 Concretization of the proposed energy efficiency indices 14

4 Measurements on full-scale ships for determining the greenhouse gas intensity of inland waterway vessels 19

5 Proposal for a reliable and low-cost procedure for determining the $EEDI_{inland}$ 24

6 Situation and outlook 28

7 References 29

Figures

Figure 1: Energy efficiency indices for assessing the CO_2 greenhouse gas intensity of inland navigation vessels – Part 1 17

Figure 2: Energy efficiency indices for assessing the CO_2 greenhouse gas intensity of inland navigation vessels – Part 2 18

Figure 3: Overview of potential navigation areas and vessel types 19

Figure 4: Exemplary measurement results during an $EEDI_{inland}$ trial on a river 20

Figure 5: Exemplary results, the $EEDI_{inland}$ reference curve ranges between light and dark red, the categories below and the attained $EEDI_{inland}$ are also shown 21

Figure 6: Overview of all EEDI determined by STG and/or fuel consumption measurements for different vessel types and navigation areas 21

Figure 7: Overview of all determined $EEDI_{inland}$ in the A I navigation area including reference line 22

Figure 8: Procedure for determining $EEDI_{inland}$ – part 1 26

Figure 9: Procedure for determining $EEDI_{inland}$ – part 2 27

Tables

Table 1: Overview of the time needed per work step for an $EEDI_{inland}$ determination, using the example of a shaft rotational power measurement 24

Abbreviations

ADN	[-]	European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Inland Waterways
GT	[-]	Gross tonnage
CESNI	[-]	European Committee for drawing up Standards in Inland Navigation
CII	[-]	Carbon Intensity Indicator
STG	[-]	Strain gauge
ECU	[-]	Engine Control Unit
EEDI	$\left[\frac{g\ CO_2}{tkm}\right]$	Energy Efficiency Design Index
EEOI	$\left[\frac{g\ CO_2}{tkm}\right]$	Energy Efficiency Operational Indicator
EEXI	$\left[\frac{g\ CO_2}{tnm}\right]$	Energy Efficiency Existing Ship Index
GLW	[cm]	Equivalent Water Level
FCM	[-]	Fuel consumption measurement
MMSI	[-]	Maritime Mobile Service Identity
RHK	[-]	Rhine-Herne Canal
SEEMP	[-]	Ship Energy Efficiency Management Plan
TEU	[-]	Twenty-foot Equivalent Unit
GHG	[-]	Greenhouse gas
TOC	[-]	Transport Operations Category
CCNR	[-]	Central Commission for the Navigation of the Rhine

Symbols

B	[m]	Breadth of vessel
B_W	[m]	Breadth of water surface
B_S	[m]	Breadth of waterway bed
C_F	[-]	CO_2 equivalent of diesel (3.167 $\frac{g\ CO_2}{g\ Diesel}$)
D	[nm], [km]	Distance
dw	[t]	Deadweight
Fr_h	[-]	Depth Froude number
FR	$\left[\frac{l}{h}\right]$	Fuel consumption
h	[m]	Water depth
j	[-]	Transport number
L	[m]	Length of vessel
P_B	[kW]	Braking power
P_N	[kW]	Rated power
$P_{D\ (ship\ type)\ (Upstream-\ or\ Downstream\ or\ mean)}$	[kW]	Shaft power index: Vessel type (MS – dry-carco vessels, TMS – tankers, SV – pushed convoys, FGS – passenger vessels), Index: upstream or downstream (upstream or downstream shaft power) or mean (time-weighted mean shaft power)
P_{ME}	[kW]	75% of the total installed shaft power
SFC	$\left[\frac{g\ diesel}{kWh}\right]$	Specific fuel consumption
T	[m]	Draught
V_{ref}	[kn]	Reference speed
V_{str}	$\left[\frac{km}{h}\right]$	Current velocity
$V_{üG}$	$\left[\frac{km}{h}\right]$	Speed over ground
$V_{üG\ updstream}$	$\left[\frac{km}{h}\right]$	Speed over ground – upstream
$V_{üG\ downstream}$	$\left[\frac{km}{h}\right]$	Speed over ground – downstream
V_{dW}	$\left[\frac{km}{h}\right]$	Speed through water
Δ	[t]	Displacement [m³] · $density_{water}$ $\left[\frac{t}{m^3}\right]$
Q_{shaft}	[Nm]	Propeller shaft torque

n_{shaft}	$\left[\frac{1}{\text{min}}\right]$	Propeller shaft speed
$n_{\text{powertrain}}$	[-]	Powertrain efficiency
ρ_{fuel}	$\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$	Fuel density

1 Introduction

The study commissioned by the Federal Ministry for Digital and Transport (BMDV) on the topic of 'Energy efficiency and greenhouse gas intensity of inland waterway vessels' is a continuation of the preceding study entitled 'Evaluation of the energy demand of inland waterway vessels using energy efficiency indices', which the Development Centre for Ship Technology and Transport Systems (DST) completed in 2019, [1]. The objectives of the follow-up study are:

1. verification of the results of the first study with the help of full-scale trials on board vessels
2. adjustment of the theoretically obtained approaches, if necessary
3. development of a proposal for a reliable and cost-effective procedure for determining the proposed energy efficiency indices

The proposed labelling approach builds on established procedures in international maritime shipping and is based on energy efficiency indices. These indices were adapted for inland navigation to take into account the technical and operational peculiarities of inland navigation. Essentially, an Energy Efficiency Design Index ($EEDI_{inland}$) and an Energy Efficiency Operational Indicator ($EEOI_{inland}$) were developed in the preceding study.[1]

Both indices are based on the 'tank-to-wake' perspective and take into account the hydrodynamic properties of the propelled vessel. The energy and emission values determined go beyond the engines and cover the entire vessel and its transport performance. The results are indicated in g CO_2 / tkm.

The $EEDI_{inland}$ deals with the energy converter for the powertrain and the $EEOI_{inland}$ with the total energy demand on board during operation.

The following steps were taken to achieve the objectives described above:

1. First, the latest developments in energy efficiency indices in the field of maritime shipping and inland navigation were taken into account, which led to a specification of the intended uses and a reorganization of the previously proposed indices for inland navigation.
2. This was followed by an examination of previously publicized proposals for improving the implementation of energy efficiency indices in the inland navigation sector.
3. Measurements on full-scale vessels were carried out on board 17 inland waterway vessels (tankers, dry-cargo vessels, passenger vessels, and pushed convoys) to validate and adjust the existing reference curves. These included shaft rotational power measurements, fuel consumption measurements and analyses of existing telemetry data. The greenhouse gas emissions were calculated on the

[1] A summary can be found at: https://www.cesni.eu/wp-content/uploads/2021/03/cesnipt_energyindex_en.pdf

basis of the (measured) shaft power or fuel consumption using emission factors. A total of 19 vessel-specific $EEDI_{inland}$ trials were carried out in different areas of navigation, during which the proposed and evolved determination method was applied and tested.

4. In the course of the study, a calculation and recording tool was developed using the practical experience gained, which, together with the formulated requirements to be met by the measurements provides a workable proposal for a procedure for determining energy efficiency indices for inland waterway vessels.

2 Relevant developments

The following developments in relation to emission labelling approaches in maritime and inland waterway transport were taken into account:

1. DIN EN ISO 14083:2023-11 and EN ISO 14083:2023 (D)

   The standard contains guidelines for quantifying and reporting greenhouse gas emissions of passenger and freight transport chains and refers to the Global Logistics Emissions Council (GLEC). This standard was developed by the Technical Committee ISO/TC 207 (Environmental Management) in collaboration with the Technical Committee CEN/TC 320 (Transport - Logistics and Services) and has been implemented into national law by Germany.

2. Research results from the PLATINA 3 project

   In the 'Report on implementation of European IWT emission label / energy index / GLEC for vessels,' [1], of the EU PLATINA 3 project, the approaches to determining and describing the energy efficiency and emission levels of inland vessels publicized in literature, study results and standards are described, categorized and compared.

   The following levels and assessment parameters have been defined:

   A. Installed engine as the primary energy consumer for propulsion (without vessel)

   B. All primary energy consumers, e.g. for propulsion, heating, cooling, auxiliary propulsion systems, pumps, other consumers on board, etc. (without vessel)

   C. Installed engine as primary energy consumer of a vessel, taking into account the hydrodynamics of the vessel for defined operating conditions

   D. All primary energy consumers of a vessel, taking into account the entire navigation profile (including capacity utilization, empty runs and speeds travelled at) when carrying out transports

   E. Total primary energy consumption of an entire transport chain from door to door, taking into account all modes of transport involved and transhipment

   The following is a detailed description of the categorized approaches, naming and describing the data sources, the calculation methods, the results and the expected reliability. A multi-criteria analysis was carried out to evaluate the existing approaches in the aforementioned categories in detail.

   One of the report's key findings is that categories A and E are not currently needed. The engine-related emission label in g CO_2 / kWh introduced in the Netherlands is to be assigned to category B, the $EEDI_{inland}$ approach to category C and the GLEC and $EEOI_{inland}$ approaches to category D. For categories B, C and D, these approaches are described with their advantages and disadvantages.

3. Developments in the **E**nergy **E**fficiency **D**esign **I**ndex (EEDI) in maritime shipping

   As early as in June 2011, IMO adopted, with Resolution MEPC.203(62), a binding policy measure to improve energy efficiency in international shipping, [11]. The permissible CO2 emissions are to be reduced in stages by lowering CO2 emissions by a certain percentage based on the EEDI reference line (reduction factors). The EEDI approach introduced in 2013 will continue to be used as a tool to achieve the target.

   In 2020, the adoption of Resolution MEPC.324(75) brought forward the CO_2 reduction factors for gas tankers, container ships, general cargo ships, LNG tankers and cruise ships to the same year, [12].

   The GHG strategy for the reduction of greenhouse gas emissions from ships adopted in 2023 (Resolution A.963(23)) provides that greenhouse gas emissions from international shipping should be further reduced, [13]. IMO aims to gradually eliminate these emissions as soon as possible, calling for a just and equitable transition as part of this strategy.

4. Introduction of the **E**nergy **E**fficiency e**X**isting ship **I**ndex (EEXI) in maritime shipping in 2023

   The EEXI is another measure introduced by IMO to reduce greenhouse gas emissions from ships. It relates to the technical design of a ship. Ships must obtain an EEXI approval once in their lifetime, at the latest by the first periodical survey.

   The EEXI aims to achieve a 50% reduction in CO_2 in the existing fleet for all ships with a gross tonnage (GT) of more than 5,000 by 2050 (40% reduction by 2030) and was introduced in 2023. In concrete terms, this means that the same ship-related parameters as for the EEDI are applied to the existing fleet.

5. Introduction of the **C**arbon **I**ntensity **I**ndicator (CII) in maritime shipping in 2023

   From 2023, the CII requirements apply to all cargo, RoPax and cruise ships with more than 5,000 GT in international transport. The CII is used to determine how efficiently a ship transports goods or passengers. The indicator is expressed in grams of CO_2 emissions per cargo capacity and nautical mile. The vessel then receives an annual rating ranging from A to E, with the rating thresholds becoming stricter by 2030. While the EEXI is a one-time ship-related certification, the CII is used to determine the annual energy efficiency of ship operations. The Carbon Intensity Indicator (CII) rankings are based on the reported data. Ship operators must equip their ships with fuel consumption sensors, determine the fuel consumption over a period of one year and report the fuel consumption to IMO's Fuel Oil Data Collection System (see IMO MEPC70, [14]).

6. Continuation of the **S**hip **E**nergy **E**fficiency **M**anagement **P**lan (SEEMP)

   The Ship Energy Efficiency Management Plan is an operational measure that points out a path to improve a ship's energy efficiency in a cost-effective manner. The SEEMP also provides a framework for shipping companies to monitor the energy efficiency performance of the ship and the fleet over time, for example, using the Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) as a monitoring tool. Operators of larger ships have to achieve and demonstrate greater CO_2 reductions.

7. Purpose of the **E**nergy **E**fficiency **O**perational **I**ndicator (EEOI)

   The EEOI is an indicator that is non-binding but recommended by IMO to assess the operational energy efficiency of ships. The indicator determines the average CO_2 emissions per transported cargo tonnage and distance, usually in g CO_2 / tonne-mile. In contrast to the CII, the EEOI can be adapted to different ship types, load conditions and routes. The EEOI is mainly used as a voluntary internal management tool for shipping companies to optimize ship operations.

8. The CountEmissionsEU approach

   In July 2023, the European Commission, in the context of the European Green Deal [4], [5] and the European Climate Law [6], presented a package of proposals for greening freight transport [7]. These include a proposal for a harmonized methodology for calculating greenhouse gas emissions in the transport sector. This methodology is referred to as CountEmissionsEU. The initiative covers both freight and passenger transport. It aims to ensure that the GHG emission data provided for transport services is reliable and accurate, in order to enable a fair comparison between transport services. Further details can be found, for example, in the introduction to the 'EU Legislation in Progress' briefing [9].

   A total of six policy options were proposed for an impact assessment, see pages 14/15 in [7]. As part of the impact assessment, stakeholders from the various transport sectors were consulted. The results of the survey are discussed, compared and evaluated in accordance with various criteria in [8].

9. The 2030 Emission Reporting Ordinance under the Emissions Trading Act (EBeV 2030) came into force on 31 December 2022 [3]. It contains the emission and conversion factors for determining CO_2 emissions. The energy-related or calorific value-related emission factor for gas oil is also given in the Ordinance as 0.074 t CO_2 / GJ and thus corresponds to the energy-related CO_2 emission factor of the Federal Environment Agency. The calorific value for gas oil is specified in the EBeV 2030 as 42.8 GJ/t, resulting in an emission factor for gas oil of 3.1672 t CO_2 / t gas oil. Furthermore, the EBeV 2030 specifies the density of gas oil as 845 kg / m^3. These factors were adopted and used in the determination of the indices.

Detailed explanations on the summarized references with further source references can be found in report 2376.

3 Concretization of the proposed energy efficiency indices

Within the framework of the study, the innovations and current developments in connection with the energy efficiency labelling of seagoing ships and inland waterway vessels led to a concretization and reorganization of the two indices proposed in the 2019 DST study.

1. The $EEDI_{inland}$ remains the proposed instrument for measuring greenhouse gas emissions (focus on carbon dioxide, CO_2) for the propulsion of inland waterway vessels in g CO_2 / tkm. The vessel's resistance, the propulsion quality and the properties of the energy converter are taken into account. The aim of the assessment is to identify the greenhouse gas emissions of the ship technology placed on the market under defined trial and environmental conditions. The instrument makes it possible to assess the effectiveness of technical measures and allows for the monitoring of technical developments in inland navigation in the coming decades and is detached from operational or factors related to transport logistics.

   The $EEDI_{inland}$ can be seen as one module of a comprehensive labelling framework for assessing the energy efficiency and greenhouse gas (GHG) emissions of inland waterway vessels.

   On the way to climate-neutral inland navigation, future vessels and technologies should be both low-emission and energy-efficient. Thus, a vessel equipped with an innovative engine, e.g. a dual-fuel methanol engine that reduces GHG emissions, may still have a suboptimal design and propulsion system. Even if the engine has low GHG emissions in a testing environment, the total energy demand on board could result in higher emissions than a conventional vessel with a stage V diesel engine has. This can be assessed using the proposed $EEDI_{inland}$ approach.

   By assessing newly built vessels using this method, the performance and greenhouse gas intensity of vessel concepts and technologies that are introduced can be monitored and assessed over the coming years and decades. The instrument also makes it possible to assess the effectiveness of technical measures independently of operational or environmental factors. The determination based on predefined environmental conditions is even advantageous, as e.g. the low water periods in rivers that are to be expected more frequent in the future could lead to a general increase in energy demand. The $EEDI_{inland}$ to be determined under standardized trial conditions thus allows for a differentiated representation of the GHG emissions in comparison to the actual GHG emissions of inland waterway vessels in individual operation and under varying environmental conditions.

The $EEDI_{inland}$ can be determined for both new-builds and existing vessels. It is proposed that the fuel consumption of new-builds be determined using an external fuel consumption measuring device or that the rotational power applied (torque/rotational speed measurement) be determined using a strain gauge (STG) installed on the propeller shaft. In addition, the measurement of the power of electric propulsion motors can be used analogously to the measurement of fuel consumption. An EEDI trial run specific to the vessel type and area of navigation must be carried out that can be combined with the navigation trial in accordance with ES-TRIN, Chapter 5 and ESI-II-3, i.e. the trial can be carried out as part of the general navigation trial. For new-builds, an entry could be made in the vessel certificate.

If the transport policy objective is to also assign an energy efficiency index to existing vessels in order to retroactively record the current status of the existing fleet, the $EEDI_{inland}$ could be determined on the basis of engine control unit data for cost reasons. In these cases, however, the calculated $EEDI_{inland}$ should be increased by 15% due to greater measurement uncertainty[2]. Furthermore, this procedure is not intended to serve as a basis for entries into the vessel certificate. If no engine control unit data is available, a torque/rotational speed measurement must be carried out on the shaft or an external fuel consumption measuring device is needed. If a subsequent entry in the vessel certificate is desired, the above-mentioned measurement procedures must be used analogously to the way they are used for new-builds.

The EEDI can be calculated using the calculation tools and trial records developed and practically applied as part of this study. The trial records have proved to be viable in practice.

The index ($EEDI_{inland}$) could have the following format:

- <area of navigation>.<category> (area of navigation: I, II, III; category: A – G)

The example '**II.D**' thus indicates that the index was determined on a river and was assigned to category **D**.

2. For the assessment of operational energy efficiency or greenhouse gas intensity, a combination of the Carbon Intensity Indicator (CII), based on the approach used in maritime shipping, and the GLEC framework established in inland navigation using DIN EN ISO 14083:2023-11 is proposed on the basis of the previous research results. The inclusion of the aforementioned standard provides a link to various data sources in other European countries. The resulting index could be referred to as **CII_{inland}**.

   With this instrument, all energy consumers for the operation of the entire vessel are included in the calculation, e.g. for a period of one year, and the result is expressed in g CO_2 / tkm. The CO_2 footprint caused by the operation of the inland waterway vessel as a mode of transport can thus be quantified over the years. Real environmental, operating and transport conditions are covered.

[2] The proposed correction is based on the results of this study and may need to be adapted if there are new findings, see chapter 3.

One option is to collect the data that has already been gathered by the vessel operators as part of the quantification and reporting of greenhouse gas emissions of transport chains for passengers and freight centrally at European level, analogously to IMO's international Data Collection System (DCS). To this end, an appropriate European institution would have to be designated and entrusted with the management of the data. The DST proposes to request the following data in addition to the data already collected:

- Navigation area share per time unit (deep water, rivers (upstream/downstream navigation), canal)
- Type of vessel with ADN type
- Marine fuels used

The resulting data basis can be used to develop categories, e.g. for different vessel types or operating modes and index ranges (classification), similar to the CII in maritime shipping. In subsequent years, these categorized and classified CII rankings can be used to assess operational energy efficiency and greenhouse gas intensity.

3. As proposed in the 2019 DST study, vessel operators can continue to use the EEOI-inland to assess the operational energy efficiency or greenhouse gas intensity of their own vessel. Classification is not necessary in this case.

The following diagram in Figures 1 and 2 illustrates in compact form the proposals developed for the possible energy efficiency indices in inland navigation with regard to the $EEDI_{inland}$ and the CII_{inland}.

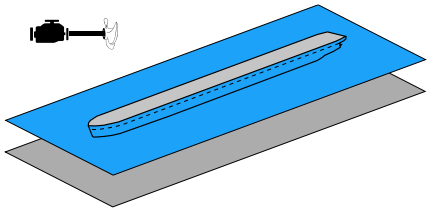
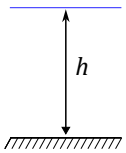
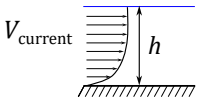
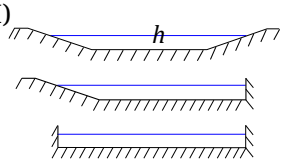
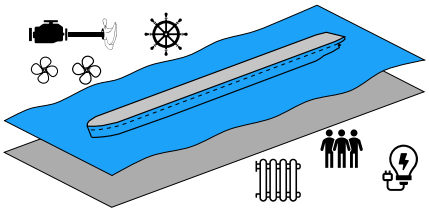
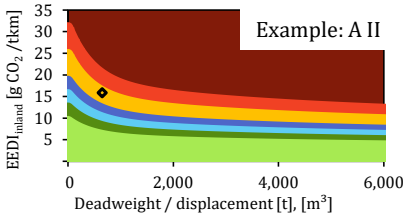
Category	**Design index $EEDI_{inland}$** Energy Efficiency Design Index	**Operational indicator CII_{inland}** Carbon Intensity Indicator
Assessment variables	• Greenhouse gas emissions for the propulsion of the ship in g CO_2 / tkm – Ship resistance – Propulsion – Energy converter for propulsion	• Greenhouse gas emissions for the operation of the entire ship in g CO_2 / tkm – All energy consumers
Area of application	New-builds (N) Certification / Existing fleet (B) Data collection • Dry-cargo vessels (MS) • Tankers (TMS) • Pushed convoys (SV) • Passenger and cabin vessels (FGS)	Ships in operation (F) • Dry-cargo vessels • Tankers • Pushed convoys • Passenger and cabin vessels
Assessment objective	• Determination of technology-related greenhouse gas intensity • Possibility to assess the effectiveness of technical measures	• Determination of the CO_2 footprint of the inland waterway vessel as a mode of transport
Trial and environmental conditions	 a) Deep water (A I) • h > 7.5 m • $V_{current}$ < 2 km/h  b) River with limited water depth (A II) • 3.5 m ≤ h ≤ 7.5 m • 2.0 km/h ≤ $V_{current}$ ≤ 8.0 km/h  c) Canal profiles (A III) • 3.9 m ≤ h ≤ 4.1 m  • Trial duration: 4 - 6 hours	 • Real-world and varying environmental conditions • Real-world and varying operational conditions • Real-world and varying transport conditions (incl. empty runs) • Data collection period: e.g. 1 year

Figure 1: Energy efficiency indices for assessing the CO_2 greenhouse gas intensity of inland navigation vessels – Part 1

<table>
<tr><th>Category</th><th>Design index $EEDI_{inland}$
Energy Efficiency Design Index</th><th>Operational indicator CII_{inland}
Carbon Intensity Indicator</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Measuring principle / data collection approach</td><td>New-builds (N) – certification</td><td>Ships in operation (F)</td></tr>
<tr><td>N.1. Installation of strain gauges (STG) on the propeller shaft
Use of an external fuel consumption measuring device or measurement of electrical motor power
N.2. Performance of an EEDI trial within the framework of ship trialling under one of the aforementioned environmental conditions and determination of a combination of propulsion power to speed
N.3. Calculation of the $EEDI_{inland}$
N.4. Assessment of the result to obtain the $EEDI_{inland}$ index (see below) and certification of the ship for A I, A II or A III (vessel certificate)
Existing fleet (B) – data collection
B.1. Determination with the help of the fuel consumption meter or the performance indicator of the engine control unit
(N.1 – N.4 can be used if so desired or if there is no engine control unit.)
B.2. Performance of an EEDI trial under one of the aforementioned environmental conditions
B.3. Calculation of the $EEDI_{inland}$ and increase by 15% to take account of the measurement uncertainty
B.4. Calculation of the $EEDI_{inland}$ index (see below). There is no certification.
For certification, N.1 – N.4 has to be followed.</td><td>• Determination in accordance with the guidelines of DIN EN ISO 14083:2023-11 for the quantification and reporting of greenhouse gas emissions arising from the operation of transport chains of passengers and freight (CO_2 reports)
• Centralized collection of annual emission data via a European institution that is to be defined
• Additional information must be documented:
– Vessel type with ADN type
– Navigation area shares per time unit (deep water, river, canal)
– Marine fuels used</td></tr>
<tr><td>Indices (proposals)</td><td> 

<table>
<tr><td>> 1</td><td>II.G</td></tr>
<tr><td>1 bis > 0.8</td><td>II.F</td></tr>
<tr><td>0.8 bis > 0.6</td><td>II.E</td></tr>
<tr><td>0.6 bis > 0.5</td><td>II.D</td></tr>
<tr><td>0.5 bis > 0.4</td><td>II.C</td></tr>
<tr><td>0.4 bis > 0.3</td><td>II.B</td></tr>
<tr><td>≤ 0.3</td><td>II.A</td></tr>
</table></td><td>• Classification of data using the additional information (data analysis)
• Definition of indices based on the CII distribution (classified data clouds) of individual ships
• Formulation of a political application framework</td></tr>
</table>

Figure 2: Energy efficiency indices for assessing the CO_2 greenhouse gas intensity of inland navigation vessels – Part 2

4 Measurements on full-scale ships for determining the greenhouse gas intensity of inland waterway vessels

To test the practical viability, 19 full-scale trials were carried out in the three navigation areas with the four different types of vessels for determining the $EEDI_{inland}$. Figure 3 gives an overview of the potential trial areas and vessel categories.

Strain gauges and equipment for measuring rotational speed were installed on the propeller shafts of the vessels to determine the rotational power delivered by the powertrain. CO_2 emissions were calculated using emission factors, see chapter 2. Some of the ships analysed were additionally equipped with fuel consumption measurement systems (bidirectional) so that it was possible to compare the systems' measurement results. Moreover, five measurement points from telemetry data were analysed.

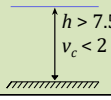
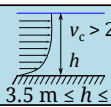
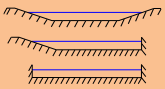
Navigation areas		Vessel type I (dry-cargo vessels)	Vessel type II (tankers)	Vessel type III (pushed convoys)	Vessel type IV (passenger vessels)	Waterway conditions
A I	Length	40 m ≤ l ≤ 230 m	40 m ≤ l ≤ 230 m	40 m ≤ l ≤ 230 m	26 m ≤ l ≤ 135 m	
	Breadth	5.0 m ≤ b ≤ 23 m	5.0 m ≤ b ≤ 23 m	5.0 m ≤ b ≤ 23 m	5.0 m ≤ b ≤ 23 m	
	Deadweight	250 t ≤ dw ≤ 18,000 t	250 t ≤ dw ≤ 18,000 t	250 t ≤ dw ≤ 18,000 t	50 m³ ≤ Δ ≤ 3,000 m³	
A II	Length	40 m ≤ l ≤ 135 m	40 m ≤ l ≤ 135 m	50 m ≤ l ≤ 230 m	26 m ≤ l ≤ 135 m	 3.5 m ≤ *h* ≤ 7.5 m
	Breadth	5.0 m ≤ b ≤ 17.7 m	5.0 m ≤ b ≤ 17.7 m	8.0 m ≤ b ≤ 34.4 m	5.0 m ≤ b ≤ 17.7 m	
	Deadweight	250 t ≤ dw ≤ 6,000 t	250 t ≤ dw ≤ 6,000 t	500 t ≤ dw ≤ 18,000 t	50 m³ ≤ Δ ≤ 3,000 m³	
A III	Length	40 m ≤ l ≤ 135 m	40 m ≤ l ≤ 135 m	50 m ≤ l ≤ 185 m	26 m ≤ l ≤ 135 m	
	Breadth	5.0 m ≤ b ≤ 11.45 m	5.0 m ≤ b ≤ 11.45 m	8.0 m ≤ b ≤ 11.45 m	5.0 m ≤ b ≤ 11.45 m	
	Deadweight	2.0 m ≤ dw ≤ 2.8 m	2.0 m ≤ dw ≤ 2.8 m	2.0 m ≤ dw ≤ 2.8 m	0.6 m ≤ dw ≤ 2.8 m	

Figure 3: Overview of potential navigation areas and vessel types

The ships analysed in this study cover a large range between 100 t and around 10,000 t of cargo or displacement (t). Small vessels (length < 85 m) were analysed, too. The study covers tankers, dry-cargo vessels, passenger vessels and pushed convoys. The trials took place in deep waters without current, on rivers with limited water depth and on canals. Ships powered by diesel-mechanical powertrains and diesel-electric powertrains and with different propulsion types (gear or directly mechanical, different number of powertrains, different propeller types) were analysed. In general, it has become apparent that the suggested determination method can be used in a flexible way. The results were used to validate the existing EEDI reference lines.

The data collected allowed for a valid representation of the energy efficiency in different navigation areas and under various operating conditions. The following figure illustrates the variables involved in the calculation of the $EEDI_{inland}$ based on measurement results, taking a river (navigation area A II) as an example.

The $EEDI_{inland,\ reference\ curve}$ is determined for the selected navigation area and the vessel type in question. Over the course of a measurement trip, it can be transient in nature, as shown by the blue curve in the following figure, if the current velocity is taken into

account. The $EEDI_{inland,\ attained}$ is calculated based on the measured shaft power (or fuel consumption), see red curve.

Finally, the relation between the $EEDI_{inland,\ reference\ curve}$ and the $EEDI_{inland,\ attained}$, in combination with the suggested category limits, can be used for classification ($EEDI_{inland}$ category), see black curve in the category marked in yellow in the bottom figure.

The following figure shows the results in the time range and illustrates the robustness of the procedure on rivers.

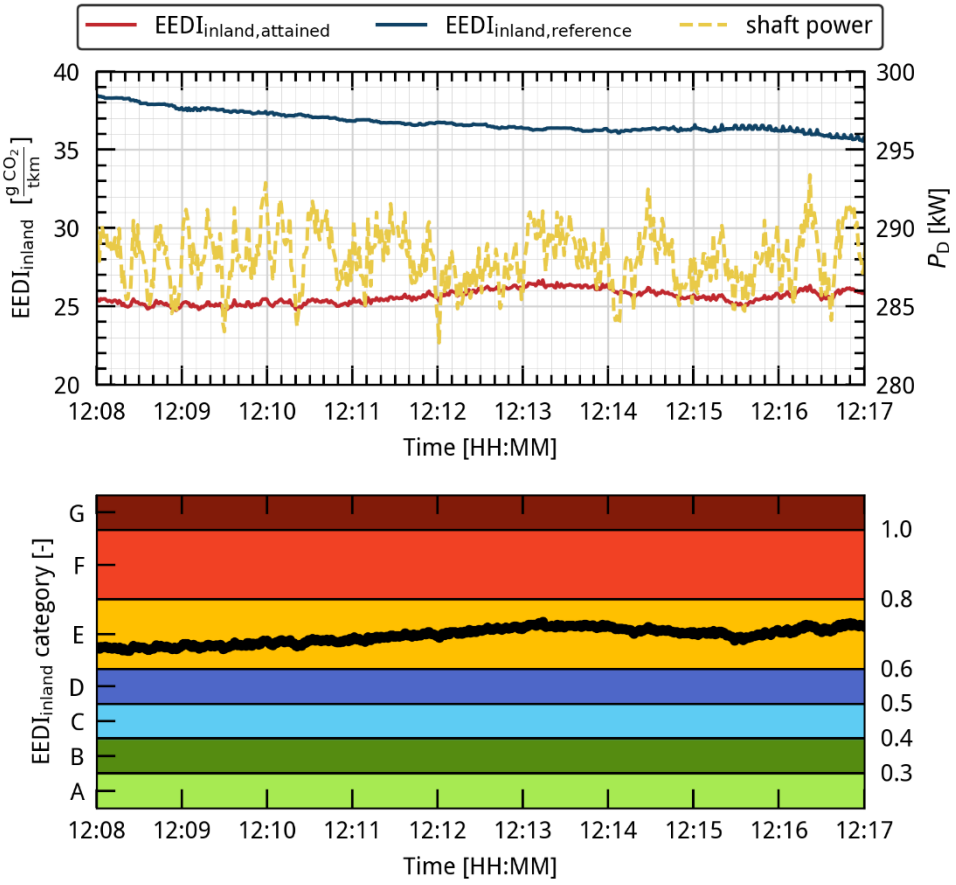


Figure 4: Exemplary measurement results during an $EEDI_{inland}$ trial on a river

In practice, assuming an average current velocity, a single value is determined for each the $EEDI_{inland,\ reference}$ and the $EEDI_{inland,\ attained}$ and the two values are put in relation for classification, see Figure 5.

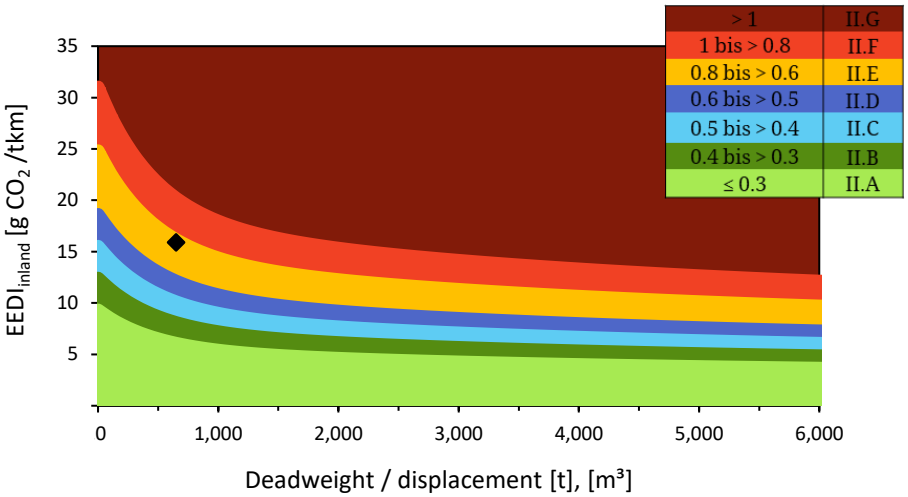


Figure 5: Exemplary results, the $EEDI_{inland}$ reference curve ranges between light and dark red, the categories below and the attained $EEDI_{inland}$ are also shown

The following diagram provides an overview of all determined $EEDI_{inland}$ (without classification) for the three navigation areas A I, A II and A III.

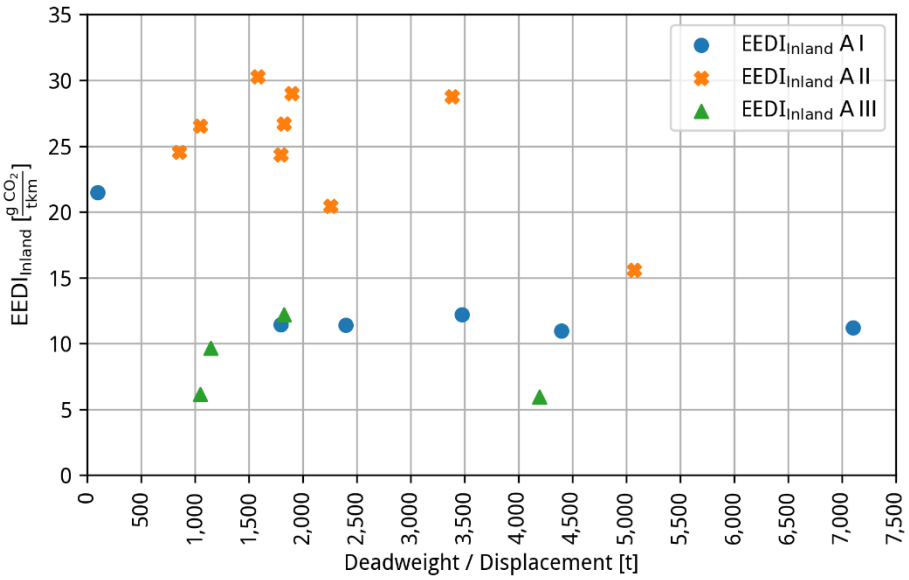


Figure 6: Overview of all EEDI determined by STG and/or fuel consumption measurements for different vessel types and navigation areas

Additionally, Figure 7 shows, by way of example, the measurement results for the A I navigation area in relation to the navigation area-specific EEDI reference line and for different vessel types. It was found that the theoretically determined reference lines are suitable for determining energy efficiency and greenhouse gas intensity.

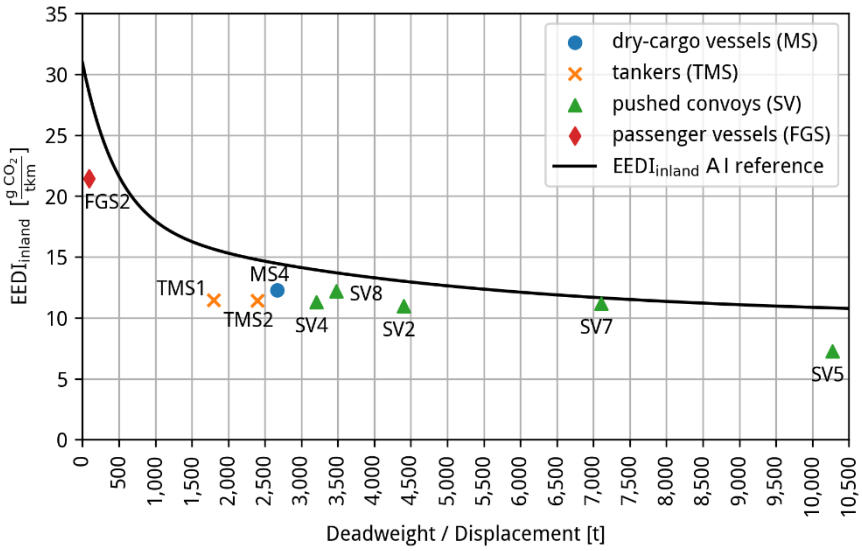


Figure 7: Overview of all determined $EEDI_{inland}$ in the A I navigation area including reference line

In the following, the essential findings from the measurements on full-scale ships for the $EEDI_{inland}$ are summarized:

- Error estimates were worked out for every measured value and sensitivity studies were carried out. They serve as initial indicators of the inaccuracies of the proposed method. For the error analysis of measurements carried out using strain gauges on the propeller shaft, an overall error of ±4% is assumed.
- It was found that the determined $EEDI_{inland}$ category is not influenced by the selected river section as long as the waterway type remains consistent and the limit values are met. This was determined by performing a long-duration upstream navigation trial with a ship. By using the present local current velocities for calculating the $EEDI_{inland}$ reference value, the determined $EEDI_{inland}$ category remained unchanged. This sensitivity study demonstrates the robustness of the approach. However, local particularities (cross currents, local current effects, interaction with other waterway users) always have to be identified and assessed by the test engineer.
- Another part of the sensitivity study focused on comparing the results of the shaft performance measurements with those of the fuel consumption measurements. In general, both measurement approaches showed good consistency so that both approaches can be used in an equivalent manner.
- Moreover, comparisons were made between the results of the shaft power measurement and the results of a present engine control unit. As expected, significant discrepancies were identified and quantified (±15%).

- Different $EEDI_{inland}$ categories on different waterway categories are possible. This is plausible, as vessel designs have different design criteria and hydrodynamic properties on rivers and canals. Choosing the trial area is the responsibility of the test engineer and should be based on the entries in the vessel certificate and the expected (main) navigation profile of the vessel.
- It was found that energy efficiency design indices (EEDI) during upstream runs on rivers (navigation area A II) were higher than in deep waters and in comparison, with the canal. Efficiency in deep waters is higher; this confirms the expected influence of lower current velocities and greater water depths. Lower greenhouse gas emissions are also observed on canals. This can be attributed to the lack of current and limited vessel speeds. However, when viewed in relation to the reference line, there are no significant qualitative differences between the navigation areas.

5 Proposal for a reliable and low-cost procedure for determining the $EEDI_{inland}$

The practical procedure for determining the $EEDI_{inland}$, which has been refined and trialled as part of the study, comprises four stages at two levels:

Working stages:

1. Advance planning of the trial
2. Documentation directly before the start of the trial
3. Performance of the trials
4. Preparation of records after completion of the trial

Working levels:

1. Selection of the navigation area and documentation of the environmental conditions
2. Performance of on-board measurements for capturing vessel data

The (estimated) time needed to carry out the $EEDI_{inland}$ measurement described by way of example is shown in the following table. It must be taken into account that the timeframe for the measurement trip may well be shorter in the case of a navigation trial for obtaining the vessel certificate. This is due to the fact that the vessel does not have to travel to the navigation trial area separately, saving both time and resources. Comprehensive planning and preparation of an $EEDI_{inland}$ measurement as well as thorough evaluation of the measurement results is also necessary in the context of a navigation trial.

Table 1: Overview of the time needed per work step for an $EEDI_{inland}$ determination, using the example of a shaft rotational power measurement

Selecting the navigation area and planning of the measurement trip	2 hrs
Installing the STG and rotational speed sensor on board the vessel	3 hrs
Readying the measuring instruments for use, checking the cargo (measurement marks, measurement certificates)	2 hrs
Measurement trip on the Rhine (comprising upstream and downstream navigation for the current velocity and drifting), incl. mooring and unmooring	2 hrs
Removing the measuring instruments	1 hrs
Documentation, evaluation of the results	2 hrs
Total	**12 hrs**

Depending on the local circumstances, the level of information and the experience of the person involved, more time might be needed. Moreover, the time needed for installing the STG depends on the accessibility of the attachment points and the number of the propeller shafts to be fitted with them.

Taking account of the different aspects that may influence the time needed, the effort for an $EEDI_{inland}$ measurement is estimated to amount to 10 to 20 hours.

The installation of the resistance strain gauges and the rotational speed measurement devices should be carried out by a certified measurement engineer. Analysing the $EEDI_{inland}$ trials requires theoretical background knowledge (comparable to the knowledge required for the performance of navigation trials). Therefore, a skilled person should prepare and supervise the special $EEDI_{inland}$ trial. It is conceivable that this procedure could be integrated into the trialling of new-builds, causing no significant additional effort.

The proposal for a procedure including further partial work steps is summarized in Figure 8 and Figure 9.

Working steps for determining the $EEDI_{inland}$

Working step	Selection of the waterway and documentation of the environmental conditions	Collection of vessel data and on-board measurements
1: Planning of the trial	• Specification of the navigation area (A I, A II, A III) • Determination of a suitable trial route of at least 2 km in accordance with the requirements – Constant and planned water depth – Constant and approximate current velocity Requirements under the $EEDI_{inland}$ • Determination of the maximum speed and the canal dimensions for the A III navigation area	• Determination of the vessel type • Determination of the convoy formation (configuration of and information on the vessels involved) – Obtaining of information from vessel certificates and measurement certificates – Determination of the maximum deadweight / displacement – Determination of the minimum draught for the trial (at least 70% of the maximum deadweight / displacement) • Determination of the measuring methods – Shaft power – Fuel consumption measurement – Electrical motor power • Information on on-board measuring instruments (GPS, echosounder, ...) • Information on the powertrain – Number of propellers – Propulsion type (propeller, rudder propeller, ...) – Engines (maximum power, rotational speed, ...) • Coordination of methods with the crew
2: Directly before the start of the trial	• Documentation of the relevant water level • Checking of the environmental conditions: wind, expected water depth, expected current velocity • Checking of the expected traffic and verification that the trial can take place without limitations – Checking of local and temporary fairway restrictions	• Installation of all required measuring instruments – STG installation on the shaft – Fuel consumption measurement • Overview and operational test of all required measuring systems – Torque/rotational speed measurement – Fuel consumption measurement – GPS, echosounder, ... • Documentation of the vessels involved – Determination of the draught by reading off the measurement marks – Determination of the deadweight / displacement on the basis of the measurement certificate • Documentation of the vessel convoy formation • Coordination of the trip with the boatmaster

Figure 8: Procedure for determining $EEDI_{inland}$ – part 1

Working steps for determining the $EEDI_{inland}$

Working step	Selection of the waterway and documentation of the environmental conditions	Collection of vessel data and on-board measurements
3: Performance of the trial	• Determination of the actual water depth • Continued monitoring of the water depth so that navigation only takes place on sections with a constant water depth • Determination of the actual current velocity – Preferably by upstream and downstream navigation carried out at equal shaft power or fuel consumption – Monitoring and documentation of shipping traffic (no overtaking and passing during the trial) • Monitoring of the fairway and potential disturbances in the navigation channel and at the banks of the waterway – Cross currents – Obstacles – Shoals, …	• Determination of the shaft power and fuel consumption to be used (for A I and A II) based on – Water depth – Convoy formation – Deadweight / displacement • Determination of the speed over ground in the canal (A III) – Consideration of the maximum speed limit • Navigation on the trial route at constant power (A I and A III) or constant velocity (A III) • Documentation of all parameters and measured values – Measured power and measured fuel consumption – Measured speed over ground
4: After completion of the trial	• Recording of the trial – Documentation of the trial conditions (regarding the navigation area and the vessel) – Documentation of all parameters and measured values – Error analysis of the measured values, if necessary • Determination and recording of the attained $EEDI_{inland}$	

Figure 9: Procedure for determining $EEDI_{inland}$ – part 2

6 Situation and outlook

During the study, calculation tools and an appropriate recording format were developed for the suggested determination method that could be used in this or a similar form in the future. Moreover, in addition to the study report, a manual on the practical approach is available.

The $EEDI_{inland}$ makes it possible to analyse GHG emissions caused by vessel and propulsion technology on the market, independently of operational and environmental conditions. The index could complement other labelling approaches that aim to determine the overall environmental performance of the transport mode.

In connection with the $EEDI_{inland}$, it is possible to combine the proposed method with considerations on the Well-to-Wake approach and the evaluation of air pollutant emissions by carrying out a conversion into the energy demand, expressed in kWh/tkm. Evaluating other fuels is possible if the relevant emission factors for the emission in question are known.

In the opinion of DST, there is a practically viable and efficient procedure for the determination of the greenhouse gas intensity of new and existing inland waterway vessels that can be presented and discussed in national and international bodies and working committees.

7 References

[1] Helmut Bross, “Energie-Effizienz Indizes von Binnenschiffen” (energy efficiency indices of inland waterway vessels), DST report 2252, Duisburg, 2019

[2] Martin Quispel, Khalid Tachi and Loure Roux, “Report on implementation of European IWT emission label / energy index / GLEC for vessels”, Technical Report D2.6 of the EC-funded Project PLATINA3, https://platina3.eu/wp-content/uploads/2022/11/220228_Deliverable-final-D2.6-Label-index-inland-vessels_public-2.pdf (last accessed on 15 May 2024), 2023

[3] Federal Law Gazette I, p. 2006: Emission Reporting Ordinance under the Emissions Trading Act for the years 2023 to 2030 (EBeV 2030) of 21 December 2022 Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the European Economic And Social Committee and the Committee of the Regions; The European Green Deal; COM(2019) 640 final

[4] Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the European Economic And Social Committee and the Committee of the Regions; The European Green Deal; COM(2019) 640 final

[5] Directorate-General for Mobility and Transport, European Commission, “Green Deal: Greening freight for more economic gain with less environmental impact” https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/green-deal-greening-freight-more-economic-gain-less-environmental-impact-2023-07-11_en, accessed on 18 June 2024

[6] Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 (‘European Climate Law’) (OJ L 243, 9 July 2021, p. 1–17), https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R1119, accessed on 18 June 2024

[7] European Commission, “Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on the accounting of greenhouse gas emissions of transport services”, 2023/0266 (COD), Strasbourg, 2023

[8] European Commission, COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT IMPACT ASSESSMENT REPORT accompanying the document “Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on the accounting of greenhouse gas emissions of transport services”, SWD (2023, 441/2, Strasbourg, 2023

[9] Jaan Soone, Edvard Svahn, “EU Legislation in Progress” briefing, “CountEmissionsEU: Measuring emissions from transport services”, March 2024

[10] Central Commission for the Navigation on the Rhine (CCNR), “CCNR roadmap for reducing inland navigation emissions” https://www.ccr-zkr.org/files/documents/Roadmap/Roadmap_en.pdf, 2022 edition

[11] International Maritime Organization (IMO). Amendments to MARPOL Annex VI (Inclusion of regulations on energy efficiency for ships in MARPOL Annex VI), 1

January 2013, https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.203(62).pdf, accessed on 15 October 2024

[12] International Maritime Organization (IMO). Amendments to MARPOL Annex VI (Procedures for sampling and verification of the sulphur content of fuel oil and the Energy Efficiency Design Index (EEDI)), 1 April 2022, https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC.324(75).pdf, accessed on 15 October 2024

[13] International Maritime Organization (IMO). Resolution A.963(23) IMO Policies and practices related to the reduction of greenhouse gas emissions from ships, 5 December 2003, https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.963(23).pdf, accessed on 15 October 2024

[14] International Maritime Organization (IMO). Resolution MEPC.278(70) Amendments to the annex of the protocol of 1997 to amend the international convention for the prevention of pollution from ships, 1973, as modified by the protocol of 1978 relating thereto, 28 October 2016, https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.278(70).pdf, accessed on 15 October 2024

Energie-Effizienz und die Treibhausgasintensität von Binnenschiffen

Kurzfassung zum Bericht Nr. 2376

Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V.
Development Centre for Ship Technology and Transport Systems

Auftraggeber:
Bundesministerium für Digitales und Verkehr
Invalidenstraße 44
10115 Berlin

Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e. V.
DST – Development Centre for Ship Technology and Transport Systems

Oststraße 77
47057 Duisburg

Tel. +49 203 99369-0
Fax +49 203 99369-70
e-mail dst@dst-org.de
web www.dst-org.de

Mitglied der Johannes-Rau-Forschungsgemeinschaft e. V.

Institut an der Universität Duisburg-Essen

Mitglied der International Towing Tank Conference

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 9

2 Relevante Entwicklungen 11

3 Konkretisierungen zu den vorgeschlagenen Energie-Effizienz Indizes 14

4 Großausführungsmessungen zur Ermittlung der Treibhausgasintensität von Binnenschiffen 19

5 Vorschlag für ein zuverlässiges und kostengünstiges Verfahren zur Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$ 24

6 Einordnung und Ausblick 28

7 Referenzen 29

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Energie-Effizienz Indizes zur Beurteilung der CO_2-Treibhausgasintensität von Binnenschiffen – Teil 1 17

Abbildung 2: Energie-Effizienz Indizes zur Beurteilung der CO_2-Treibhausgasintensität von Binnenschiffen – Teil 2 18

Abbildung 3: Überblick über die möglichen Fahrtgebiete und Schiffstypen 19

Abbildung 4: Exemplarische Messergebnisse während einer $EEDI_{Binnen}$-Testfahrt auf einem Fließgewässer 20

Abbildung 5: Beispielhafte Ergebnisse, die $EEDI_{Binnen}$-Referenzkurve liegt zwischen hell- und dunkelrot, darunter liegende Kategorien und die erreichte $EEDI_{Binnen}$ sind ebenfalls dargestellt 21

Abbildung 6: Übersicht aller durch DMS- und/oder Kraftstoffverbrauchsmessungen ermittelten EEDI für unterschiedlichen Schiffstypen und Fahrtgebiete..... 21

Abbildung 7: Übersicht aller ermittelten $EEDI_{Binnen}$ im Fahrtgebiet A I mit der Referenzlinie 22

Abbildung 8: Verfahrensablauf zur Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$ - Teil 1..... 26

Abbildung 9: Verfahrensablauf zur Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$ - Teil 2..... 27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht des Zeitaufwands je Arbeitsschritt für eine $EEDI_{Binnen}$-Ermittlung am Beispiel einer Wellendrehleistungsmessung..... 24

Abkürzungsverzeichnis

ADN	[-]	Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung von gefährlichen Gütern auf Binnenwasserstraßen
BRZ	[-]	Bruttoraumzahl
CESNI	[-]	Europäischer Ausschuss zur Ausarbeitung von Standards im Bereich der Binnenschifffahrt
CII	[-]	Kohlenstoff-Intensitäts-Indikator
DMS	[-]	Dehnungsmessstreifen
ECU	[-]	Motorsteuergerät (Engine Control Unit)
EEDI	$\left[\frac{\mathrm{g\,CO_2}}{\mathrm{tkm}}\right]$	Energie-Effizienz Design-Index
EEOI	$\left[\frac{\mathrm{g\,CO_2}}{\mathrm{tkm}}\right]$	Energie-Effizienz Betriebs-Indikator
EEXI	$\left[\frac{\mathrm{g\,CO_2}}{\mathrm{tNm}}\right]$	Energie-Effizienz Bestandsschiff-Index
GlW	[cm]	Gleichwertiger Wasserstand
KVM	[-]	Kraftstoffverbrauchsmessung
MMSI	[-]	Maritime Mobile Service Identity
RHK	[-]	Rhein-Herne-Kanal
SEEMP	[-]	Ship Energy Efficiency Management Plan
TEU	[-]	Zwanzig-Fuß-Standardcontainer
THG	[-]	Treibhausgas
TOC	[-]	Transportvorgangskategorie
ZKR	[-]	Zentralkommission für die Rheinschifffahrt

Symbolverzeichnis

B	[m]	Schiffsbreite
B_W	[m]	Breite des Wasserspiegels
B_S	[m]	Breite der Gewässersohle
C_F	[-]	CO_2-Äquivalent von Diesel (3,167 $\frac{g\ CO_2}{g\ Diesel}$)
D	[nm], [km]	Entfernung
dw	[t]	Tragfähigkeit / Zuladung
Fr_h	[-]	Tiefen-Froude-Zahl
FR	$\left[\frac{l}{h}\right]$	Kraftstoffverbrauch
h	[m]	Wassertiefe
j	[-]	Transportnummer
L	[m]	Schiffslänge
P_B	[kW]	Bremsleistung
P_N	[kW]	Nennleistung
$P_{D\ (Schiffstyp)\ (Berg\ oder\ Tal\ oder\ Mittel)}$	[kW]	Wellenleistung Index: Schiffstyp (MS, TMS, SV, FGS), Index: Berg oder Tal (Wellenleistung zu Berg oder zu Tal) oder Mittel (mit der Zeit gewichtete mittlere Wellenleistung)
P_{ME}	[kW]	75 % der gesamten installierten Wellenleistung
SFC	$\left[\frac{g\ Diesel}{kWh}\right]$	spezifischer Kraftstoffverbrauch
T	[m]	Tiefgang
V_{ref}	[kn]	Referenzgeschwindigkeit
V_{str}	$\left[\frac{km}{h}\right]$	Strömungsgeschwindigkeit
$V_{üG}$	$\left[\frac{km}{h}\right]$	Geschwindigkeit über Grund
$V_{üG\ Berg}$	$\left[\frac{km}{h}\right]$	Geschwindigkeit über Grund zu Berg
$V_{üG\ Tal}$	$\left[\frac{km}{h}\right]$	Geschwindigkeit über Grund zu Tal
V_{dW}	$\left[\frac{km}{h}\right]$	Geschwindigkeit durchs Wasser
Δ	[t]	Verdrängung [m³] · $Dichte_{Wasser}$ $\left[\frac{t}{m^3}\right]$
Q_{Welle}	[Nm]	Drehmoment der Propellerwelle
n_{Welle}	$\left[\frac{1}{min}\right]$	Drehzahl der Propellerwelle

n_{Antrieb}	[-]	Wirkungsgrad des Antriebsstranges
$\rho_{\text{Kraftstoff}}$	$\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$	Dichte des Kraftstoffs

1 Einleitung

Die vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) beauftragte Studie zum Thema „Energie-Effizienz und die Treibhausgasintensität von Binnenschiffen“ ist eine Fortsetzung zur Vorgängerstudie „Bewertung des Energiebedarfs von Binnenschiffen anhand von Energie-Effizienz Indizes“, die 2019 vom Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme (DST) abgeschlossen wurde, [1]. Die Ziele der Nachfolgestudie sind:

1. Verifizierung der Ergebnisse der ersten Studie mit Hilfe von Großversuchen an Bord von Schiffen
2. Anpassung der theoretisch gewonnenen Ansätze bei Bedarf
3. Erarbeitung eines Vorschlags für ein zuverlässiges und kostengünstiges Verfahren zur Ermittlung der vorgeschlagenen Energie-Effizienz Indizes

Das vorgeschlagene Kennzeichnungskonzept orientiert sich an bereits etablierten Verfahren in der internationalen Seeschifffahrt und basiert auf Energie-Effizienz Indizes. Diese Indizes wurden für die Binnenschifffahrt angepasst, um den technischen und betrieblichen Besonderheiten der Binnenschifffahrt Rechnung zu tragen. Im Wesentlichen wurden in der Vorgängerstudie ein Energie-Effizienz Design-Index ($EEDI_{Binnen}$) und ein Energie-Effizienz Betriebs-Indikator ($EEOI_{Binnen}$) entwickelt.[1]

Beide Indizes basieren auf der „Tank-to-Wake“-Perspektive und berücksichtigen die hydrodynamischen Eigenschaften des angetriebenen Schiffes. Die ermittelten Energie- bzw. Emissionswerte gehen über die Motoren hinaus und umfassen das gesamte Schiff und seine Transportleistung. Die Ergebnisse werden in g CO_2 / tkm angegeben.

Der $EEDI_{Binnen}$ befasst sich mit dem Energiewandler für den Antriebsstrang und der $EEOI_{Binnen}$ mit dem gesamten Energiebedarf an Bord im Betrieb.

Folgende Arbeitsschritte wurden durchgeführt, um die zuvor beschriebenen Ziele zu erreichen:

1. Zunächst wurden neueste Entwicklungen bei den Energie-Effizienz Indizes im Bereich der See- und Binnenschifffahrt erfasst, die zu einer Konkretisierung der Einsatzzwecke und Neuordnung der zuvor vorgeschlagenen Indizes für die Binnenschifffahrt führten.
2. Es folgte eine Prüfung von bereits bekannt gewordenen Verbesserungsvorschlägen zur leichteren Implementierung von Energie-Effizienz Indizes im Binnenschifffahrtsgewerbe.
3. Es wurden Großausführungsmessungen an Bord von 17 Binnenschiffen (Tankschiffe, Trockengüterschiffe, Fahrgastschiffe, Tagesausflugschiffe, Koppel- und Schubverbände) zur Validierung und Anpassung der vorhandenen Referenzkur-

[1] Eine Zusammenfassung ist zu finden unter: https://www.cesni.eu/wp-content/uploads/2021/03/cesnipt_energyindex_en.pdf

ven durchgeführt. Diese beinhalteten Wellendrehleistungsmessungen, Kraftstoffverbrauchsmessungen und Analysen von vorhandenen Telemetriedaten. Die Treibhausgasemissionen wurden auf der Grundlage der (gemessenen) Wellenleistung oder des Treibstoffverbrauchs mit Hilfe von Emissionsfaktoren rechnerisch ermittelt. Insgesamt wurden 19 schiffsspezifische $EEDI_{Binnen}$-Testfahrten in unterschiedlichen Fahrtgebieten durchgeführt, bei denen das vorgeschlagene und weiterentwickelte Ermittlungskonzept angewendet und erprobt wurde.

4. Im Verlauf der Studie wurde unter Nutzung der gewonnenen praktischen Erfahrungen ein Berechnungs- und Protokollierungswerkzeug erarbeitet, mit denen, gepaart mit formulierten Anforderungen an die durchzuführenden Messungen, ein praxistauglicher Verfahrensvorschlag zur Ermittlung von Energie-Effizienz Indizes für Binnenschiffe vorliegt.

2 Relevante Entwicklungen

Folgende Entwicklungen mit Bezug zu Emissionskennzeichnungsansätzen in der See- und Binnenschifffahrt wurden berücksichtigt:

1. DIN EN ISO 14083:2023-11 bzw. EN ISO 14083:2023 (D)

   Die Norm enthält Leitlinien zur Quantifizierung und zur Berichterstattung von Treibhausgasemissionen von Transportketten für Passagiere und Fracht und verweist auf den Global Logistics Emissions Council (GLEC). Diese Norm wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 207 („Environmental Management“) in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 320 (Transport – Logistik und Dienstleistungen) erarbeitet und wurde von Deutschland als nationales Gesetz übernommen.

2. Forschungsergebnisse aus dem Projekt „PLATINA 3“

   Im Bericht „Report on implementation of European IWT emission label / energy index / GLEC for vessels”, [1], des EU-Projekts PLATINA 3 werden die durch Literatur, Studienergebnisse und Standards bekannt gewordenen Ansätze zur Ermittlung und Beschreibung der Energie-Effizienz und des Emissionsniveaus von Binnenschiffen beschrieben, kategorisiert und verglichen.

   Folgende Kategorien (engl. „Level“) bzw. Beurteilungsgrößen wurden definiert:

   A. Verbauter Motor als Primärenergieverbraucher für den Vortrieb (ohne Schiff)

   B. Alle Primärenergieverbraucher, z. B. für Vortrieb, Heizung, Kühlung, Hilfsantriebe, Pumpen, weitere Verbraucher an Bord etc. (ohne Schiff)

   C. Verbauter Motor als Primärenergieverbraucher eines Schiffes unter Berücksichtigung der Hydrodynamik des Schiffes für definierte Betriebszustände

   D. Alle Primärenergieverbraucher eines Schiffes unter Berücksichtigung des gesamten Fahrprofils (inkl. Auslastung, Leerfahrten und gefahrenen Geschwindigkeiten) bei der Durchführung von Transporten

   E. Gesamtprimärenergieverbrauch einer gesamten Transportkette von Tür zu Tür unter Berücksichtigung aller beteiligten Verkehrsträger und des Umschlags

      Es folgt eine detaillierte Beschreibung der kategorisierten Ansätze unter Nennung und Beschreibung der Datenquellen, der Berechnungsmethoden, der Ergebnisse und der zu erwartende Zuverlässigkeit. Zur detaillierten Bewertung der vorhandenen Konzepte in den zuvor genannten Kategorien wurde eine Multikriterien-Analyse durchgeführt.

      Eine wesentliche Aussage in dem Bericht ist, dass die Kategorien A und E derzeit nicht benötigt werden. Das in den Niederlanden eingeführte motorenbezogene Emissions-Label in g CO_2 / kWh ist der Kategorie B zuzuordnen, das Konzept des $EEDI_{Binnen}$ der Kategorie C und die Konzepte des GLEC und des $EEOI_{Binnen}$ zur Kategorie D. Für die Kategorien B, C und D werden diese Konzepte mit ihren Vor- und Nachteilen beschrieben.

3. Entwicklungen beim **E**nergie-**E**ffizienz **D**esign-**I**ndex (EEDI) in der Seeschifffahrt

   Im Juni 2011 verabschiedete die IMO bereits mit der Erschließung MEPC.203(62) eine verbindliche politische Maßnahme zur Verbesserung der Energie-Effizienz in der internationalen Schifffahrt, [11]. Mit einer prozentualen Verringerung der CO2-Emission basierend auf der EEDI-Referenzlinie (Reduktionsfaktoren) sollen phasenweise die zulässigen CO_2-Emissionen abgesenkt werden. Der im Jahr 2013 einführte EEDI-Ansatz wird weiterhin als Werkzeug zur Erreichung des Ziels eingesetzt.

   Im Jahr 2020 wurden mit der Verabschiedung der Resolution MEPC.324(75) die CO_2-Reduktionsfaktoren für Gastanker, Containerschiffe, Stückgutfrachter, LNG-Tanker und Kreuzfahrtschiffe auf das gleiche Jahr vorgezogen, [12].

   Die im Jahr 2023 verabschiedete THG-Strategie zur Verringerung der Treibhausgasemissionen von Schiffen (Entschließung A.963(23)) sieht vor, dass die Treibhausgasemissionen des internationalen Seeverkehrs weiter verringert werden sollen, [13]. Die IMO strebt an, diese Emissionen schrittweise einzustellen, wobei sie im Rahmen dieser Strategie einen gerechten und ausgewogenen Übergang fordert.

4. Einführung des **E**nergy **E**fficiency e**X**isting ship **I**ndex (EEXI) in der Seeschifffahrt im Jahr 2023

   Der (EEXI) ist eine weitere von der IMO eingeführte Maßnahme zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen von Schiffen. Er bezieht sich auf das technische Design eines Schiffes. Schiffe müssen einmal in ihrer Lebensdauer eine EEXI-Zulassung erhalten, und zwar spätestens bei der ersten periodischen Besichtigung.

   Der EEXI hat zum Ziel, bei der Bestandsflotte für alle Schiffe mit einer Bruttoraumzahl (BRZ) größer 5000 eine CO_2-Reduzierung um 50 % bis 2050 (40 % Reduktion bis 2030) zu erreichen und wurde 2023 eingeführt. Konkret bedeutet dies, dass hier dieselben schiffsseitigen Parameter wie für den EEDI auf die Bestandsflotte angewendet werden.

5. Einführung des **C**arbon **I**ntensity **I**ndicators (CII) in der Seeschifffahrt im Jahr 2023

   Ab 2023 gelten die CII-Anforderungen für alle Fracht-, RoPax- und Kreuzfahrtschiffe mit mehr als 5.000 BRZ im internationalen Verkehr. Anhand des CII wird bestimmt, wie effizient ein Schiff Güter oder Passagiere transportiert. Die Kennzahl wird in Gramm CO_2-Emissionen pro Ladekapazität und Seemeile angegeben. Das Schiff erhält dann eine jährliche Bewertung, die von A bis E reicht, wobei die Bewertungsschwellen bis 2030 strenger werden. Während es sich bei dem EEXI um eine einmalige schiffseigene Zertifizierung handelt, wird mit dem CII die jährliche Energie-Effizienz des Schiffsbetriebs ermittelt. Auf Basis der gemeldeten Daten ergeben sich die Carbon Intensity Indicator (CII)-Rankings. Schiffsbetreiber müssen ihre Schiffe mit Kraftstoffverbrauchssensoren ausrüsten, den Kraftstoffverbrauch über ein Jahr ermitteln und den Kraftstoffverbrauch dem Fuel Oil Data Collection System (siehe IMO MEPC70, [14]) der IMO melden.

6. Fortsetzung des **S**hip **E**nergy **E**fficiency **M**anagement **P**lans (SEEMP)

   Der Ship Energy Efficiency Management Plan ist eine operative Maßnahme, die einen Weg aufzeigt, um die Energie-Effizienz eines Schiffes auf kosteneffiziente Weise zu verbessern. Der SEEMP bietet Schifffahrtsunternehmen auch einen Ansatz, um die Leistung des Schiffes und der Flotte im Hinblick auf die Energie-Effizienz im Laufe der Zeit zu überwachen, z. B. mit Hilfe des Energie-Effizienz Betriebs-Indikators (EEOI) als Überwachungsinstrument. Die Betreiber größerer Schiffe müssen höhere CO_2-Reduktionen erzielen und nachweisen.

7. Nutzungszweck des **E**nergy **E**fficiency **O**peration **I**ndicator (EEOI)

   Der EEOI ist eine von der IMO empfohlene, aber nicht verpflichtende Kennzahl zur Bewertung der betrieblichen Energie-Effizienz von Schiffen. Der Indikator ermittelt den durchschnittlichen CO_2-Ausstoß pro transportierter Frachtmenge und Entfernung, üblicherweise in g CO_2 / Tonnen-Meile. Im Gegensatz zum CII kann der EEOI auf verschiedene Schiffstypen, Ladezustände und Routen angepasst werden. Der EEOI dient hauptsächlich als freiwilliges internes Managementtool für Reedereien zur Optimierung des Schiffsbetriebs.

8. Der „CountEmissionsEU“-Ansatz

   Im Juli 2023 legte die Europäische Kommission im Zusammenhang mit dem Europäischen Green Deal [4], [5] und dem europäischen Klimagesetz [6] ein Paket mit mehreren Vorschlägen für die Ökologisierung des Güterverkehrs vor [7]. Darunter liegt auch ein Vorschlag für eine einheitliche Methode zur Berechnung der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor vor. Diese Methode wird als „CountEmissionsEU“ bezeichnet. Die Initiative umfasst sowohl den Güter- als auch den Personenverkehr. Sie soll sicherstellen, dass die für Verkehrsdienste bereitgestellten THG-Emissionsdaten zuverlässig und genau sind, um einen fairen Vergleich zwischen Verkehrsdiensten zu ermöglichen. Weitere Details sind z. B. in der Einleitung des „EU-Legislation in Progress-Briefings“ [9] zu finden.

   Insgesamt wurden 6 Strategie-Optionen (engl. Policy Options) für eine Folgenabschätzung und Bewertung (engl. Impact Assessment) vorgeschlagen, vgl. Seiten 14/15 in [7]. Im Rahmen des „Impact Assessment“ wurden Interessensvertreter (engl. Stakeholder) der verschiedenen Verkehrssektoren konsultiert. In [8] werden die Ergebnisse der Befragung diskutiert, verglichen und nach verschiedenen Kriterien bewertet.

9. Die Emissionsberichterstattungsverordnung 2030 nach dem Emissionshandelsgesetz (EBeV 2030) wurde 31.12.2022 in Kraft gesetzt [3]. Sie enthält die Emissions- und Umrechnungsfaktoren für die Ermittlung der CO_2-Emissionen. Der energiebezogene bzw. der heizwertbezogene Emissionsfaktor für Gasöl wird auch hier mit 0,074 t CO_2 / GJ angegeben und entspricht somit dem energiebezogenen CO_2-Emissionsfaktor des Bundesumweltamtes. Der Heizwert für Gasöl wird in EBeV 2030 mit 42,8 GJ/t angegeben, so dass sich ein Emissionsfaktor für Gasöl von 3,1672 t CO_2 / t Gasöl ergibt. Weiterhin wird in EBeV 2030 eine Dichte von Gasöl von 845 kg / m³ angegeben. Diese Faktoren wurden bei der Ermittlung der Indizes übernommen und verwendet.

Detailliertere Ausführungen zu den zusammengefassten Referenzen mit weiteren Quellenangaben sind dem Bericht 2376 zu entnehmen.

3 Konkretisierungen zu den vorgeschlagenen Energie-Effizienz Indizes

Die Neuerungen und aktuellen Entwicklungen im Zusammenhang mit einer Energie-Effizienz Kennzeichnung von See- und Binnenschiffen führten im Rahmen der Studie zu einer Konkretisierung und Neuordnung der beiden in der DST-Studie von 2019 vorgeschlagenen Indizes.

1. Der $EEDI_{Binnen}$ wird weiterhin als Instrument zur Bemessung der Treibhausgasemissionen (Fokus auf Kohlenstoffdioxid CO_2) für den Vortrieb von Binnenschiffen in g CO_2 / tkm vorgeschlagen. Berücksichtigt werden dabei der Schiffswiderstand, die Propulsionsgüte und die Eigenschaften des Energiewandlers. Das Bewertungsziel ist die Identifikation des Treibhausgasausstoßes der in den Verkehr gebrachten Schiffstechnik unter definierten Test- und Umgebungsbedingungen. Das Instrument ermöglicht die Beurteilung der Wirksamkeit von technischen Maßnahmen und eine Erfassung der technischen Entwicklungen („Monitoring“) in der Binnenschifffahrt in den kommenden Jahrzehnten und ist losgelöst von betrieblichen oder transportlogistischen Einflussfaktoren.

   Der $EEDI_{Binnen}$ kann als ein Modul eines umfassenden Kennzeichnungsrahmens für die Bewertung der Energie-Effizienz und der Treibhausgasemissionen (THG) von Binnenschiffen angesehen werden.

   Auf dem Weg zur klimaneutralen Binnenschifffahrt sollten zukünftige Schiffe und Technologien sowohl emissionsarm als auch energieeffizient sein. So kann ein Schiff, das mit einem innovativen Motor ausgestattet ist, z. B. einem Dual-Fuel-Methanol-Motor, der die Treibhausgasemissionen reduziert, immer noch ein suboptimales Design und Antriebssystem haben. Selbst wenn der Motor in einer Testumgebung niedrige Treibhausgasemissionen aufweist, könnte der Gesamtenergiebedarf an Bord zu höheren Emissionen führen als bei einem herkömmlichen Schiff mit einem Dieselmotor der Stufe V. Dieser Umstand kann mit Hilfe des vorgeschlagenen $EEDI_{Binnen}$-Konzepts bewertet werden.

   Indem neu gebaute Schiffe mit dieser Methode bewertet werden, kann die Leistungsfähigkeit und Treibhausgastintensität eingeführter Schiffskonzepte und -technologien in den kommenden Jahren und Jahrzehnten verfolgt und überwacht werden. Das Instrument ermöglicht es auch, die Wirksamkeit technischer Maßnahmen unabhängig von Betriebs- oder Umweltfaktoren zu bewerten. Die Ermittlung unter vordefinierten Umweltbedingungen ist sogar vorteilhaft, da z. B. die in Zukunft zu erwartenden häufigeren Niedrigwasserperioden in Flüssen zu einem allgemeinen Anstieg des Energiebedarfs führen könnten. Der unter standardisierten Testbedingungen zu ermittelnde $EEDI_{Binnen}$ ermöglicht somit eine differenzierte Darstellung der THG-Emissionen im Vergleich zu den tatsächlichen THG-Emissionen von Binnenschiffen im individuellen Betrieb und unter sich ändernden Umweltbedingungen.

Der $EEDI_{Binnen}$ kann sowohl für Neubauten als auch für bestehende Schiffe ermittelt werden. Es wird vorgeschlagen, bei Neubauten die Ermittlung des Treibstoffverbrauchs über ein externes Kraftstoffverbrauchsmessgerät oder die eingesetzte Drehleistung (Drehmoment- /Drehzahlmessung) über einen installierten Dehnungsmessstreifen (DMS) an der Propellerwelle zu ermitteln. Zudem kann die gemessene Leistung von elektrischen Antriebsmotoren analog zur Kraftstoffverbrauchsmessung verwendet werden. Es ist eine schiffstyp- und fahrtgebietsspezifische EEDI-Testfahrt durchzuführen, die mit der Testfahrt nach ES-TRIN, Kapitel 5 und ESI-II-3 kombiniert werden kann, d. h. die Testfahrt kann im Rahmen der allgemeinen Erprobungsfahrt erfolgen. Für Neubauten könnte eine Eintragung in das Schiffsattest erfolgen.

Wenn das verkehrspolitische Ziel verfolgt wird, auch bestehende Schiffe mit einem Energie-Effizienz Index zu bewerten, um den IST-Zustand der Bestandsflotte nachträglich zu erfassen, könnte aus Kostengründen die Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$ auf Basis der Angaben von Motorsteuergerät-Daten erfolgen. In diesen Fällen ist jedoch auf Grund von größeren Messungenauigkeiten eine Erhöhung des errechneten $EEDI_{Binnen}$ um 15 % vorzunehmen[2]. Die mit diesem Verfahren ermittelten Ergebnisse dienen zudem nicht der Eintragung in das Schiffsattest. Sollten keine Angaben aus einem Motorsteuergerät vorliegen, so ist eine Drehmoment-/Drehzahlmessung an der Welle vorzunehmen oder ein externes Kraftstoffverbrauchsmessgerät notwendig. Sollte eine nachträgliche Eintragung ins Schiffsattest gewünscht sein, so sind die o. g. Messverfahren analog wie bei Neubauten einzusetzen.

Unter Nutzung der im Rahmen dieser Studie entwickelten und praktisch eingesetzten Berechnungswerkzeuge und Versuchsprotokolle kann der EEDI rechnerisch ermittelt werden. Die Versuchsprotokolle haben sich als praxistauglich erwiesen.

Der Index ($EEDI_{Binnen}$) könnte folgendes Format aufweisen:

- <Fahrtgebiet>.<Klasse> (Fahrtgebiet: I, II, III; Klasse: A – G)

Das Beispiel „**II.D**“ kennzeichnet also, dass der Index auf einem frei fließenden Gewässer ermittelt wurde und in die Klasse **D** eingegliedert wurde.

2. Für die Beurteilung der betrieblichen Energie-Effizienz bzw. der Treibhausgasintensität wird auf Basis der vorherigen Recherche-Ergebnisse eine Kombination aus dem Carbon-Intensity Indicator (CII), angelehnt an das Vorgehen aus der Seeschifffahrt, und dem in der Binnenschifffahrt etablierten GLEC-Framework unter Nutzung der DIN EN ISO 14083:2023-11 vorgeschlagen. Durch die Einbeziehung der zuletzt genannten Norm besteht eine Verknüpfung mit verschiedenen Datenquellen andere europäischer Länder. Der sich ergebende Index könnte als **CII_{Binnen}** bezeichnet werden.

   Bei diesem Instrument werden alle Energieverbraucher für den Gesamtbetrieb des Schiffes z. B. für die Dauer von einem Jahr in die Berechnung einbezogen und das Ergebnis in g CO_2 / tkm ausgedrückt. Der betrieblich verursachte CO_2-

[2] Der Korrekturvorschlag resultiert aus Ergebnissen dieser Studie und ist ggf. bei weiteren Erkenntnissen anzupassen, vgl. Kapitel 3.

Abdruck des Verkehrsträgers „Binnenschiff“ kann so über die Jahre quantifiziert werden. Es werden reale Umgebungs-, Betriebs- und Transportbedingungen abgedeckt.

Eine Möglichkeit kann es sein, die Daten, die im Rahmen der Quantifizierung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen von Transportketten für Passagiere und Fracht bereits von den Schiffsbetreibern ermittelt wurden, zentral auf europäischer Ebene, analog zum internationalen Data Collection System (DCS) der IMO, zu sammeln. Hierzu müsste eine entsprechende europäische Institution benannt und mit der Aufgabe der Datenverwaltung betraut werden. Das DST schlägt vor, zu den bereits erfassten Daten folgende weitere Daten abzufragen:

- Fahrtgebietsanteile pro Zeiteinheit (Tiefwasser, Fließgewässer (Berg-/ Talfahrt), Kanal)
- Fahrzeugklasse mit ADN-Typ
- Verwendete Schiffskraftstoffe

Die sich so ergebende Datenbasis kann der Erarbeitung von Kategorien, z. B. für verschiedene Schiffstypen oder Betriebsmodi und von Indexbereichen (Klassifizierung), ähnlich wie beim CII in der Seeschifffahrt, dienen. In den Folgejahren können diese kategorisierten und klassifizierten CII-Rankings für die Beurteilung der betrieblichen Energie-Effizienz bzw. der Treibhausgasintensität eingesetzt werden.

3. Der $\underline{EEOI}_{Binnen}$ kann weiterhin, wie in der DST-Studie von 2019 vorgeschlagen, von Schiffsbetreibern zur Beurteilung der betrieblichen Energie-Effizienz bzw. der Treibhausgasintensität des eigenen Schiffes herangezogen werden. Eine Klassifizierung ist in dem Fall nicht nötig.

Das folgende Schaubild in den Abbildungen 1 und 2 veranschaulicht in kompakter Form die erarbeiteten Vorschläge für die möglichen Energie-Effizienz Indizes in der Binnenschifffahrt bezogen auf den $EEDI_{Binnen}$ und den CII_{Binnen}.

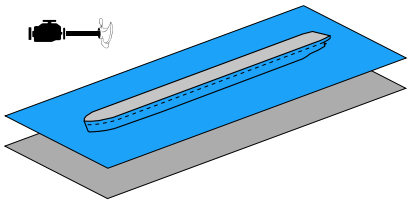
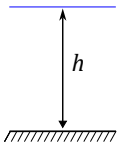
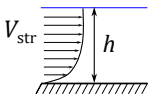
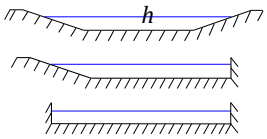
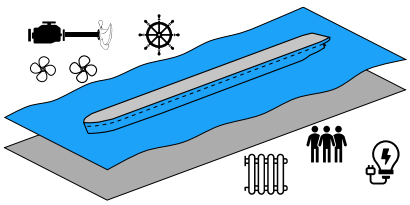
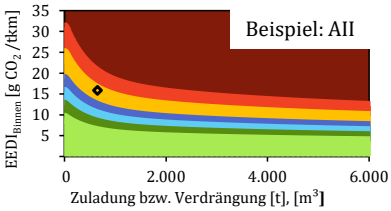
Kategorie	**Entwurfsindex $EEDI_{Binnen}$** Energy-Efficiency Design Index	**Betriebsindikator CII_{Binnen}** Carbon Intensity Indicator
Bewertungs-größen	• Treibhausgasemissionen für den Vortrieb des Schiffes in g CO_2 / tkm – Schiffswiderstand – Propulsion – Energiewandler für den Vortrieb	• Treibhausgasemissionen für den Gesamtbetrieb des Schiffes in g CO_2 / tkm – Alle Energieverbraucher
Anwendungs-gebiet	Neubauten (N) Zertifizierung / Bestandsflotte (B) Erfassung • Trockengüterschiffe (MS) • Tankschiffe (TMS) • Schubverbände (SV) • Passagier- und Kabinenschiffe (FGS)	Schiffe im Betrieb (F) • Trockengüterschiffe • Tankschiffe • Schubverbände • Passagier- und Kabinenschiffe
Bewertungsziel	• Erfassung der technisch bedingten Treibhausgasintensität • Beurteilungsmöglichkeit der Wirksamkeit von technischen Maßnahmen	• Erfassung des CO_2-Abdrucks des Verkehrsträgers Binnenschiff
Test- und Umgebungs-bedingungen	 a) Tiefwasser (A I) • h > 7,5 m • $V_{Strömung}$ < 2 km/h  b) Fließgewässer mit beschränkter Wassertiefe (A II) • 3,5 m ≤ h ≤ 7,5 m • 2,0 km/h ≤ $V_{Strömung}$ ≤ 8,0 km/h  c) Kanalprofile (A III) • 3,9 m ≤ h ≤ 4,1 m  • Versuchsdauer: 4 - 6 Stunden	 • Reale und variierende Umgebungs-bedingungen • Reale und variierende Betriebs-bedingungen • Reale und variierende Transport-bedingungen (inkl. Leerfahrten) • Datenermittlungszeitraum: z. B. 1 Jahr

Abbildung 1: Energie-Effizienz Indizes zur Beurteilung der CO_2-Treibhausgasintensität von Binnenschiffen – Teil 1

<table>
<tr><th>Kategorie</th><th>Entwurfsindex EEDI_{Binnen}
Energy-Efficiency Design Index</th><th>Betriebsindikator CII_{Binnen}
Carbon Intensity Indicator</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Messprinzip / Erfassungs-konzept</td><td>Neubauten (N) - Zertifizierung
N.1. Installation von Dehnungs-Messstreifen (DMS) auf der Propellerwelle, Nutzung eines externen Kraftstoff-verbrauchsmessgeräts <u>oder</u> Messung der elektrischen Motorleistung
N.2. Durchführung einer EEDI-Testfahrt im Rahmen der Schiffserprobung bei einer der o. g. Umgebungsbedingungen und Ermittlung einer Propellerdrehleistung-Geschwindigkeitskombination
N.3. Rechnerische Ermittlung des EEDI_{Binnen}
N.4. Einordnung des Ergebnisses zum Erhalt des Index EEDI_{Binnen} (siehe unten) und Zertifizierung des Schiffes für A I, A II oder A III (Schiffsattest)
Bestandsflotte (B) - Erfassung
B.1. Ermittlung mit Hilfe der Kraftstoff-verbrauchsanzeige <u>oder</u> der Leistungsanzeige des Motorsteuergeräts
(Es kann auf eigenem Wunsch, oder wenn kein Motor-steuergerät vorhanden ist, nach N.1. – N.4. verfahren werden.)
B.2. Durchführung einer EEDI-Testfahrt bei einer der o. g. Umgebungsbedingungen
B.3. Rechnerische Ermittlung des EEDI_{Binnen} und Erhöhung um 15% zur Berück-sichtigung der Messungenauigkeit
B.4. Berechnung des Index EEDI_{Binnen} (siehe unten). Es erfolgt keine Zertifizierung. Für die Zertifizierung ist nach N.1. – N.4. vorzugehen.</td><td>Schiffe im Betrieb (F)
• Ermittlung nach den Leitlinien der DIN EN ISO 14083:2023-11 zur Quantifizierung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen von Transportketten für Passagiere und Fracht (CO2-Berichte)
• Zentrale Erfassung der jährlichen Emissionsdaten über eine zu definierende europäische Institution
• Zusätzliche Angaben sind zu dokumentieren:
– Fahrzeugklasse mit ADN-Typ
– Fahrtgebietsanteile pro Zeiteinheit (Tiefwasser, Fließgewässer, Kanal)
– Verwendete Schiffskraftstoffe</td></tr>
<tr><td>Indizes (Vorschläge)</td><td> 

<table>
<tr><td>> 1</td><td>II.G</td></tr>
<tr><td>1 bis > 0,8</td><td>II.F</td></tr>
<tr><td>0,8 bis > 0,6</td><td>II.E</td></tr>
<tr><td>0,6 bis > 0,5</td><td>II.D</td></tr>
<tr><td>0,5 bis > 0,4</td><td>II.C</td></tr>
<tr><td>0,4 bis > 0,3</td><td>II.B</td></tr>
<tr><td>≤ 0,3</td><td>II.A</td></tr>
</table></td><td>• Klassifizierung der Daten unter Nutzung der Zusatzangaben (Datenanalyse).
• Definition von Indizes auf Basis der CII-Verteilung (klassifizierte Datenwolken) individueller Schiffe.
• Konzipierung eines politischen Anwendungsrahmens.</td></tr>
</table>

Abbildung 2: Energie-Effizienz Indizes zur Beurteilung der CO_2-Treibhausgasintensität von Binnenschiffen – Teil 2

4 Großausführungsmessungen zur Ermittlung der Treibhausgasintensität von Binnenschiffen

Als Praxistauglichkeitstest wurden für die Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$ 19 Großversuche mit den 4 unterschiedlichen Fahrzeugklassen in den 3 Fahrtgebieten durchgeführt. Die Abbildung 3 gibt einen Überblick über die möglichen Testgebiete und Fahrzeugklassen.

Es wurden Dehnungsmessstreifen und Drehzahlmesseinrichtungen auf den Propellerwellen der Schiffe zur Ermittlung der vom Antriebsstrang abgegebenen Drehleistung installiert. Die Ermittlung der CO_2-Emissionen erfolgte rechnerisch unter Nutzung von Emissionsfaktoren, siehe Kapitel 2. Einige untersuchte Fahrzeuge waren zusätzlich mit Kraftstoffverbrauchsmesssystemen (Hin- und Rücklauf) ausgestattet, so dass die Messergebnisse der Systeme verglichen werden konnten. Zudem sind 5 Messpunkte aus Telemetriedaten analysiert worden.

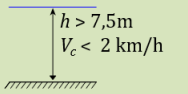
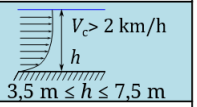
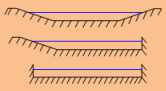
Fahrtgebiete		Fahrzeugklasse I (Trockengutschiffe)	Fahrzeugklasse II (Tankschiffe)	Fahrzeugklasse III (Schubverbände)	Fahrzeugklasse IV (Fahrgastschiffe)	Gewässerbedingungen
AI	Länge	40 m ≤ L ≤ 230 m	40 m ≤ L ≤ 230 m	40 m ≤ L ≤ 230 m	26 m ≤ L ≤ 135 m	
	Breite	5,0 m ≤ B ≤ 23 m	5,0 m ≤ B ≤ 23 m	5,0 m ≤ B ≤ 23 m	5,0 m ≤ B ≤ 23 m	
	Tragfähigkeit	250 t ≤ dw ≤ 18 000 t	250 t ≤ dw ≤ 18 000 t	250 t ≤ dw ≤ 18 000 t	50 m³ ≤ Δ ≤ 3000 m³	
AII	Länge	40 m ≤ L ≤ 135 m	40 m ≤ L ≤ 135 m	50 m ≤ L ≤ 230 m	26 m ≤ L ≤ 135 m	
	Breite	5,0 m ≤ B ≤ 17,7 m	5,0 m ≤ B ≤ 17,7 m	8,0 m ≤ B ≤ 34,4 m	5,0 m ≤ B ≤ 17,7 m	
	Tragfähigkeit	250 t ≤ dw ≤ 6 000 t	250 t ≤ dw ≤ 6000 t	500 t ≤ dw ≤ 18 000 t	50 m³ ≤ Δ ≤ 3000 m³	
AIII	Länge	40 m ≤ L ≤ 135 m	40 m ≤ L ≤ 135 m	50 m ≤ L ≤ 185 m	26 m ≤ L ≤ 135 m	
	Breite	5,0 m ≤ B ≤ 11,45 m	5,0 m ≤ B ≤ 11,45 m	8,0 m ≤ B ≤ 11,45 m	5,0 m ≤ B ≤ 11,45 m	
	Tragfähigkeit	2,0 m ≤ T ≤ 2,8 m	2,0 m ≤ T ≤ 2,8 m	2,0 m ≤ T ≤ 2,8 m	0,6 m ≤ T ≤ 2,8 m	

Abbildung 3: Überblick über die möglichen Fahrtgebiete und Schiffstypen

Die in dieser Studie untersuchten Schiffe decken einen großen Bereich zwischen 100 t und etwa 10.000 t Ladung bzw. Verdrängung (t) ab. Die Beurteilung beinhaltet auch kleine Schiffe (Länge < 85 m). Es wurden Tankschiffe, Trockengüterschiffe, Fahrgastschiffe und Schubverbände untersucht. Die Testfahrten erfolgten auf Tiefwasser ohne Strömung, auf Fließgewässern mit beschränkter Wassertiefe und auf Kanälen. Es wurden Schiffe mit diesel-mechanischen und diesel-elektrischen Antrieben, mit unterschiedlichen Antriebskonzepten (Getriebe bzw. direkt mechanisch, unterschiedliche Anzahl von Antriebssträngen, unterschiedliche Propellertypen) untersucht. Im Allgemeinen zeigte sich, dass das vorgeschlagene Ermittlungskonzept flexibel einsetzbar ist. Die Ergebnisse wurden zur Validierung der bestehenden EEDI-Referenzlinien genutzt.

Die so erhobenen Daten ermöglichten eine valide Darstellung der Energie-Effizienz in verschiedenen Fahrtgebieten und unter unterschiedlichen Betriebsbedingungen. Die folgende Abbildung veranschaulicht exemplarisch die beteiligten Größen der auf Messergebnissen basierenden rechnerischen Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$ am Beispiel eines Fließgewässers (Fahrtgebiet A II).

Für das gewählte Fahrtgebiet und den betrachteten Schiffstyp wird die $EEDI_{Binnen,Referenz-kurve}$ ermittelt. Über eine Messfahrt kann dieser bei Berücksichtigung der Strömungsgeschwindigkeit des Fließgewässers einen transienten Charakter einnehmen, vgl. blaue Kurve in der nachfolgenden Abbildung. Auf Basis der gemessenen Wellenleistung (oder dem Kraftstoffverbrauch) wird der $EEDI_{Binnen,erreicht}$ berechnet, vgl. rote Kurve.

Anschließend kann aus dem Verhältnis der $EEDI_{Binnen,Referenzkurve}$ und der $EEDI_{Binnen,erreicht}$ im Zusammenspiel mit den vorgeschlagenen Klassengrenzen eine Klassifizierung ($EEDI_{Binnen}$ Klasse) vorgenommen werden, vgl. schwarze Kurve in der gelb markierten Klasse in der unteren Abbildung.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Ergebnisse im Zeitbereich und veranschaulicht die Robustheit des Verfahrens auf Strömungsgewässern.

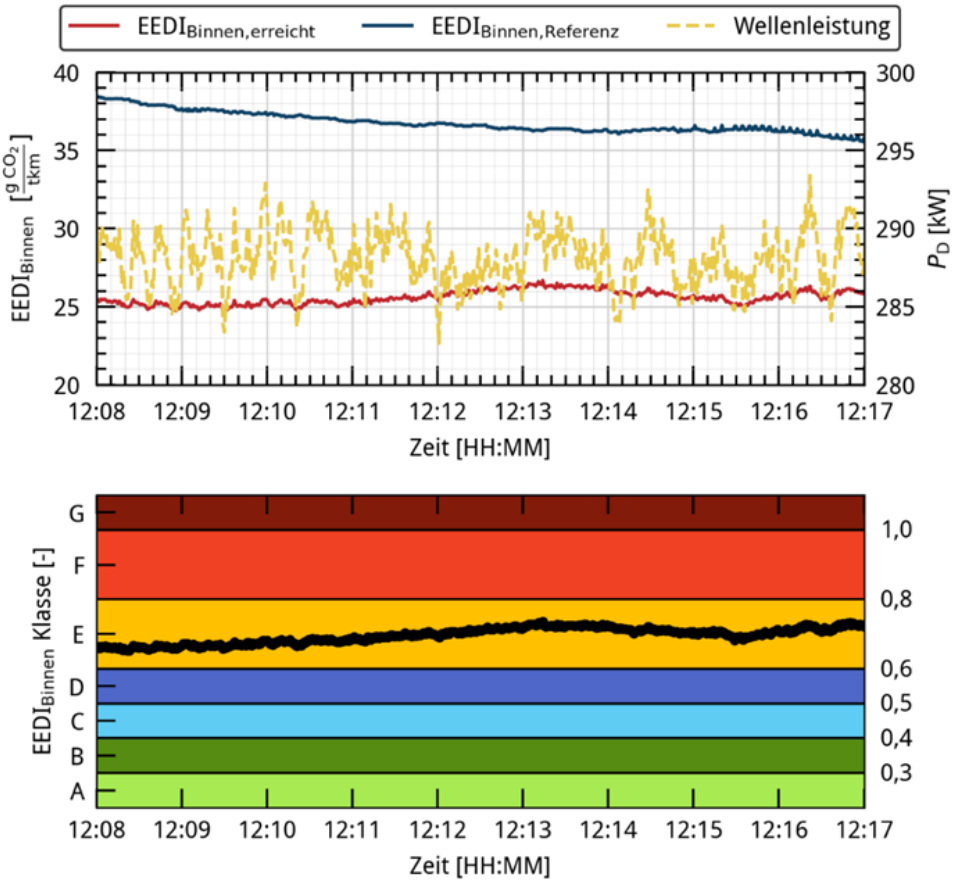


Abbildung 4: Exemplarische Messergebnisse während einer $EEDI_{Binnen}$-Testfahrt auf einem Fließgewässer

In der Praxis wird unter Annahme einer mittleren Strömungsgeschwindigkeit jeweils ein einziger Wert für $EEDI_{Binnen,Referenz}$ und $EEDI_{Binnen,erreicht}$ ermittelt und zur Klassifizierung in Relation gesetzt, siehe Abbildung 5.

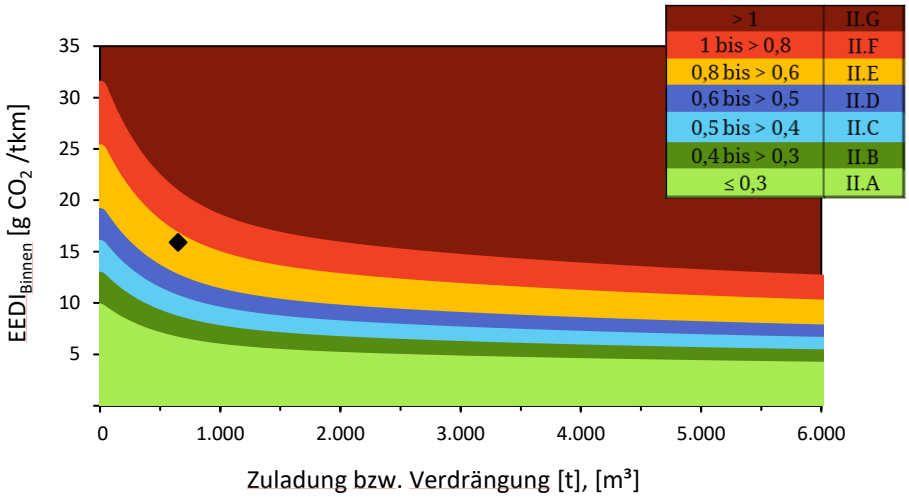


Abbildung 5: Beispielhafte Ergebnisse, die $EEDI_{Binnen}$-Referenzkurve liegt zwischen hell- und dunkelrot, darunter liegende Kategorien und die erreichte $EEDI_{Binnen}$ sind ebenfalls dargestellt

Eine Übersicht über alle ermittelten $EEDI_{Binnen}$ (ohne Klassifizierung) zeigt die nachfolgende Grafik für die 3 Fahrtgebiete A I, A II und A III.

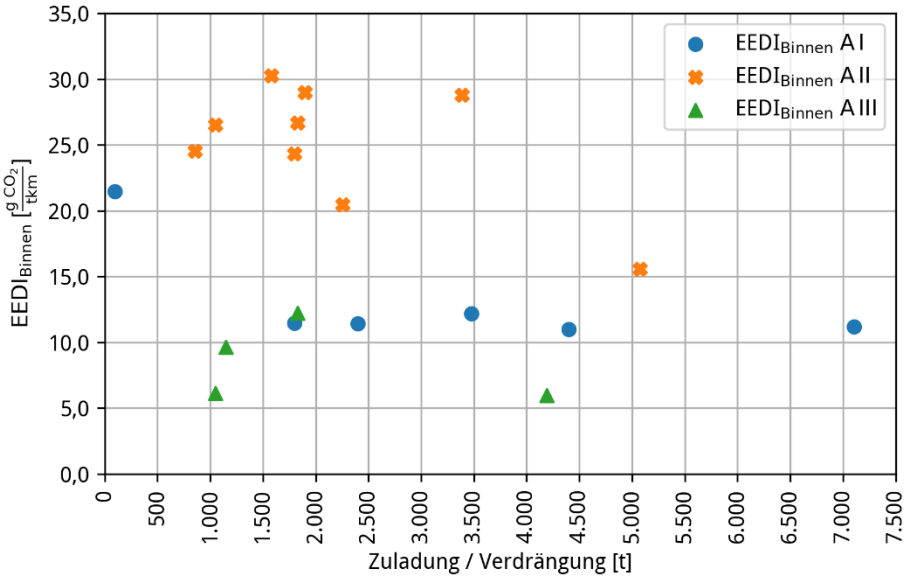


Abbildung 6: Übersicht aller durch DMS- und/oder Kraftstoffverbrauchsmessungen ermittelten EEDI für unterschiedlichen Schiffstypen und Fahrtgebiete

Ergänzend sind in der Abbildung 7 exemplarisch für das Fahrtgebiet A I die Messergebnisse in Relation zur fahrtgebietsspezifischen EEDI-Referenzlinie und für unterschiedliche Schiffstypen dargestellt. Es wurde festgestellt, dass die theoretisch ermittelten Referenzlinien zur Bemessung der Energie-Effizienz und der Treibhausgasintensität geeignet sind.

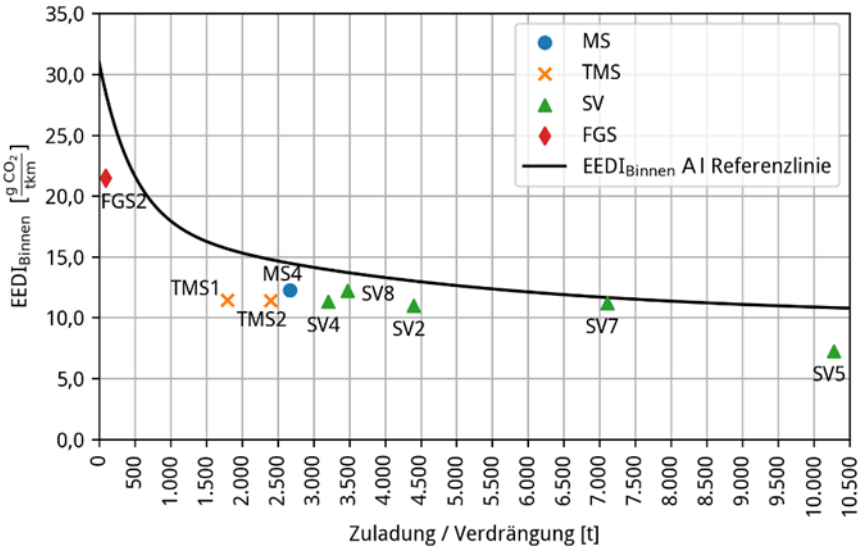


Abbildung 7: Übersicht aller ermittelten $EEDI_{Binnen}$ im Fahrtgebiet A I mit der Referenzlinie

Im Folgenden werden die wesentlichen Erkenntnisse aus den Großausführungsmessungen für den $EEDI_{Binnen}$ zusammengefasst:

- Es wurden Fehlerabschätzungen für jede gemessene Größe ausgearbeitet und Sensitivitätsstudien durchgeführt. Sie dienen als erste Indikatoren für die Ungenauigkeiten des vorgeschlagenen Konzepts. Für die Fehlerbetrachtung bei Messungen mit Dehnungsmessstreifen (DMS) auf der Propellerwelle wird ein Gesamtfehler von ±4 % angenommen.

- Es wurde festgestellt, dass die ermittelte $EEDI_{Binnen}$-Klasse unempfindlich gegenüber dem gewählten Streckenabschnitt auf Flüssen ist, solange der Wasserstraßentyp konsistent bleibt und die vorgegebenen Grenzwerte eingehalten werden. Dies wurde beobachtet, indem ein Schiff über einen längeren Zeitraum flussaufwärts getestet wurde. Durch die Verwendung der momentanen lokalen Strömungsgeschwindigkeiten für die Berechnung des $EEDI_{Binnen}$-Referenzwerts blieb die ermittelte $EEDI_{Binnen}$ -Klasse unverändert. Mit dieser Sensitivitätsstudie kann die Robustheit des Ansatzes demonstriert werden. Örtliche Besonderheiten (Querströmungen, lokale Strömungseffekte, Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern) sind jedoch stets vom Prüfingenieur zu identifizieren und zu bewerten.

- Ein weiterer Teil der Sensitivitätsstudie konzentrierte sich auf den Vergleich der Ergebnisse zwischen den Messungen der Wellendrehleistung und des Kraftstoffverbrauchs. Grundsätzlich wurde eine gute Übereinstimmung zwischen beiden Messansätzen gefunden, so dass beide Ansätze gleichwertig eingesetzt werden können.

- Darüber hinaus wurden Vergleiche zwischen den Ergebnissen der Wellenleistungsmessung und den Ergebnissen von vorhandenen Motorsteuergeräten angestellt. Dabei wurden erwartungsgemäß erhebliche Diskrepanzen festgestellt und quantifiziert (±15 %).

- Unterschiedliche $EEDI_{Binnen}$-Klassen auf verschiedenen Wasserstraßenklassen sind möglich. Das ist plausibel, da Schiffskonstruktionen unterschiedliche Auslegungskriterien und hydrodynamische Eigenschaften auf Flüssen und Kanälen haben. Die Wahl des Prüfgebiets liegt in der Verantwortung des Prüfingenieurs und sollte sich an den Eintragungen im Schiffszeugnis und dem erwarteten (Haupt-)Fahrprofil des Schiffes orientieren.
- Es wurden höhere Energie-Effizienz Design-Indizes (EEDI) in strömenden Gewässern (Fahrtgebiet A II) bei der Bergfahrt als auf tiefen Gewässern und im Vergleich zum Kanal identifiziert. Die Effizienz auf Tiefwasser ist höher, was den erwarteten Einfluss der geringeren Strömungsgeschwindigkeit und der größeren Tiefenverhältnisse bestätigt. Auch auf den Kanälen sind geringere Treibhausgasemissionen zu beobachten. Das ist auf die fehlende Strömung und die beschränkte Schiffsgeschwindigkeit zurückzuführen. Bei der relativen Betrachtung zur Referenzlinie zeigen sich jedoch keine signifikanten qualitativen Unterschiede zwischen den Fahrtgebieten.

5 Vorschlag für ein zuverlässiges und kostengünstiges Verfahren zur Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$

Das im Rahmen der Studie verfeinerte und erprobte praktische Verfahren zur Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$ beinhaltet 4 Phasen auf 2 Ebenen:

Arbeitsphasen:

1. Planung der Testfahrt im Vorfeld
2. Dokumentationen unmittelbar vor Beginn der Testfahrt
3. Durchführung der Testfahrten
4. Protokollierungen nach Abschluss der Testfahrt

Arbeitsebenen:

1. Auswahl des Gewässers und Dokumentation der Umgebungsbedingungen
2. Durchführung von Messungen an Bord zur Erfassung der Schiffsdaten

Der (abgeschätzte) benötigte Zeitaufwand für die Durchführung der exemplarischen beschriebenen $EEDI_{Binnen}$-Messung ist in der folgenden Tabelle dargestellt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der Zeitrahmen für die Messfahrt bei einer Probefahrt zum Erlangen des Schiffsattestes durchaus kleiner sein kann. Dies liegt daran, dass das Probefahrtgebiet nicht separat angefahren werden muss, was sowohl Zeit als auch Ressourcen spart. Eine umfassende Planung und Vorbereitung einer $EEDI_{Binnen}$-Messung, als auch eine sorgfältige Evaluierung der Messergebnisse ist auch im Rahmen einer Probefahrt notwendig.

Tabelle 1: Übersicht des Zeitaufwands je Arbeitsschritt für eine $EEDI_{Binnen}$-Ermittlung am Beispiel einer Wellendrehleistungsmessung

Auswahl des Fahrtgebiets und Planung der Messfahrt	2 h
Installation der DMS und des Drehzahlsensors an Bord des Schiffes	3 h
Messgeräte betriebsbereit mache, Beladung (Eichmarken, Eichschein) prüfen	2 h
Messfahrt auf dem Rhein (bestehend aus Berg und Talfahrt für die Strömungsgeschwindigkeit und Treiben lassen) inkl. An- und Ablegen	2 h
Abbau Messtechnik	1 h
Dokumentation, Auswertung der Ergebnisse	2 h
Summe	**12 h**

Abhängig von den örtlichen Gegebenheiten, des Informationsstands und der Erfahrung der durchführenden Person kann der Zeitaufwand jedoch auch größer ausfallen. Zudem ist der Aufwand für die Installation der DMS von der Zugänglichkeit der Klebestellen und der Anzahl der zu beklebenden Propellerwellen abhängig.

Unter der Berücksichtigung der verschiedenen Einflüsse auf den Zeitbedarf wird der Aufwand für eine $EEDI_{Binnen}$ -Messung mit 10 bis 20 Stunden abgeschätzt.

Die Installation von Dehnungsmessstreifen und der Drehzahlmessung sollte von einem zertifizierten Messtechniker durchgeführt werden. Die Analyse der $EEDI_{Binnen}$-Testläufe erfordert theoretisches Hintergrundwissen (vergleichbar mit dem benötigten Wissen für die Durchführung von Probefahrten). Daher sollte eine qualifizierte Person den speziellen $EEDI_{Binnen}$-Testlauf vorbereiten und begleiten. Es ist denkbar, dass dieses Verfahren in die Erprobung von Schiffsneubauten integriert wird und damit keinen wesentlichen Mehraufwand darstellt.

Der Verfahrensvorschlag mit weiteren Teilarbeitsschritten ist kompakt in der Abbildung 8 und Abbildung 9 zusammengefasst.

Arbeitsschritte zur Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$

Arbeitsschritt	Auswahl Gewässer und Dokumentation der Umgebungsbedingungen	Erfassung der Schiffsdaten und Messungen an Bord
1. Planung der Testfahrt	• Festlegung des Fahrtgebiets (A I, A II, A III) • Ermittlung geeigneter Teststrecke mindestens 2 km gemäß der Anforderungen – Gleichbleibende und geplante Wassertiefe – Gleichbleibende und ungefähre Strömungsgeschwindigkeit Anforderungen nach $EEDI_{Binnen}$ • Ermittlung der Höchstgeschwindigkeit und Kanalabmessungen für das Fahrtgebiet A III	• Bestimmung der Fahrzeugklasse • Betrachtung der Verbandsformation (Anordnung und Informationen der beteiligten Fahrzeuge) – Einholen der Informationen aus Schiffsattesten und Eichscheinen – Ermittlung der größten Zuladung / Verdrängung – Ermittlung des Mindesttiefgangs für die Testfahrt (mindestens 70% der maximalen Zuladung / Verdrängung) • Festlegung der Messmethoden – Wellenleistung – Kraftstoffverbrauchsmessung – Elektrische Motorleistung • Informationen über bordeigene Messgeräte (GPS, Echolot, ...) • Informationen über den Antrieb – Anzahl der Propeller – Antriebsart (Propeller, Ruderpropeller, ...) – Motoren (Maximalleistung, Drehzahl, ...) • Absprache der Methoden mit der Schiffsbesatzung
2. Unmittelbar vor Beginn der Testfahrt	• Dokumentation des relevanten Pegelstandes • Prüfen der Umgebungsbedingungen: Wind, erwartete Wassertiefe, erwartete Strömungsgeschwindigkeit • Prüfen des erwarteten Verkehrs und der uneingeschränkten Durchführbarkeit der Testfahrt – Prüfen von lokalen und temporären Fahrwassereinschränkungen	• Installation aller erforderlichen Messeinrichtungen – DMS Installation auf Welle – Kraftstoffverbrauchsmessung • Übersicht und Funktionsprüfung aller erforderlichen Messsysteme – Drehmoment-/Drehzahlmessung – Kraftstoffverbrauchsmessung – GPS, Echolot, ... • Dokumentation der beteiligten Fahrzeuge – Tiefgang anhand von Eichmarken ablesen – Ermittlung der Zuladung / Verdrängung nach Eichschein • Dokumentation der Verbandsanordnung • Absprache der Durchführung mit der Schiffsführung

Abbildung 8: Verfahrensablauf zur Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$ - Teil 1

Arbeitsschritte zur Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$

Arbeitsschritt	Auswahl Gewässer und Dokumentation der Umgebungsbedingungen	Erfassung der Schiffsdaten und Messungen an Bord
3. Durchführung der Testfahrt	• Ermittlung der tatsächlichen Wassertiefe • Wassertiefe weiter beobachten, damit nur Abschnitte konstanter Wassertiefe befahren werden • Ermittlung der tatsächlichen Strömungsgeschwindigkeit – Bevorzugt durch Berg- und Talfahrt bei gleicher Wellenleistung oder Kraftstoffverbrauchs – Beobachtung und Dokumentation des Schiffsverkehrs (keine Überholvorgänge und Begegnungen während der Testfahrt • Beobachtung des Fahrwassers und möglicher Störeinflüsse in der Fahrrinne und am Gewässerrand – Querströmungen – Hindernisse – Untiefen,…	• Ermittlung der einzusetzenden Wellenleistung bzw. des Kraftstoffverbrauchs für (A I und A II) mittels – Wassertiefe – Verbandsformation – Zuladung / Verdrängung • Ermittlung der Geschwindigkeit über Grund im Kanal (A III) – Berücksichtigung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit • Befahren der Teststrecke mit konstanter Leistung (A I und A III) bzw. konstanter Geschwindigkeit (A III) • Dokumentation aller Parameter und Messwerte – Gemessene Leistung bzw. gemessener Kraftstoffverbrauch – Gemessene Geschwindigkeit über Grund
5. Nach Abschluss der Testfahrt	• Protokoll der Testfahrt – Dokumentation der Testbedingungen (gewässer- und schiffsbezogen) – Dokumentation aller Parameter und Messwerte – Fehleranalyse der Messwerte, wenn notwendig • Ermittlung und Protokollierung des erreichten $EEDI_{Binnen}$	

Abbildung 9: Verfahrensablauf zur Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$ - Teil 2

6 Einordnung und Ausblick

In der Studie wurden zum vorgeschlagenen Ermittlungskonzept entsprechende Berechnungswerkzeuge und ein geeignetes Protokollierungsformat erarbeitet, die zukünftig so oder in ähnlicher Form Anwendung finden könnten. Außerdem liegt neben dem Bericht zur Studie ein Handbuch zum praktischen Vorgehen vor.

Der $EEDI_{Binnen}$ ermöglicht es, die THG-Emissionen, die durch die auf den Markt gebrachte Schiffs- und Antriebstechnik verursacht werden, unabhängig von den Betriebs- und Umweltbedingungen zu verfolgen. Der Index könnte als Ergänzung zu anderen Kennzeichnungsansätzen dienen, die auf die Bestimmung der Gesamtumweltleistung des Verkehrsträgers abzielen.

Im Zusammenhang mit dem $EEDI_{Binnen}$ ist es möglich, das vorgeschlagene Konzept mit Überlegungen zum „Well-to-Wake“ Ansatz und zur Bewertung der Luftschadstoffemissionen zu verknüpfen, indem auf den Energiebedarf, ausgedrückt durch kWh/tkm, umgerechnet wird. Die Beurteilung von anderen Kraftstoffen ist möglich, sofern die dazugehörigen Emissionsfaktoren für die betrachtete Emission bekannt sind.

Nach Einschätzung des DST liegt ein praxistaugliches und effizientes Verfahren zur Beurteilung der Treibhausgasintensität von neuen und existierenden Binnenschiffen vor, das in nationalen und internationalen Gremien und Arbeitsausschüssen vorgestellt und zur Diskussion gestellt werden kann.

7 Referenzen

[1] Helmut Bross, „Energie-Effizienz Indizes von Binnenschiffen“, DST-Bericht 2252, Duisburg, 2019

[2] Martin Quispel, Khalid Tachi und Loure Roux, “Report on implementation of European IWT emission label / energy index / GLEC for vessels”, Technical Report D2.6 of the EC-funded Project PLATINA3, https://platina3.eu/wp-content/uploads/2022/11/220228_Deliverable-final-D2.6-Label-index-inland-vessels_public-2.pdf (zuletzt abgerufen am 15.05.2024), 2023

[3] BGBI.I S 2006: Die Verordnung über die Emissionsberichterstattung nach dem Brennstoffemissionshandelsgesetz für die Jahre 2023 bis 2030 (Emissionsberichterstattungsverordnung 2030 - EBeV 2030 vom 21.12.2022

[4] Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the European Economic And Social Committee and the Committee of the Regions; The European Green Deal; COM(2019) 640 final

[5] Directorate-General for Mobility and Transport, European Commission, “Green Deal: Greening freight for more economic gain with less environmental impact, https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/green-deal-greening-freight-more-economic-gain-less-environmental-impact-2023-07-11_en, aufgerufen am 18.06.2024

[6] Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 (‘European Climate Law’) (OJ L 243, 9.7.2021, p. 1–17), https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R1119, aufgerufen am 18.06.2024

[7] European Commission, “Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on the accounting of greenhouse gas emissions of transport services”, 2023/0266 (COD), Strasbourg, 2023

[8] European Commission, COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT IMPACT ASSESSMENT REPORT accompanying the document “Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on the accounting of greenhouse gas emissions of transport services”, SWD (2023, 441/2, Strasbourg, 2023

[9] Jaan Soone, Edvard Svahn, “EU Legislation in Progress” briefing, “CountEmissionsEU Measuring emissions from transport services”, März 2024

[10] Zentralkomission für Rheinschifffahrt (ZKR), „ROADMAP DER ZKR zur Verringerung der Emissionen in der Binnenschifffahrt“ https://www.ccr-zkr.org/files/documents/Roadmap/Roadmap_de.pdf, Ausgabe 2022.

[11] International Maritime Organisation (IMO). Amendments to MARPOL Annex VI (Inclusion of regulations on energy efficiency for ships in MARPOL Annex VI), 01.01.2013, https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.203(62).pdf, aufgerufen am 15.10.2024

[12] International Maritime Organisation (IMO). Amendments to MARPOL Annex VI (Procedures for sampling and verification of the sulphur content of fuel oil and the Energy Efficiency Design Index (EEDI)), 01.04.2022, https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC.324(75).pdf, aufgerufen am 15.10.2024

[13] International Maritime Organisation (IMO). Resolution A.963(23) IMO Policies and practices related to the reduction of greenhouse gas emissions from ships, 05.12.2003, https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.963(23).pdf, aufgerufen am 15.10.2024

[14] International Maritime Organisation (IMO). Resolution MEPC.278(70) Amendments to the annex of the protocol of 1997 to amend the international convention for the prevention of pollution from ships, 1973, as modified by the protocol of 1978 relating thereto, 28.10.2016, https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.278(70).pdf, aufgerufen am 15.10.2024

Handbuch zur Ermittlung der Energie-Effizienz von Binnenschiffen

Anlage zu Bericht Nr. 2376

Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V.
Development Centre for Ship Technology and Transport Systems

Auftraggeber:
Bundesministerium für Digitales und Verkehr
Invalidenstraße 44
10115 Berlin

Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e. V.
DST – Development Centre for Ship Technology and Transport Systems

Oststraße 77
47057 Duisburg

Tel. +49 203 99369-0
Fax +49 203 99369-70
e-mail dst@dst-org.de
web www.dst-org.de

Mitglied der Johannes-Rau-Forschungsgemeinschaft e. V.

Institut an der Universität Duisburg-Essen

Mitglied der International Towing Tank Conference

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 6

2 Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$ 9

3 Messmethoden und ihre Anforderungen 13

3.1 Messmethoden der Antriebsleistung im Allgemeinen 14

3.2 Drehmoment-/Drehzahlmessung an der Welle 15

3.3 Externe Kraftstoffverbrauchsmessgeräte 16

3.4 Elektrische Leistungsmessung 17

3.5 Ermittlung der Wassertiefe und Strömungsgeschwindigkeit. 17

4 Rechnerische Ermittlung der Referenzlinien 19

4.1 $EEDI_{Binnen}$ nach A I 19

4.2 $EEDI_{Binnen}$ nach A II 21

4.3 $EEDI_{Binnen}$ nach A III 23

5 $EEDI_{Binnen}$ im Überblick 26

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verfahrensablauf zur Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$ - Teil 1 11
Abbildung 2: Verfahrensablauf zur Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$ - Teil 2 12
Abbildung 3: GPS-Empfänger, Kompass, AIS-Empfänger und Messwerterfassung an Deck 14
Abbildung 4: Aufbau der Messelektronik zur Propellerdrehleistungsmessung mit DMS und Drehzahlsensor 16
Abbildung 5: Motorbedienpanel und Kraftstoffverbrauchsmessung 17
Abbildung 6 Kanal mit einem Trapezprofil 23
Abbildung 7: Kanal mit einem Rechteckprofil 23
Abbildung 8: Kanal mit einem Rechteck/Trapezprofil 23
Abbildung 9: $EEDI_{Binnen}$ im Überblick 26

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zuordnung $EEDI_{Binnen}$-Index zu den Gewässerzonen 6
Tabelle 2: Nomenklatur $EEDI_{Binnen}$ 9
Tabelle 3: Klassen des $EEDI_{Binnen}$ 10
Tabelle 4: Relevante Parameter und Messgrößen während der $EEDI_{Binnen}$-Testfahrt 13
Tabelle 5: Einsetzbare Messmethoden für Neubauten und Schiffe im Verkehr 15
Tabelle 6: Nomenklatur für die Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit aus Berg- und Talfahrt 18
Tabelle 7: Nomenklatur EEDI-Referenzlinie A I 19
Tabelle 8: Koeffizienten EEDI-Referenzlinie A I 20
Tabelle 9: Nomenklatur EEDI Wellenleistung nach A I 20
Tabelle 10: Koeffizienten EEDI Wellenleistung A I 20
Tabelle 11: Nomenklatur EEDI-Referenzlinie A II 22
Tabelle 12: Koeffizienten EEDI-Referenzlinie A II 22
Tabelle 13: Nomenklatur EEDI Wellenleistung nach A II 22
Tabelle 14: Koeffizienten EEDI Wellenleistung A II 22
Tabelle 15: Nomenklatur Gewässerdaten für A III 24

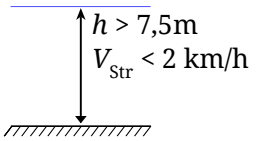
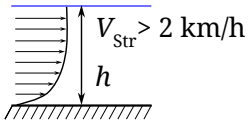
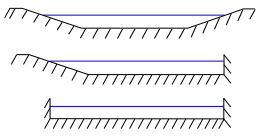
Tabelle 16: Nomenklatur EEDI-Referenzlinie A III 25
Tabelle 17: Koeffizienten EEDI-Referenzlinie A III 25
Tabelle 18: Nomenklatur EEDI Geschwindigkeit ($V_{\text{üG}}$) nach A III 25
Tabelle 19: Koeffizienten für Geschwindigkeit ($V_{\text{üG}}$) nach A III 25

1 Einleitung

In dem Projekt „Beurteilung des Energiebedarfs von Binnenschiffen mit Hilfe von Energie-Effizienz Indizes“, DST-Bericht 2252, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), wurden Methoden zur Bestimmung eines $EEDI_{Binnen}$ erarbeitet. Im vorliegenden Projekt „Energie-Effizienz und die Treibhausgasintensität von Binnenschiffen“, DST-Bericht 2376, im Auftrag des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV), wurden die Ergebnisse aufgegriffen, ergänzt und mit Messungen auf realen Schiffen verifiziert, so dass für drei unterschiedliche Indizes eine Durchführungsanweisung zur Bestimmung eines $EEDI_{Binnen}$ bereitgestellt werden kann.

Es wird vorgeschlagen, dass der $EEDI_{Binnen}$ bei jeder Schiffsuntersuchung, insbesondere wenn zulassungsrelevante Änderungen, wie beispielsweise Baumaßnahmen am Schiffskörper oder an den Manövrier- und Antriebsanlagen vorgenommen wurden, durchgeführt wird. Der erste festgestellte $EEDI_{Binnen}$ könnte in das Schiffsattest eingetragen werden. Insgesamt wurden, je nach Fahrtgebiet des Schiffes und dem Ort der Schiffsuntersuchung, drei Methoden zur Feststellung eines $EEDI_{Binnen}$ erarbeitet. Diese sind für unterschiedliche Gewässertypen entwickelt worden und in der nachfolgenden Tabelle 8 aufgelistet. Dabei ist auch die Zone[1] zu beachten, zu der das Gewässer gehört.

Tabelle 1: Zuordnung $EEDI_{Binnen}$-Index zu den Gewässerzonen

EEDI-Index	Gewässer	
A I	Tiefe Gewässer der Zonen 1, 2, 3, 4	
A II	Fließgewässer der Zonen 2, 3, 4	 3,5 m ≤ h ≤ 7,5 m
A III	Kanalisierte Gewässer der Zone 4	

Der $EEDI_{Binnen}$ für das Fahrtgebiet A I soll auf einem tiefen Gewässer mit einer Wassertiefe von h > 7,5 m erfolgen und kann gleichzeitig mit der Schiffsuntersuchung für das Binnenschiffszeugnis durchgeführt werden. Er kann auf allen tiefen Gewässern

[1] Amtsblatt der Europäischen Union L 2021284/1 vom 09.08.2021 DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) 2021/1308 DER KOMMISSION vom 28. April 2021 zur Änderung der Anhänge I und II der Richtlinie (EU) 2016/1629 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Änderung der Liste der Binnenwasserstraßen der Union und der technischen Mindestvorschriften für Fahrzeuge

aller Zonen, die die Anforderung an die große Wassertiefe und die geringe Strömungsgeschwindigkeit erfüllen, durchgeführt werde. So kann der Test auch auf Seen mit großer Wassertiefe erfolgen.

Die Schiffsuntersuchungen können ebenso auf strömenden Gewässern mit geringeren Wassertiefen durchgeführt werden, so dass für diesen Fall ein fahrtgebietsabhängiger $EEDI_{Binnen}$, nachfolgend mit A II bezeichnet, entwickelt wurde. Hier ist auch eine beschränke Wassertiefe berücksichtigt.

Der $EEDI_{Binnen}$ A I und A II sind gleichwertig zu betrachten, aber miteinander nicht gleichzusetzen. Ein fließendes Gewässer mit unterschiedlichen Flussquerschnitten, Strömungen, Gefällen und Wassertiefen verursacht einen erheblichen Einfluss auf die erreichbare Geschwindigkeit und den Leistungsbedarf bzw. die spezifischen Treibstoffemissionen der Schiffe. Deshalb ist die spezifische Treibhausemission beim $EEDI_{Binnen}$ nach A II höher als beim $EEDI_{Binnen}$ nach A I.

Für Schiffe, die nur ein Binnenschiffszeugnis der Zone 4 erwerben, wurde ein spezifischer $EEDI_{Binnen}$, nachfolgend mit A III bezeichnet, entwickelt. Die Anforderungen für die Zulassung der Schiffe, die nicht die Zonen 1, 2 oder 3 befahren dürfen, sind geringer, so dass die Bedingungen für diesen Index angepasst worden sind. Die Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$ kann auf kanalisierten Gewässern erfolgen.

Mit diesen drei Indizes ist es möglich, in drei unterschiedlichen Fahrtgebieten den $EEDI_{Binnen}$ festzustellen und jeweils fahrtgebietsabhängig eine hydrodynamische Optimierungsmaßnahme zu bewerten und die Veränderung der CO_2-Emission oder allgemein die spezifische Treibhausgasemission festzustellen. Auch der bauartbedingte Einfluss verschiedener Schiffstypen wird berücksichtigt. Hierbei werden die Anforderungen an das Testverfahren und die Referenzwerte entsprechend unterschieden.

Fahrzeuge der Binnenschifffahrt sollten entsprechend dem Fahrtgebiet bzw. den eingetragenen Zonen im Binnenschiffszeugnis (nach A I, A II oder A III) mit einem zugehörigen $EEDI_{Binnen}$ gekennzeichnet sein.

Dabei werden die Fahrzeuge grundsätzlich in vier Klassen unterschieden:

1. Trockengutschiffe, Containerschiffe (MS)
2. Tankschiffe (TMS)
3. Schubverbände (SV)
4. Fahrgastschiffe (FGS)

Einen Bezug auf die Anzahl der transportierten TEU (Fahrzeugklasse 1 und 3) oder die Anzahl der Fahrgäste (Fahrzeugklasse 4) erfolgt nicht, können aber ergänzend im Protokoll unter „Sonstiges“ eingetragen werden.

Innerhalb der Fahrzeugklasse 2 können beispielsweise auch Gastankschiffe vorkommen, die aufgrund der Sicherung des Transportguts eine geringere Tragfähigkeit haben als andere Tankschiffe. Bei gleicher Schiffsgröße und Tiefgang können Gastanker somit einen höheren $EEDI_{Binnen}$ erreichen als andere Tankschiffe. Mit einer Vielzahl an Messungen des $EEDI_{Binnen}$ könnte sich zukünftig eine Unterteilung der Fahrzeugklasse 2, aber auch der anderen Fahrzeugklassen, beispielsweise mit dem Bezug auf die Anzahl der TEU oder die Anzahl der Fahrgäste, ergeben.

Bezogen auf die Fahrzeugklasse 3 können Schubverbände, bestehend aus einem Schubboot und einem oder mehreren Schubleichtern oder bestehend aus einem schiebenden Motorschiff und einem oder mehreren Schubleichtern, zusammengestellt sein. Im Binnenschiffszeugnis des Schubboots oder des Motorschiffs werden die zulässigen Schubformationen angegeben, die bei der Schiffsuntersuchung geprüft wurden. Für jede zugelassene Schubformation wird ein $EEDI_{Binnen}$ ermittelt.

2 Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$

Es existieren drei Methoden für die Ermittlung eines $EEDI_{Binnen}$. Entscheidend für die Wahl der Methode ist das Fahrtgebiet. Zudem muss das Testgebiet in den im Binnenschiffszeugnis eingetragenen zulässigen Fahrtgebieten des Fahrzeugs enthalten sein. Die Methoden werden wie nachfolgend bezeichnet:

- $EEDI_{Binnen}$ nach A I
- $EEDI_{Binnen}$ nach A II
- $EEDI_{Binnen}$ nach A III

Für jede Methode wurde eine EEDI-Referenzlinie formuliert. Bei einem $EEDI_{Binnen}$-Test nach A I und A II wird die einzustellende Wellenleistung (P_D) vorgegeben und die Geschwindigkeit über Grund ($V_{üG}$) gemessen. Bei einem $EEDI_{Binnen}$-Test nach A III wird die Geschwindigkeit ($V_{üG}$) vorgegeben und die Wellenleistung (P_D) gemessen. Es ist das Ziel, einmal eine Wellenleistung einzustellen, die minimal größer als die geforderte Leistung ist, und diese konstant zu belassen. Schwankungen in der Geschwindigkeit durch externe Störungen werden durch die Mittelwertbildung kompensiert. Aus den Messergebnissen wird der erreichte $EEDI_{Binnen}$ ermittelt. Bei der Gegenüberstellung soll der erreichte $EEDI_{Binnen}$ kleiner oder gleich dem $EEDI_{Binnen,Referenz}$ auf der tragfähigkeits- oder verdrängungsgewichtsabhängigen EEDI-Referenzlinie sein.

Der $EEDI_{Binnen}$ bezieht sich auf die Tragfähigkeit (dw) bzw. das Verdrängungsgewicht ($\Delta \cdot \rho$).

$$EEDI_{Binnen,erreicht} = \frac{P_D \cdot SFC \cdot C_F}{V_{üG} \cdot dw \cdot 1000}$$

Tabelle 2: Nomenklatur $EEDI_{Binnen}$

P_D	[kW]	Wellenleistung
SFC	$\left[\frac{\text{g Diesel}}{\text{kWh}}\right]$	spezifischer Kraftstoffverbrauch
C_F	[-]	CO_2-Äquivalent von Diesel (3,167 $\frac{\text{g } CO_2}{\text{g Diesel}}$)
$V_{üG}$	$\left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]$	Geschwindigkeit über Grund
dw	[t]	Tragfähigkeit / Zuladung; bei der Fahrzeugklasse 4 wird $dw = \Delta \cdot \rho$ eingesetzt
Δ	[t]	Verdrängungsmasse
ρ	$\left[\frac{\text{t}}{\text{m}^3}\right]$	Dichte

Für jede Methode zur Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$ muss die Wellenleistung (P_D) festgestellt werden.

Dazu wird eine Drehmoment-/Drehzahlmessung an der/den Propellerwelle/n bevorzugt. Wird der $EEDI_{Binnen}$ gleichzeitig mit den Geschwindigkeits- und Manöverversuchen für die Erteilung des Binnenschiffszeugnis ermittelt, wird der zusätzliche finanzielle und zeitliche Aufwand für die Messung an der/den Propellerwelle/n als gering bewertet.

Die Wellenleistung kann mittels Kraftstoffverbrauchsmessung unter Berücksichtigung der Wirkungsgradverluste zwischen der Propellerwelle und dem Ort der Kraftstoffverbrauchsmessung ermittelt werden. Die Sensoren der Kraftstoffverbrauchsmessung müssen den Vor- und Rücklauf des Kraftstoffs, die spezifischen Eigenschaften des Kraftstoffs (insbesondere Temperatur und Dichte) und die pulsartigen Strömungsvorgänge des Kraftstoffs berücksichtigen. Sofern Elektromotoren als Hauptantriebe eingesetzt werden, kann die vom Frequenzumrichter ermittelte elektrische Leistung als gleichwertig zur Kraftstoffverbrauchsmessung angesehen werden. Grundlage hierfür ist, dass die elektrische Motorleistung auf direkten Messungen des Stroms und der Spannung unter Berücksichtigung der Phasenlage erfolgt.

Für das Bestimmen des $EEDI_{Binnen}$ in der Bestandsflotte kann auch eine Ermittlung der Wellenleistung mittels Motormonitoring eingesetzt werden. Es kann die Ausgabe der Bremsleistung oder des Kraftstoffverbrauchs mit Berücksichtigung der Wirkungsgradverluste zwischen der Bremsleistung und der Wellenleistung genutzt werden. Die so ermittelte Wellenleistung sollte mit einem Aufschlag von 15 % bewertet werden, da es bei den Angaben von Motorsteuergeräten zu Diskrepanzen im genannten Rahmen zur tatsächlichen Wellenleistung kommen kann.

Zur Einordnung des erreichten $EEDI_{Binnen}$ anhand der zugehörigen Referenzlinie wird das Ergebnis in Bezug auf die fahrzeugklassen- und fahrtgebietsabhängige Referenzlinie klassiert. Hierfür wird das Verhältnis aus den beiden Werten berücksichtig. Die Klassen und deren Wertebereiche werden in Tabelle 3 aufgelistet.

$$\text{Verhältnis} = \frac{EEDI_{Binnen,erreicht}}{EEDI_{Binnen,Referenz}}$$

Tabelle 3: Klassen des $EEDI_{Binnen}$

$EEDI_{Binnen}$-Klasse	Verhältnis
G	> 1
F	1 bis > 0,8
E	0,8 bis > 0,6
D	0,6 bis > 0,5
C	0,5 bis > 0,4
B	0,4 bis > 0,3
A	≤ 0,3

Eine Übersicht des Ablaufs zur Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$ ist in den folgenden Abbildungen (Abbildung 1 und Abbildung 2) dargestellt.

Arbeitsschritt	Auswahl Gewässer und Dokumentation der Umgebungsbedingungen	Erfassung der Schiffsdaten und Messungen an Bord
1. Planung der Testfahrt	• Festlegung des Fahrtgebiets (A I, A II, A III) • Ermittlung geeigneter Teststrecke mindestens 2 km gemäß der Anforderungen – Gleichbleibende und geplante Wassertiefe – Gleichbleibende und ungefähre Strömungsgeschwindigkeit Anforderungen nach $EEDI_{Binnen}$ • Ermittlung der Höchstgeschwindigkeit und Kanalabmessungen für das Fahrtgebiet A III	• Bestimmung der Fahrzeugklasse • Betrachtung der Verbandsformation (Anordnung und Informationen der beteiligten Fahrzeuge) – Einholen der Informationen aus Schiffsattesten und Eichscheinen – Ermittlung der größten Zuladung / Verdrängung – Ermittlung des Mindesttiefgangs für die Testfahrt (mindestens 70% der maximalen Zuladung / Verdrängung) • Festlegung der Messmethoden – Wellenleistung – Kraftstoffverbrauchsmessung – Elektrische Motorleistung • Informationen über bordeigene Messgeräte (GPS, Echolot, …) • Informationen über den Antrieb – Anzahl der Propeller – Antriebsart (Propeller, Ruderpropeller, …) – Motoren (Maximalleistung, Drehzahl, …) • Absprache der Methoden mit der Schiffsbesatzung
2. Unmittelbar vor Beginn der Testfahrt	• Dokumentation des relevanten Pegelstandes • Prüfen der Umgebungsbedingungen: Wind, erwartete Wassertiefe, erwartete Strömungsgeschwindigkeit • Prüfen des erwarteten Verkehrs und der uneingeschränkten Durchführbarkeit der Testfahrt – Prüfen von lokalen und temporären Fahrwassereinschränkungen	• Installation aller erforderlichen Messeinrichtungen – DMS Installation auf Welle – Kraftstoffverbrauchsmessung • Übersicht und Funktionsprüfung aller erforderlichen Messsysteme – Drehmoment-/Drehzahlmessung – Kraftstoffverbrauchsmessung – GPS, Echolot, … • Dokumentation der beteiligten Fahrzeuge – Tiefgang anhand von Eichmarken ablesen – Ermittlung der Zuladung / Verdrängung nach Eichschein • Dokumentation der Verbandsanordnung • Absprache der Durchführung mit der Schiffsführung

Abbildung 1: Verfahrensablauf zur Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$ - Teil 1

Arbeitsschritt	Auswahl Gewässer und Dokumentation der Umgebungsbedingungen	Erfassung der Schiffsdaten und Messungen an Bord
3. Durchführung der Testfahrt	• Ermittlung der tatsächlichen Wassertiefe • Wassertiefe weiter beobachten, damit nur Abschnitte konstanter Wassertiefe befahren werden • Ermittlung der tatsächlichen Strömungsgeschwindigkeit – Bevorzugt durch Berg- und Talfahrt bei gleicher Wellenleistung oder Kraftstoffverbrauchs – Beobachtung und Dokumentation des Schiffsverkehrs (keine Überholvorgänge und Begegnungen während der Testfahrt • Beobachtung des Fahrwassers und möglicher Störeinflüsse in der Fahrrinne und am Gewässerrand – Querströmungen – Hindernisse – Untiefen,…	• Ermittlung der einzusetzenden Wellenleistung bzw. des Kraftstoffverbrauchs für (A I und A II) mittels – Wassertiefe – Verbandsformation – Zuladung / Verdrängung • Ermittlung der Geschwindigkeit über Grund im Kanal (A III) – Berücksichtigung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit • Befahren der Teststrecke mit konstanter Leistung (A I und A III) bzw. konstanter Geschwindigkeit (A III) • Dokumentation aller Parameter und Messwerte – Gemessene Leistung bzw. gemessener Kraftstoffverbrauch – Gemessene Geschwindigkeit über Grund
5. Nach Abschluss der Testfahrt	• Protokoll der Testfahrt – Dokumentation der Testbedingungen (gewässer- und schiffsbezogen) – Dokumentation aller Parameter und Messwerte – Fehleranalyse der Messwerte, wenn notwendig • Ermittlung und Protokollierung des erreichten $EEDI_{Binnen}$	

Abbildung 2: Verfahrensablauf zur Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$ - Teil 2

3 Messmethoden und ihre Anforderungen

Zur Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$ ist die Erfassung bestimmter Schiffsdaten, Umgebungsbedingungen und Messgrößen unter definierten Bedingungen notwendig. Neben der Dokumentation des untersuchten Schiffes und einer möglichen Fahrzeuganordnung im Verband sind die in Tabelle 4 angegeben Größen von besonderer Bedeutung.

Tabelle 4: Relevante Parameter und Messgrößen während der $EEDI_{Binnen}$-Testfahrt

L	[m]	Schiffslänge
B	[m]	Schiffsbreite
T	[m]	Tiefgang
FR	$\left[\frac{l}{h}\right]$	Kraftstoffverbrauch
P_D	[kW]	Wellendrehleistung
$n_{Antrieb}$	[-]	Wirkungsgrad des Antriebsstrangs
$V_{üG}$	$\left[\frac{km}{h}\right]$	Geschwindigkeit über Grund
dw	[t]	Tragfähigkeit / Zuladung; bei der Fahrzeugklasse 4 wird $dw = \Delta \cdot \rho$ eingesetzt
Δ	[t]	Verdrängungsmasse
ρ	$\left[\frac{t}{m^3}\right]$	Dichte
h	[m]	Wassertiefe
V_{str}	$\left[\frac{km}{h}\right]$	Strömungsgeschwindigkeit
B_W	[m]	Breite des Wasserspiegels
B_S	[m]	Breite der Gewässersohle

Dabei kann auf vorhandene Sensorik an Bord zurückgegriffen werden. Dieses betrifft insbesondere das GPS und das Echolot. Diese Geräte zählen in der Regel zur Schiffsausrüstung in der Berufsschifffahrt und die Messwerte werden stichpunktartig abgelesen und dokumentiert. Auch ohne diese bordeigene Sensorik können alle notwendigen Messwerte erfasst werden. Hierfür müssen zum einen andere Informationsquellen zu den Gewässern herangezogen werden, als auch zusätzliche Sensorik verwendet werden. So kann das Aufstellen eines GPS-Empfängers, eines AIS-Empfängers und eines Kompasses sinnvoll sein, um einen zeitlichen Verlauf aller Parameter darstellen zu können (Abbildung 3).

Abbildung 3: GPS-Empfänger, Kompass, AIS-Empfänger und Messwerterfassung an Deck

Detaillierte Anforderungen zur Erfassung der Antriebsleistung, sowie der Ermittlung der Wassertiefe und Strömungsgeschwindigkeit werden im Folgenden beschrieben.

3.1 Messmethoden der Antriebsleistung im Allgemeinen

Es stehen fünf Methoden zur Ermittlung der Drehleistung bzw. des Kraftstoffverbrauchs als Grundlage für die rechnerische Ermittlung des vorhandenen $EEDI_{Binnen}$ gemäß Kapitel 2 zur Auswahl.

Die Tabelle 5 veranschaulicht, dass für Neubauten eine Drehmoment/-Drehzahlmessung an der Welle oder externe Kraftstoffverbrauchsmessgeräte einzusetzen ist. Für Schiffe mit elektrischen Antriebsmotoren ist auch die Messung der elektrischen Antriebsleistung, analog zur Kraftstoffverbrauchsmessung, möglich.

Tabelle 5: Einsetzbare Messmethoden für Neubauten und Schiffe im Verkehr

	Neu-bauten	Bestandsflotte
1. Drehmoment-/Drehzahlmessung an der Welle	×	×
2. Externe Kraftstoffverbrauchsmesser	×	×
3. Elektrische Antriebsleistung	×	×
4. Kraftstoffverbrauch mittels Motormonitoring (Motorsteuergerät) (mit zusätzlicher Korrektur)		×
5. Leistung mittels Motormonitoring (Motorsteuergerät) (mit zusätzlicher Korrektur) 15 %		×

Im Folgenden werden die allgemeinen Anforderungen an die Messmethoden stichpunktartig aufgeführt.

3.2 Drehmoment-/Drehzahlmessung an der Welle

Für die Drehmomentmessung kann ein Messflansch eingebaut werden oder es können Dehnungsmessstreifen (DMS) auf der Propellerwelle installiert werden. Für die zweite Variante sind folgende Punkte zu beachten:

- Die Installation sollte von einem fachkundigen und geschulten Ingenieur oder Techniker nach VDI/VDE/VESA 2636 erfolgen.
- Die DMS-Installation ist vollständig zu prüfen und zu dokumentieren. Hierzu gehört ein vollständiges Datenblatt der verwendeten DMS und die erzielten Prüfergebnisse.
- Die DMS-Installation muss eine Kompensation gegen Temperaturschwankungen enthalten, sofern die Temperaturkompensation des DMS selbst nicht auf das Material der Welle abgestimmt ist.
- Eine vollständige Kalibrierung nach VDI/VDE 2646 über den gesamten Messbereich muss erfolgen. Alternativ kann eine Messwertinterpretation über die technischen Daten des DMS und des Werkstoffs der Propellerwelle erfolgen. Hier muss eine Fehlerbetrachtung erfolgen.
- Für die Leistungsmessung mittels DMS ist ein in der Regel separater Drehzahlsensor erforderlich, während die Drehzahlmessung bei Messflanschen meistens im Messflansch integriert ist. Ein typischer Aufbau für die Anwendung von Dehnungsmessstreifen ist in Abbildung 4 dargestellt.

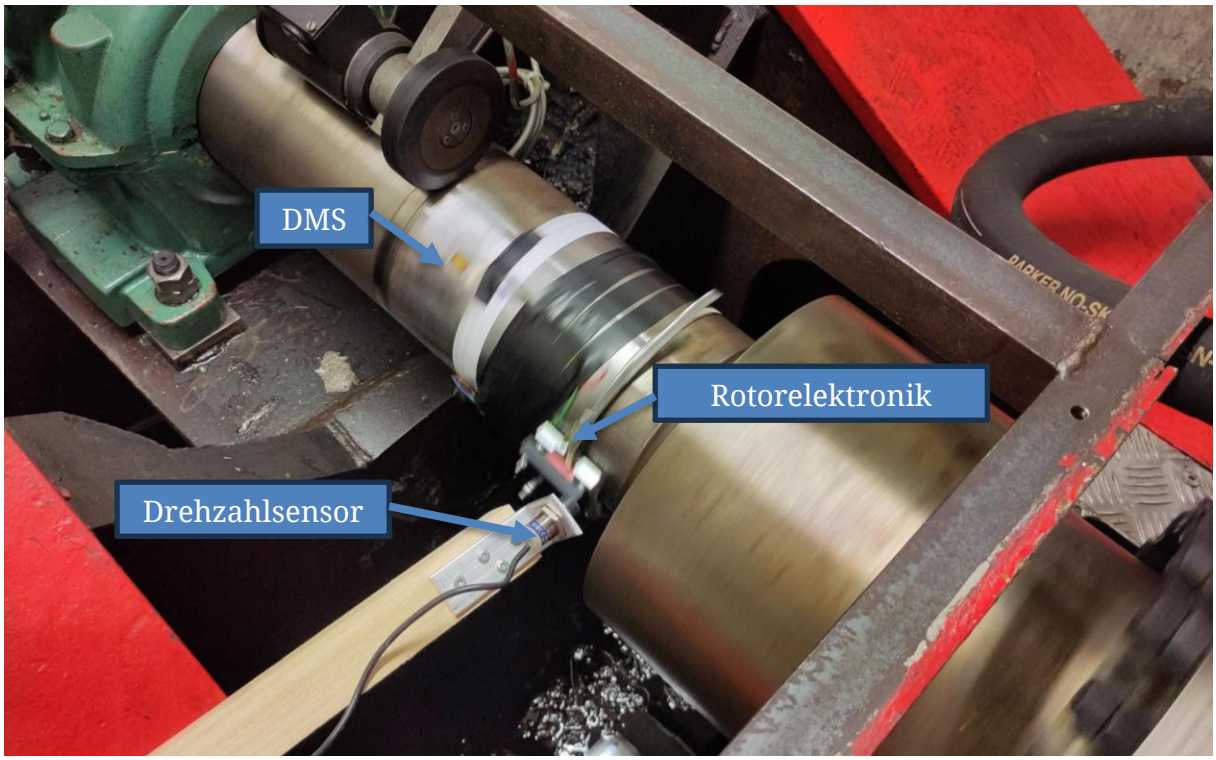


Abbildung 4: Aufbau der Messelektronik zur Propellerdrehleistungsmessung mit DMS und Drehzahlsensor

3.3 Externe Kraftstoffverbrauchsmessgeräte

Für die Kraftstoffverbrauchsmessungen an Bord von Binnenschiffen werden in der Regel festinstallierte Sensoren in den Kraftstoffleitungen verwendet. Seltener werden temporäre Messungen für Testfahrten angeboten.

- Es sollte sich um ein Messsystem handeln, dass den Zu- und Rücklauf des Kraftstoffs von dem Treibstofftank zum Motor erfasst, wenn der Rücklauf direkt in den Treibstofftank geführt ist. Es ist auch möglich, nur zwischen dem Treibstofftank und einer Ringleitung das Messsystem in den Zulauf anzuordnen. Der Rücklauf des Kraftstoffs erfolgt dabei nicht in den Treibstofftank.
- Die Temperatur des Kraftstoffs in der Zu- und Rücklaufleitung soll berücksichtigt werden. Bei der Anordnung des Messsystems zwischen Treibstofftank und Ringleitung wird nur die Temperatur in der Zulaufleitung erfasst.
- Druckimpulse sollen keinen Einfluss auf die Messergebnisse verursachen.
- Der Messfehler des Kraftstoffverbrauchsmesssystems soll < 1,0 % sein.
- Typzulassung

Die Messwerte typischer Kraftstoffverbrauchsmesser an Bord werden als Teil der Schiffstechnik mit einer Anzeige auf der Brücke angezeigt. Es ist auch möglich, dass diese Anzeige nicht in einem separaten Bedienpanel, sondern im Motorbedienelement mit angezeigt werden. Eine typische Anzeige des Kraftstoffverbrauchs im Steuerhaus ist in Abbildung 5 dargestellt.

Abbildung 5: Motorbedienpanel und Kraftstoffverbrauchsmessung

3.4 Elektrische Leistungsmessung

- Messung der elektrischen Leistung basierend auf Spannungs- und Strommessungen
- Berücksichtigung der Phasenlage von Strom und Spannung zur Ermittlung der Wirkleistung
- Verwendung der vom Frequenzumrichter gemessenen Ausgangsleistung oder separater Messelektronik
- Berücksichtigung von elektrischen und mechanischen Wirkungsgraden im System zwischen Leistungsmessung und Propellerwelle.

3.5 Ermittlung der Wassertiefe und Strömungsgeschwindigkeit.

Neben der Wellendrehleistung bzw. des Kraftstoffverbrauchs und der Schiffsgeschwindigkeit müssen bei einer Testfahrt nach $EEDI_{Binnen}$ weitere Parameter bestimmt werden. Über die statischen Schiffsparameter hinaus betrifft dies insbesondere die Wassertiefe und die Strömungsgeschwindigkeit. Für diese beiden Parameter können sowohl Messungen an Bord, als auch Informationen aus Gewässerdatenbanken oder ähnlicher Quellen herangezogen werden. Eine Quelle für den Rhein ist der Rhein Tiefenatlas. Hier ist die Wassertiefe in Bezug auf einen Referenzpegelstand dargestellt. Der INSEL-Server[2] der BAW bietet neben geografisch aufgelösten Angaben zur Wassertiefe auch Angaben zur Strömungsgeschwindigkeit und -richtung.

2 Bundesanstalt für Wasserbau. Insel Server. https://insel.baw.de/

Ermittlung der Wassertiefe mit Hilfe des Echolots:

Für die Messung der Wassertiefe an Bord kann das vorhandene Echolot verwendet werden. Dieses misst die Wassertiefe unter dem Kiel am Ort des Sensors. Daher ist es notwendig, die Eintauchtiefe des Schiffes am Einbauort des Sensors auf den Messwert zu addieren. Bei der Interpretation des angezeigten Messwerts in Fahrt ist auch die Fahrdynamik des Schiffes, insbesondere Trimm und Absunk, zu berücksichtigen.

Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit mittels Berg- und Talfahrt:

Die Strömungsgeschwindigkeit kann auch durch eine Berg- und Talfahrt bestimmt werden. Hierbei muss in der Berg- und Talfahrt die gleiche Wellenleistung eingestellt werden und die gleiche Fahrspur in beiden Richtungen gefahren werden. Auf Basis der erreichten Geschwindigkeit über Grund in beiden Richtungen kann die wirksame Strömungsgeschwindigkeit abgeleitet werden. Bei der Wahl der Leistung ist zu beachten, dass insbesondere in der Talfahrt eine sichere und umsichtige Fahrt möglich ist. Die Strömungsgeschwindigkeit berechnet sich aus dem nachfolgenden Zusammenhang:

$$P_{\mathrm{D\ Berg}} = P_{\mathrm{D\ Tal}}$$

$$V_{\mathrm{dW}} = V_{\mathrm{\ddot{u}G\ Tal}}(P_{\mathrm{D\ Tal}}) - V_{\mathrm{str}}$$

$$V_{\mathrm{dW}} = V_{\mathrm{\ddot{u}G\ Berg}}(P_{\mathrm{D\ Berg}}) + V_{\mathrm{str}}$$

$$V_{\mathrm{str}} = \frac{V_{\mathrm{\ddot{u}G\ Tal}} - V_{\mathrm{\ddot{u}G\ Berg}}}{2}$$

Tabelle 6: Nomenklatur für die Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit aus Berg- und Talfahrt

$P_{\mathrm{D\ (Berg\ oder\ Tal)}}$	[kW]	Wellenleistung Index: Berg oder Tal (Wellenleistung zu Berg oder zu Tal)
$V_{\mathrm{\ddot{u}G\ (Berg\ oder\ Tal)}}$	$\left[\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}\right]$	Geschwindigkeit über Grund Index: Berg oder Tal (Geschwindigkeit zu Berg oder zu Tal)
V_{str}	$\left[\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}\right]$	Strömungsgeschwindigkeit
V_{dW}	$\left[\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}\right]$	Geschwindigkeit durchs Wasser

4 Rechnerische Ermittlung der Referenzlinien

4.1 $EEDI_{Binnen}$ nach A I

Für den $EEDI_{Binnen}$-Test nach A I sind im Hinblick auf die Gewässerdaten und die Fahrzeugabmessungen entsprechend der Fahrzeugklasse folgende Parameter einzuhalten:

Gewässerdaten für die Fahrzeugklassen 1 bis 4

- Wassertiefe (h): $h > 7{,}5$ m
- Wasserspiegelbreite (B_w): $B_w \geq 200$ m
- Strömungsgeschwindigkeit (V_{str}): $V_{str} < 2{,}0$ km/h

Schiffsgrößen für die Fahrzeugklassen 1, 2 und 3

- Breite (B): 5,0 m ≤ B ≤ 23 m
- Länge (L): 40 m ≤ L ≤ 230 m, bei Fahrzeugklasse 3 (Schubverband) wird nur die Länge der Leichterformation ohne die Länge des Schubbootes ($L_{SB} < 40$ m) berücksichtigt
- Tragfähigkeit (dw): 250 t ≤ dw ≤ 18000 t, mindestens 70% der maximalen Tragfähigkeit

Schiffsgrößen für die Fahrzeugklasse 4

- Breite (B): 5,0 m ≤ B ≤ 23 m
- Länge (L): 26 m ≤ L ≤ 135 m
- Verdrängung (Δ): 50 m³ ≤ Δ ≤ 3000 m³

Ermittlung der EEDI-Referenzlinie nach A I

Die EEDI-Referenzlinie nach A I wird für alle Fahrzeugklassen mit nachfolgender Formel ermittelt:

$$\text{EEDI-Referenzlinie} = \mathrm{n} + \mathrm{o} \cdot e^{\left(\frac{dw}{\mathrm{p}}\right)} + \mathrm{q} \cdot e^{\left(\frac{dw}{\mathrm{r}}\right)}$$

Tabelle 7: Nomenklatur EEDI-Referenzlinie A I

dw	[t]	Tragfähigkeit / Zuladung; bei der Fahrzeugklasse 4 wird $dw = \Delta \cdot \rho$ eingesetzt
Δ	[t]	Verdrängungsmasse
ρ	$\left[\frac{\mathrm{t}}{\mathrm{m}^3}\right]$	Dichte

Tabelle 8: Koeffizienten EEDI-Referenzlinie A I

Fahrzeug-klasse	Koeffizienten				
	n	o	p	q	r
1	10,0	13,0	-470	8,0	-4500
2					
3					
4					

Ermittlung der Wellenleistung ($P_{D\ mittel}$) für den $EEDI_{Binnen}$ nach A I

Die Wellenleistung (P_D) für den $EEDI_{Binnen}$-Test nach A I wird für alle Fahrzeugklassen mit folgender Formel berechnet:

$$P_{D\ mittel} = \left(k + l \cdot e^{\left(\frac{B}{m}\right)}\right) \cdot dw$$

Tabelle 9: Nomenklatur EEDI Wellenleistung nach A I

B	[m]	Schiffsbreite
dw	[t]	Tragfähigkeit / Zuladung; bei der Fahrzeugklasse 4 wird $dw = \Delta \cdot \rho$ eingesetzt
Δ	[t]	Verdrängungsmasse
ρ	$\left[\frac{t}{m^3}\right]$	Dichte

Tabelle 10: Koeffizienten EEDI Wellenleistung A I

Fahrzeugklasse	Koeffizienten		
	k	l	m
1	0,268	0	1
2	0,280	0	1
3	0,146	0,25	-11,0
4	0,200	0,42	-7,5

4.2 $EEDI_{Binnen}$ nach A II

Für den $EEDI_{Binnen}$-Test nach A II sind im Hinblick auf die Gewässerdaten und die Fahrzeugabmessungen entsprechend der Fahrzeugklasse folgende Parameter einzuhalten:

Gewässerdaten für die Fahrzeugklassen 1 bis 4

- Wassertiefe (h): 3,5 m ≤ h ≤ 7,5 m
- Verhältnis Wassertiefe zu Tiefgang (h/T): h/T ≥ 1,4
- Wasserspiegelbreite (B_W): B_W ≥ 200 m
- Strömungsgeschwindigkeit (V_{str}): 2,0 km/h ≤ V_{str} ≤ 8,0 km/h

Schiffsgrößen für die Fahrzeugklassen 1 und 2

- Breite (B): 5,0 m ≤ B ≤ 17,5 m
- Länge (L): 40 m ≤ L ≤ 135 m
- Tragfähigkeit (dw): 250 t ≤ dw ≤ 6000 t, mindestens 70% der maximalen Tragfähigkeit

Schiffsgrößen für die Fahrzeugklassen 3

- Breite (B): 8,0 m ≤ B ≤ 34,4 m
- Länge (L): 50 m ≤ L ≤ 230 m, es wird die Länge der Leichterformation ohne die Länge des Schubbootes (L_{SB} < 40 m) berücksichtigt
- Tragfähigkeit (dw): 500 t ≤ dw ≤ 18000 t, mindestens 70% der maximalen Tragfähigkeit

Schiffsgrößen für die Fahrzeugklasse 4

- Breite (B): 5,0 m ≤ B ≤ 17,5 m
- Länge (L): 26 m ≤ L ≤ 135 m
- Tiefgang (T): 0,6 m ≤ T ≤ 2,1 m
- Verdrängung (Δ): 50 m³ ≤ Δ ≤ 3000 m³

Ermittlung der EEDI-Referenzlinie nach A II

Die EEDI-Referenzlinie nach A II wird für alle Fahrzeugklassen mit nachfolgender Formel ermittelt:

$$\text{EEDI-Referenzlinie} = (a + b \cdot V_{str} + c \cdot V_{str}^{2}) + (d + e \cdot V_{str} + f \cdot V_{str}^{2} + i \cdot V_{str}^{3}) \cdot e^{\left(\frac{dw}{j}\right)}$$

Tabelle 11: Nomenklatur EEDI-Referenzlinie A II

V_{str}	$\left[\frac{km}{h}\right]$	Strömungsgeschwindigkeit
dw	[t]	Tragfähigkeit / Zuladung; bei der Fahrzeugklasse 4 wird $dw = \Delta \cdot \rho$ eingesetzt
Δ	[t]	Verdrängungsmasse
ρ	$\left[\frac{t}{m^3}\right]$	Dichte

Tabelle 12: Koeffizienten EEDI-Referenzlinie A II

Fahrzeug-klasse	Koeffizienten							
	a	b	c	d	e	f	i	j
1	21,0	0,70	0,28	11,0	0,78	-0,46	0,154	-800
2	18,0	0,58	0,23	9,2	0,67	-0,40	0,130	-600
3	18,0	-2,5	0,75	8,0	0,25	0,375	0	-3100
4	21,5	0,10	0,30	39,6	14,0	3,5	0	-160

Ermittlung der Wellenleistung ($P_{D\ Berg}$) für den $EEDI_{Binnen}$ nach A II

Die Wellenleistung (P_D) für den $EEDI_{Binnen}$-Test nach A II wird mit folgender Formel berechnet:

$$P_{D\ Berg} = \left(n + o \cdot e^{p \cdot B} - q \cdot e^{\left(\frac{h}{r}\right)}\right) \cdot dw$$

Tabelle 13: Nomenklatur EEDI Wellenleistung nach A II

B	[m]	Schiffsbreite
h	[m]	Wassertiefe
dw	[t]	Tragfähigkeit / Zuladung; bei der Fahrzeugklasse 4 wird $dw = \Delta \cdot \rho$ eingesetzt
Δ	[t]	Verdrängungsmasse
ρ	$\left[\frac{t}{m^3}\right]$	Dichte

Tabelle 14: Koeffizienten EEDI Wellenleistung A II

Fahrzeug-klasse	Koeffizienten				
	n	o	p	q	r
1	0,375	0,0625	-0,13	0,500	-2,8
2	0,375	0,0625	-0,13	0,500	-2,8
3	0,255	0,6	-0,13	0,525	-2,3
4	0,374	0,44	-0,13	0,550	-2,0

4.3 $EEDI_{Binnen}$ nach A III

Der $EEDI_{Binnen}$-Test nach A III kann in 3 unterschiedlichen Standardkanalprofilen mit vorgegebenen Gewässerdaten durchgeführt werden. Für Gewässerabmessungen gelten für alle Fahrzeuge die nachfolgenden Grenzen:

Gewässerabmessungen für Kanäle (Typ 1) mit einem Trapezprofil

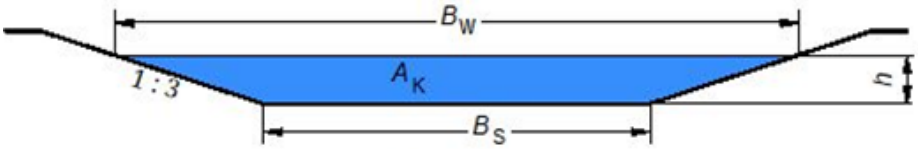


Abbildung 6 Kanal mit einem Trapezprofil

- Wasserspiegelbreite (B_W): 53 m ≤ B_W ≤ 56 m
- Sohlbreite (B_S): 29 m ≤ B_S ≤ 31 m
- Wassertiefe (h): 3,9 m ≤ h ≤ 4,1 m

Gewässerabmessungen für Kanäle (Typ 2) mit einem Rechteckprofil

Abbildung 7: Kanal mit einem Rechteckprofil

- Wasserspiegelbreite (B_W): 41 m ≤ B_W ≤ 43 m
- Sohlbreite (B_S): 41 m ≤ B_S ≤ 43 m
- Wassertiefe (h): 3,9 m ≤ h ≤ 4,1 m

Gewässerabmessungen für Kanäle (Typ 3) mit einem Rechteck/Trapezprofil

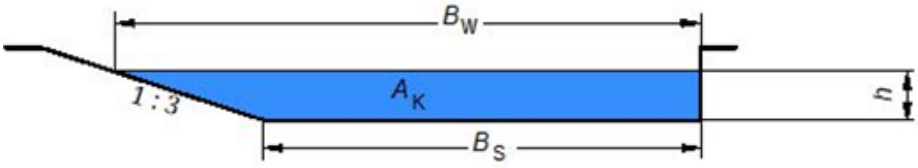


Abbildung 8: Kanal mit einem Rechteck/Trapezprofil

- Wasserspiegelbreite (B_W): 46 m ≤ B_W ≤ 49 m
- Sohlbreite (B_S): 34 m ≤ B_S ≤ 37 m
- Wassertiefe (h): 3,9 m ≤ h ≤ 4,1 m

Tabelle 15: Nomenklatur Gewässerdaten für A III

A_K	[m²]	Gewässerquerschnitt
B_W	[m]	Breite des Wasserspiegels
B_S	[m]	Breite der Gewässersohle
h	[m]	Wassertiefe

Im Hinblick auf die Fahrzeugabmessungen werden die zulässigen Abmessungen je nach Fahrzeugklasse unterschieden. Dabei sind je nach Fahrzeugklasse nachfolgende Parameter einzuhalten:

Schiffsgrößen für die Fahrzeugklassen 1 und 2

- Breite (B): 5,0 m ≤ B ≤ 11,45 m
- Länge (L): 40 m ≤ L ≤ 135 m
- Tiefgang (T): 2,0 m ≤ T ≤ 2,8 m

Schiffsgrößen für die Fahrzeugklasse 3

- Breite (B): 8,0 m ≤ B ≤ 11,45 m
- Länge (L): 50 m ≤ L ≤ 185 m; es wird die Länge der Leichterformation ohne die Länge des Schubbootes (L_{SB} < 40 m) berücksichtigt.
- Tiefgang (T): 2,0 m ≤ T ≤ 2,8 m

Schiffsgrößen für die Fahrzeugklasse 4

- Breite (B): 5,0 m ≤ B ≤ 11,45 m
- Länge (L): 26 m ≤ L ≤ 135 m
- Tiefgang (T): 0,6 m ≤ T ≤ 2,8 m

Ermittlung der EEDI-Referenzlinie nach A III

Die EEDI-Referenzlinie nach A III wird für alle Fahrzeugklassen mit nachfolgender Formel ermittelt:

$$\text{EEDI-Referenzlinie} = \text{a} - \text{b} \cdot dw$$

Tabelle 16: Nomenklatur EEDI-Referenzlinie A III

dw	[t]	Tragfähigkeit / Zuladung; bei der Fahrzeugklasse 4 wird $dw = \Delta \cdot \rho$ eingesetzt
Δ	[t]	Verdrängungsmasse
ρ	$\left[\frac{\mathrm{t}}{\mathrm{m}^3}\right]$	Dichte

Tabelle 17: Koeffizienten EEDI-Referenzlinie A III

Fahrzeugklasse	Koeffizienten	
	a	b
1	22,4	0,004
2	22,4	0,004
3	24,9	0,004
4	16,0	0,002

Ermittlung der Geschwindigkeit ($V_{\text{üG}}$) für den $\text{EEDI}_{\text{Binnen}}$ nach A III

Die Geschwindigkeit ($V_{\text{üG}}$) für den $\text{EEDI}_{\text{Binnen}}$-Test nach A III wird mit folgender Formel berechnet. Sofern die ermittelte Geschwindigkeit größer als die zulässige Geschwindigkeit ist, wird der Test mit der im Kanal höchstzulässigen Geschwindigkeit durchgeführt.

$$V_{\text{üG}} = \mathrm{a} + (\mathrm{b} + \mathrm{c} \cdot B) \cdot T + (\mathrm{d} + \mathrm{e} \cdot B) \cdot T$$

Tabelle 18: Nomenklatur EEDI Geschwindigkeit ($V_{\text{üG}}$) nach A III

B	[m]	Schiffsbreite
T	[m]	Tiefgang
$V_{\text{üG}}$	$\left[\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}\right]$	Geschwindigkeit über Grund

Tabelle 19: Koeffizienten für Geschwindigkeit ($V_{\text{üG}}$) nach A III

Kanalform	Koeffizienten				
	a	b	c	d	e
RT-Profil	13,90	0,26	-0,18	-0,1	0,009
T-Profil	13,75	-0,26	-0,12	0,036	-0,008
R-Profil	13,95	-0,17	-0,12	0,004	-0,002

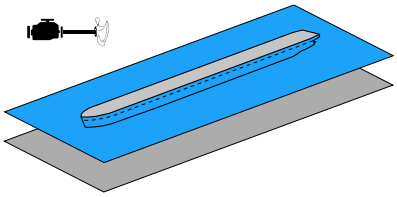
5 $EEDI_{Binnen}$ im Überblick

Bewertungsgrößen
- Treibhausgasemissionen für den Vortrieb des Schiffes in g CO_2 / tkm
  - Schiffswiderstand
  - Propulsion
  - Energiewandler für den Vortrieb

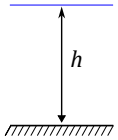
Fahrzeugklassen
- Trockengüterschiffe (MS)
- Tankschiffe (TMS)
- Schubverbände (SV)
- Passagier- und Kabinenschiffe (FGS)

Bewertungsziel
- Erfassung der technisch bedingten Treibhausgasintensität
- Beurteilungsmöglichkeit der Wirksamkeit von technischen Maßnahmen

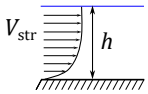
Test- und Umgebungs-bedingungen



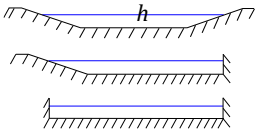
a) Tiefwasser (A I)
- h > 7,5 m
- V_{Str} < 2 km/h



b) Fließgewässer mit beschränkter Wassertiefe (A II)
- 3,5 m ≤ h ≤ 7,5 m
- 2,0 km/h ≤ V_{Str} ≤ 8,0 km/h



c) Kanalprofile (A III)
- 3,9 m ≤ h ≤ 4,1 m



- Versuchsdauer: 2 - 4 Stunden

Messprinzip / Erfassungskonzept

1. Installation von Dehnungsmessstreifen (DMS) auf der Propellerwelle,
   Nutzung eines externen Kraftstoff-verbrauchsmessgeräts oder Messung der elektrischen Motorleistung

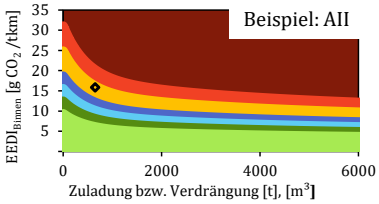
   Ermittlung mit Hilfe der Kraftstoff-verbrauchsanzeige oder der Leistungsanzeige des Motorsteuergeräts bei Schiffen im laufenden Betrieb

2. Durchführung einer EEDI-Testfahrt im Rahmen der Schiffserprobung bei einer der o. g. Umgebungsbedingungen und Ermittlung einer Propellerdrehleistung-Geschwindigkeitskombination

3. Rechnerische Ermittlung des $EEDI_{Binnen}$

4. Einordnung des Ergebnisses zum Erhalt des Index $EEDI_{Binnen}$ (siehe unten) und Zertifizierung des Schiffes für A I, A II oder A III (Schiffsattest)

Energie-Effizienz Design-Index



> 1	II.G
1 bis > 0,8	II.F
0,8 bis > 0,6	II.E
0,6 bis > 0,5	II.D
0,5 bis > 0,4	II.C
0,4 bis > 0,3	II.B
≤ 0,3	II.A

Abbildung 9: $EEDI_{Binnen}$ im Überblick