

---

# PROJEKTCHECK: SHIPFUEL

---

**1. Juli 2020, 14.00 – 15.30 Uhr mit**

- Erik Schumacher, NOW
- Martin Zerta, LBST
- Benjamin Scholz, DNV GL
- Peter Klemm, Ingenieurbüro für Schiffstechnik
  - Patrick Schmidt, LBST
  - Ulrich Bünger, LBST

# BRENNSTOFFZELLEN IN SCHIFFEN

F&E-Projekte im nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP)



## Projekt-Cluster „e4ships“

	SchIBZ	Pa-X-ell	RiverCell	ELEKTRA
<b>Projektleitung:</b>	ThyssenKrupp Marine Systems	Meyer Werft	Meyer Werft	TU Berlin
<b>Einsatzgebiet:</b>	See	See	Binnen	Binnen
<b>Einsatzbereich:</b>	Güterverkehr, Yachten, Multi Purpose Vessel	Personenverkehr, Kreuzfahrer, Yachten	Personenverkehr Flusskreuzfahrer	Güterverkehr Schubboot
<b>Nutzungsart der Brennstoffzelle:</b>	Bordstromversorgung	Bordstromversorgung	Bordstromversorgung und Antrieb	Antrieb
<b>Brennstoff:</b>	Diesel; optional LNG	Methanol; optional LNG	Methanol; optional LNG	Wasserstoff
<b>Brennstoffzelle:</b>	SOFC	PEM	HT PEM	PEM

<https://www.e4ships.de/>

# Aus welcher Branche Stammen Sie?



ludwig bolkow  
systemtechnik

- A) Hersteller/Werften
- B) Betreiber/Reedereien/Häfen
- C) Kraftstoffhersteller/Kraftstofflieferanten
- D) Dienstleister
- E) Zulieferer
- F) Behörden
- G) Forschung
- H) Andere

# SHIPFUEL

## Strombasierte Kraftstoffe für Brennstoffzellen in der Binnenschifffahrt

Präsentiert von

Ulrich Bünger · Martin Zerta · Patrick Schmidt (LBST)  
Benjamin Scholz · Urs Vogler (DNV-GL)  
Peter Klemm · Gunter Sattler (IfS)

Programm



Auftraggeber



Koordination



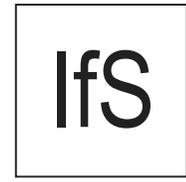


Identifikation technischer, wirtschaftlicher und ökologischer Voraussetzungen und Konsequenzen der Nutzung strombasierter Kraftstoffe in der Binnenschifffahrt:

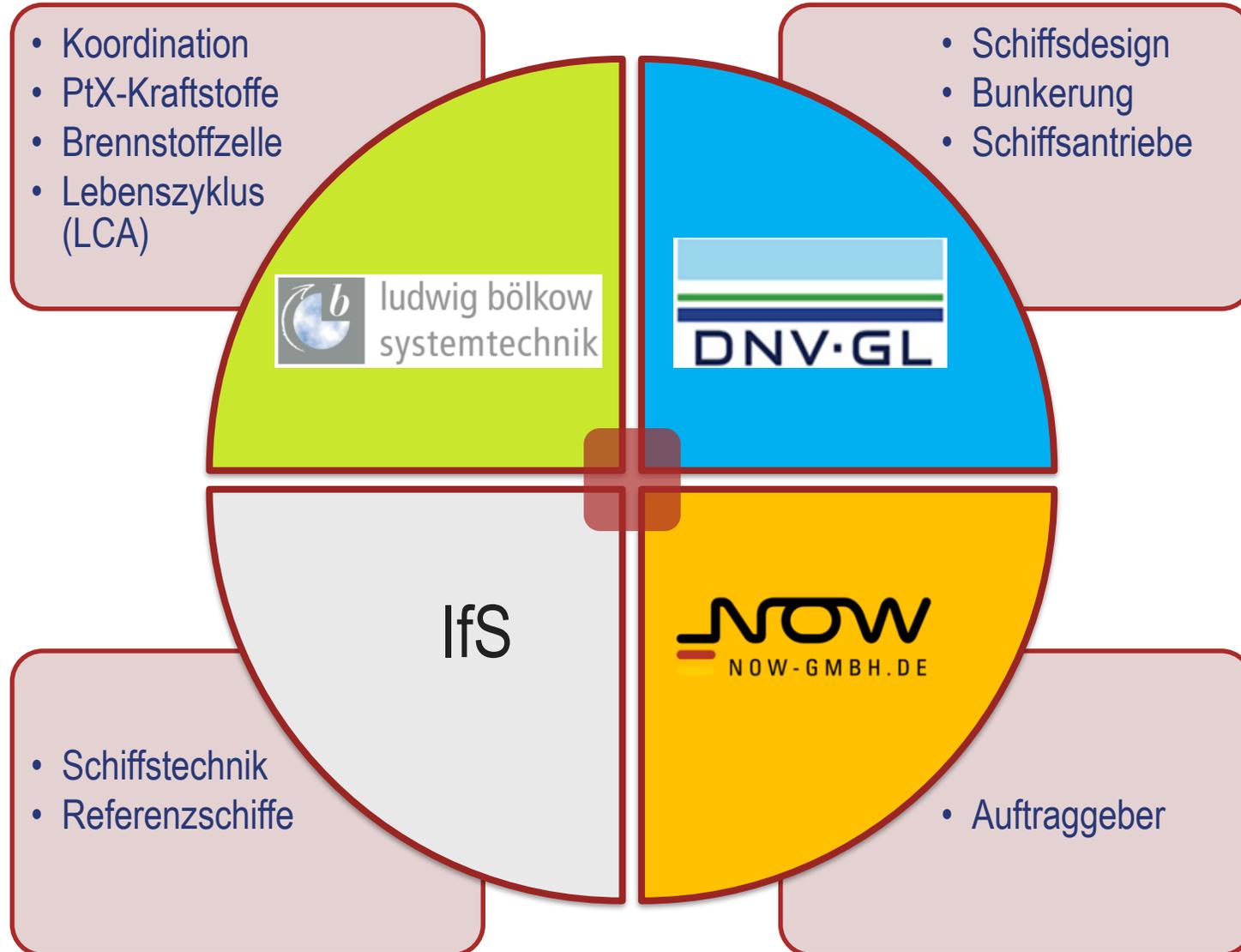
- Relevante Marktsegmente
- Analyse der Kraftstofferzeugung, -transport, -distribution, -bunkerung und -speicherung
- Integration der Brennstoffzellensysteme an Bord
- Beurteilung der Umweltwirkungen im Vergleich zu heute
- Berücksichtigung EU-, nationaler / regionaler Regularien

Projektlaufzeit: September 2018 – Oktober 2019

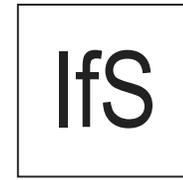
# Studienteam



ludwig bölkow  
systemtechnik



# Welche Kraftstoffe finden Sie aktuell spannend für die Binnenschifffahrt?



ludwig bölkow  
systemtechnik

- A) Diesel
- B) Methan
- C) Methanol
- D) Wasserstoff
- E) LOHC
- F) weitere

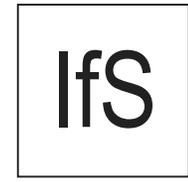


# BZ-Binnenschiffmärkte

Martin Zerta (LBST)

BZ = Brennstoffzellen

# Wie hoch schätzen Sie den Energieverbrauch der Schifffahrt im Verkehrsbereich?



ludwig bolkow  
systemtechnik

- A) 0,5 %
- B) 7 %
- C) 14 %

# Binnenschifffahrt: Klima- & Umweltschutz

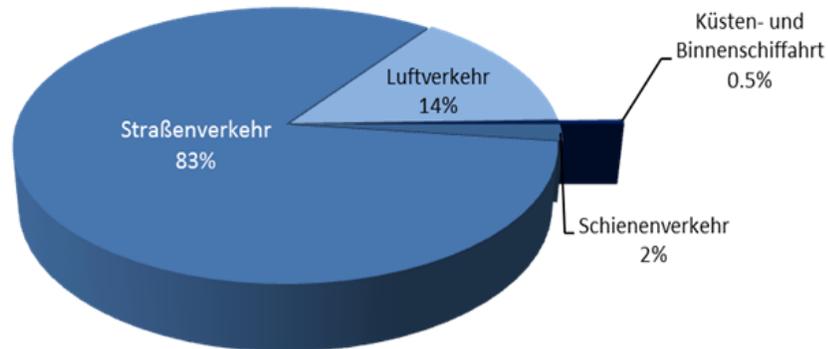


ludwig bolkow  
systemtechnik

- Energieverbrauch
- Emissionen
- Klimaschutzaktivitäten
- Fördermöglichkeiten

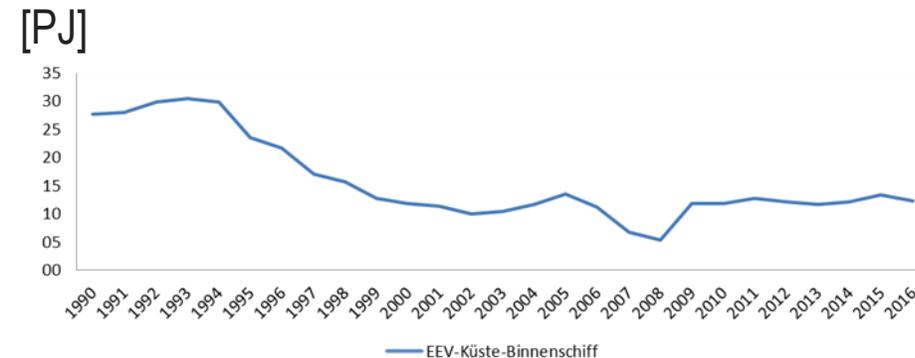
# Binnenschifffahrt: Klima- & Umweltschutz

- Energieverbrauch
- Emissionen
- Klimaschutzaktivitäten
- Fördermöglichkeiten



Aufteilung Endenergieverbrauch Verkehr 2016

Quelle: BMWi, Datenübersicht zum 6. Monitoringbericht: Die Energie der Zukunft, Juli 2018

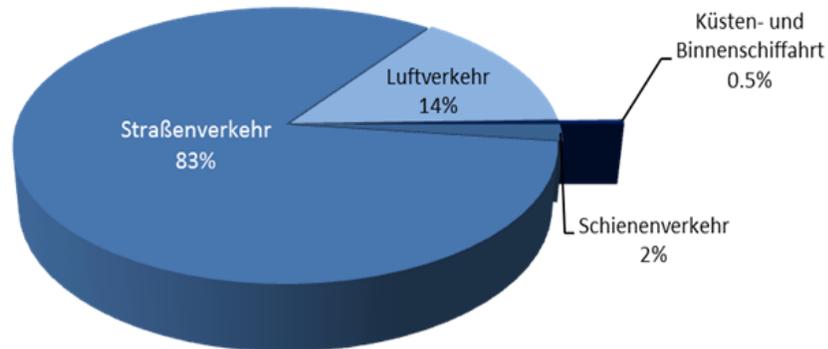
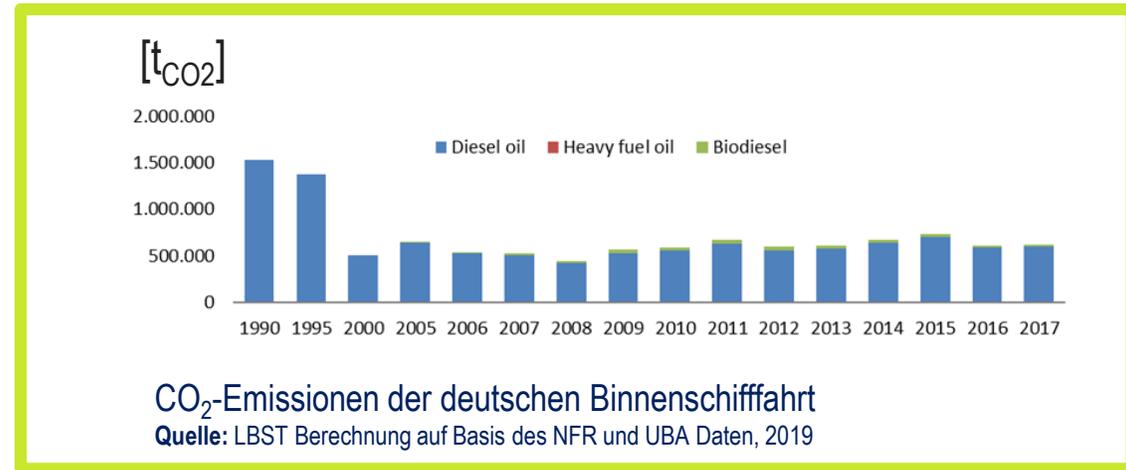


Endenergieverbrauch deutsche Küsten- und Binnenschifffahrt 2016

Quelle: BMWi, Datenübersicht zum 6. Monitoringbericht: Die Energie der Zukunft, Juli 2018

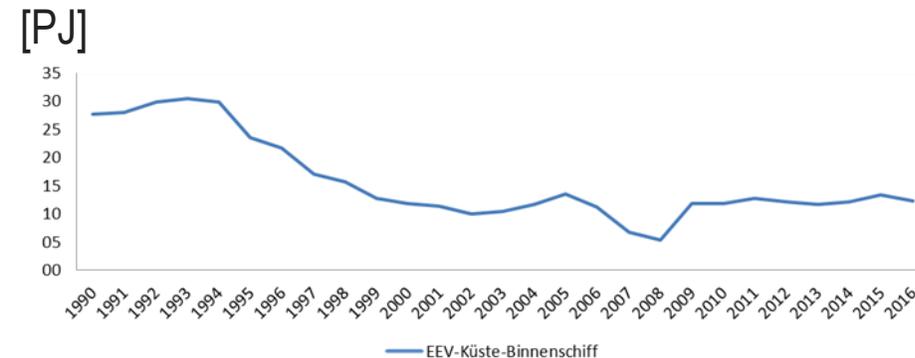
# Binnenschifffahrt: Klima- & Umweltschutz

- Energieverbrauch
- Emissionen
- Klimaschutzaktivitäten
- Fördermöglichkeiten



Aufteilung Endenergieverbrauch Verkehr 2016

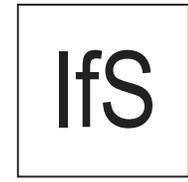
Quelle: BMWi, Datenübersicht zum 6. Monitoringbericht: Die Energie der Zukunft, Juli 2018



Endenergieverbrauch deutsche Küsten- und Binnenschifffahrt 2016

Quelle: BMWi, Datenübersicht zum 6. Monitoringbericht: Die Energie der Zukunft, Juli 2018

# Branchen- und Marktanalyse der Binnenschifffahrt

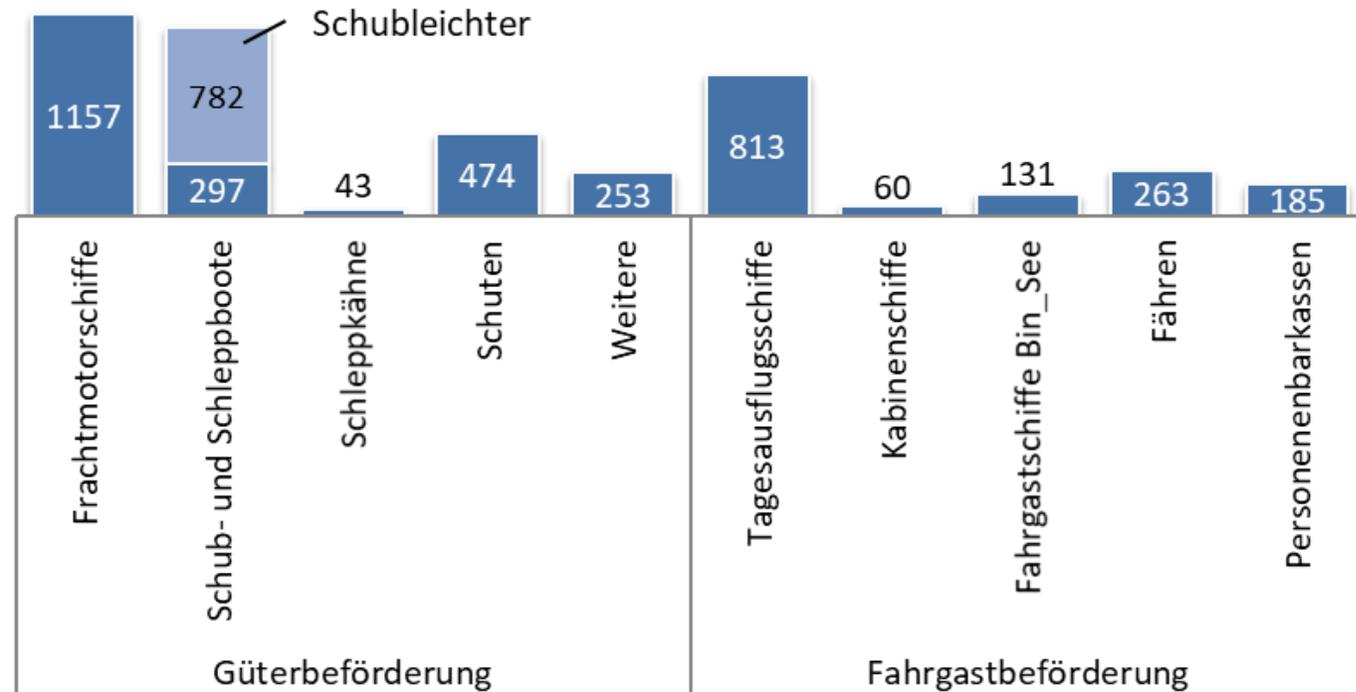


ludwig bolkow  
systemtechnik

- Anwendungsfälle
- Marktpotenzialanalyse

# Branchen- und Marktanalyse der Binnenschifffahrt

- Anwendungsfälle
- Marktpotenzialanalyse



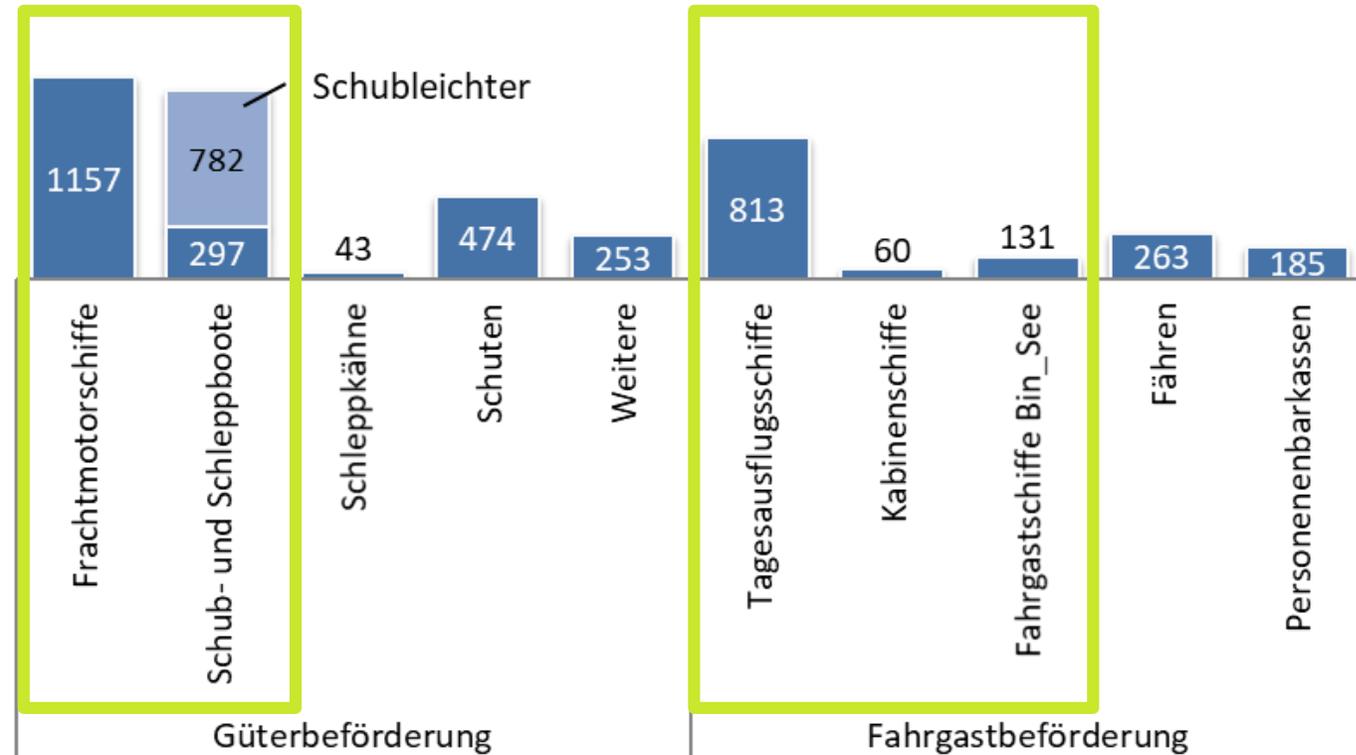
Ludwig-Bölkow-Systemtechnik gmbH, 2019; Datenquelle: WSV, Veränderungen des Schiffsbestandes der deutschen Binnenflotte, Zentrale Binnenschiffsdatei 2017

Registrierte Schiffe in Deutschland 2017

Quelle: WSV 2018

# Branchen- und Marktanalyse der Binnenschifffahrt

- Anwendungsfälle
- Marktpotenzialanalyse



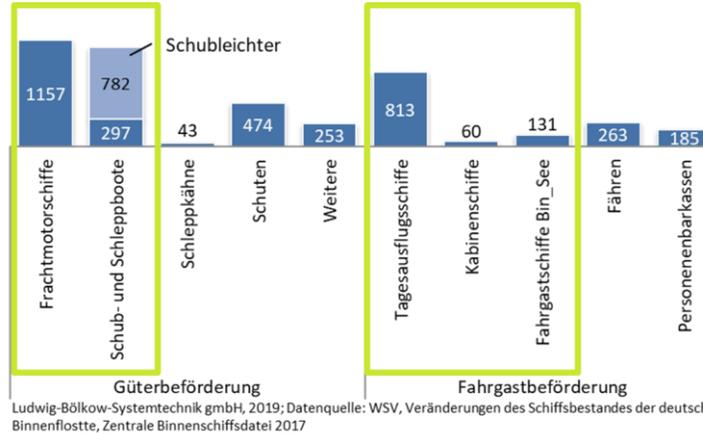
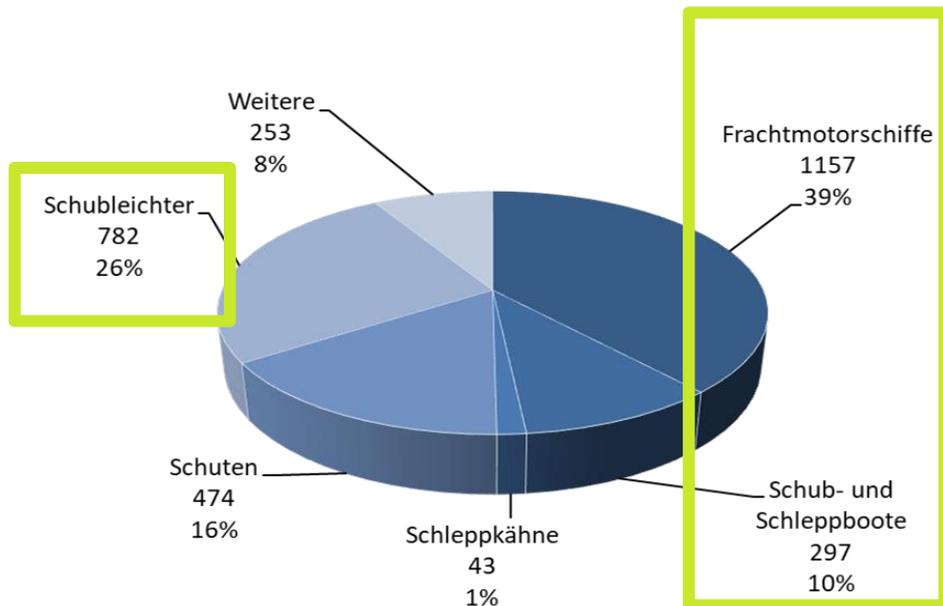
Ludwig-Bölkow-Systemtechnik gmbH, 2019; Datenquelle: WSV, Veränderungen des Schiffsbestandes der deutschen Binnenflotte, Zentrale Binnenschiffsdatei 2017

Registrierte Schiffe in Deutschland 2017

Quelle: WSV 2018

# Branchen- und Marktanalyse der Binnenschifffahrt

- Anwendungsfälle
- Marktpotenzialanalyse

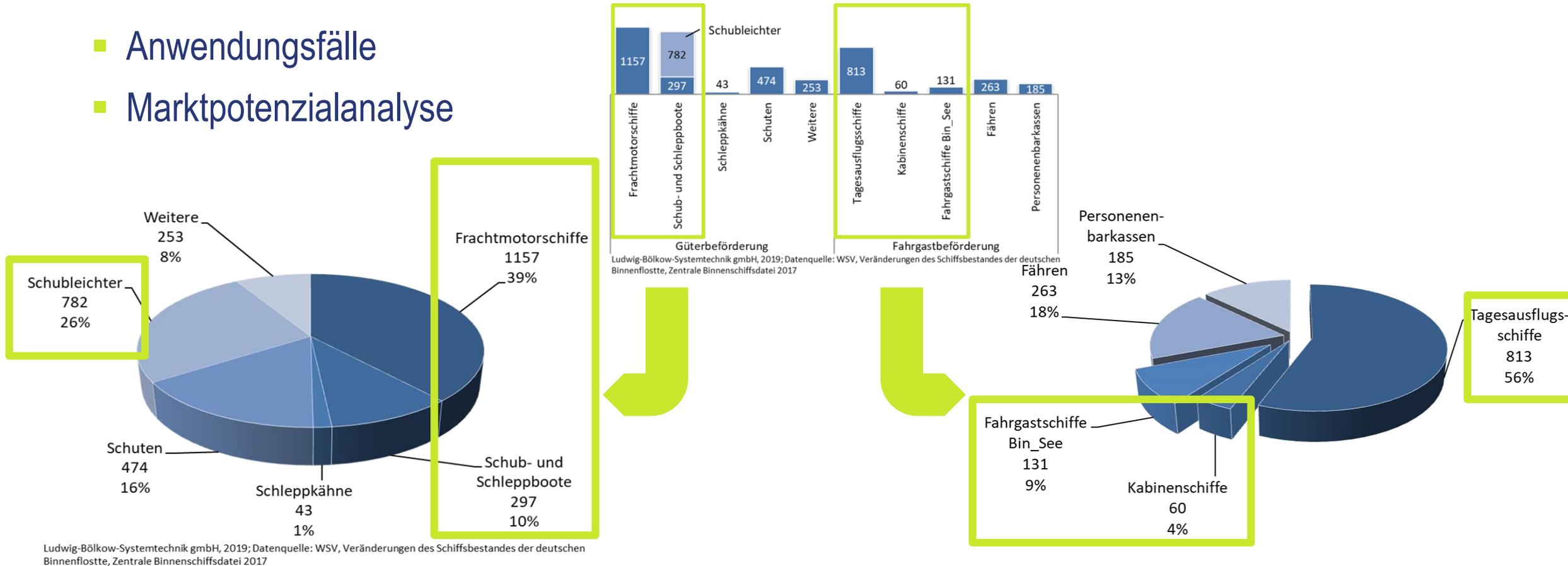


Ludwig-Bölkow-Systemtechnik gmbH, 2019; Datenquelle: WSV, Veränderungen des Schiffsbestandes der deutschen Binnenflotte, Zentrale Binnenschiffsdatei 2017

## Registrierte Binnenschiffe zur Güterbeförderung

# Branchen- und Marktanalyse der Binnenschifffahrt

- Anwendungsfälle
- Marktpotenzialanalyse



Registrierte Binnenschiffe zur Güterbeförderung

Registrierte Binnenschiffe zur Fahrgastbeförderung

# Brennstoffzellen in Schiffsanwendungen

## Beispiele für Sportboote, kleine Passagier- und anderen Schiffen



ludwig bolkow  
systemtechnik

Projekt / Schiffsname	Typ	Land	Jahr	Typ des Projektes
"Hydra"	Sportboot	Deutschland	2000	Prototyp
"No 1"	Segelyacht	Deutschland	2002-2004	Prototyp
Duffy Electric Boot	Wassertaxi	USA	2003	Prototyp
"Urashima"	Tiefwasser AUV	Japan	2003	Prototyp
Duffy-Herreshoff DH30	Wassertaxi	USA	2003	Prototyp
"Hydroxy 3000"	Sportboot	Schweiz	2003	Prototyp
Deep C	AUV	Deutschland	2004	Prototyp
"Mamelie"	Segelyacht	Deutschland	2004	Prototyp
H2Yacht	Sportboot	Deutschland	2005	Prototyp
"Have Blue XV/1"	Segelyacht	USA	2005	Prototyp
VEGA / Pilot Vaporetto	Boot	Italien	2005 - 2006	Prototyp
"Xperiance NX hydrogen"	Sportboot	Niederlande	2006	Prototyp
ASV ROBOAT/ Uni Ulm	auton. Segelboot	Deutschland	2006	Testboot
zebotec	Sportboot	Deutschland	2007	Prototyp
"Solgenia"	Forschungsboot	Deutschland	2007	Prototyp
SY "Emerald"	Segelyacht	GB	2007	Prototyp
"Alsterwasser"	Fahrgast-schiff	Deutschland	2008 - heute	kommerziell
Frauscher 600 Riviera HP	Sportboot	Österreich	2009	kommerziell
BELBIM	Fähre	Türkei	2009	Prototyp
"Nemo H2"	Kanalboot	Niederlande	2009	Prototyp
MF "Vågen"	Personenfähre	Norwegen	2009 - 2011	Prototyp
Protium / "Ross Barlow"	Kanalboot	GB	2010	Prototyp
Fodiator	elektr. Antrieb	Deutschland	2010 - heute	kommerziell
"Hornblower Hybrid"	Fähre	USA	2012	Prototyp
"Hydrogenesis"	Fähre	GB	2012	Prototyp
"Martí"	Passagierboot	Türkei	2012	Prototyp
"Futura"	Sportboot	Deutschland	2013	kommerziell
		Schweiz	2016	
"Jules Verne 2"/Navibus	Personenfähre	Frankreich	2017	Prototyp

...

Projekt / Schiffsname	Typ	Land	Jahr	Typ des Projektes
FCShip case 1	RoRo	Deutschland	2002 - 2004	Studie
FCShip case 2	Fähre	Deutschland	2002 - 2004	Studie
Wallenius / "Orcelle"	Auto-transporter	Schweden	2004	Studie
Felicitas	Luxus Yacht	Deutschland	2005 - 2008	Studie
MC WAP	RoRo	Italien	2005 - 2011	Studie
Methapu / "Undine"	Auto-transporter	Finnland	2006 - 2009	Prototyp
FellowShip / "Viking Lady"	Versorgungsschiff	Norwegen	2007 - 2010	Prototyp
SMART H2 / "Elding"	Walbeobachtung	Island	2007 - 2010	Prototyp
PaXell	Kreuzfahrtschiff	Deutschland	2009 - heute	Prototyp
SchIBZ	Yacht	Deutschland	2009 - heute	Prototyp
Germanischer Lloyd	Feeder Schiff	Deutschland	2012	Studie
Scandlines	Personen / Autofähre	Deutschland	2012	Studie
Fincantieri	Range Extender	Italien	2013	Liefervertrag
CMR Prototech / MF "Ole Bull"	Autofähre	Norwegen	2016	Demonstration
SF-BREEZE	Personenschnellfähre	USA	2016	Studie
MS "Innogy"	Tagesausflugsschiff	Deutschland	2017	Demonstration
Viking Cruises	Kreuzfahrtschiff	Norwegen	2017	Studie
Royal Caribbean	Kreuzfahrtschiff	Norwegen	2017	Planung
RiverCell	Flusskreuzfahrtschiff	Deutschland	2017 / 2021	Planung
Elektra	Schubschiff	Deutschland	2017 / 2021	kommerziell
Urban Water Shuttle	Personenschnellfähre	Norwegen	2017 / 2019	Projekt
Brødrene Aa	Personenschnellfähre	Norwegen	2017 / 2021	Planung
Fiskerstrand / HYBRIDShips	Fähre	Norwegen	2017 / 2020	Pilot Projekt
MARANDA / "Aranda"	Forschungsschiff	Finnland	2017 / 2021	Projekt
FELMAR	Binnenschiffe	Niederlande	2018 / 2019	Entwicklung

...



Quelle: DLR 2018; J. Pratt, L. Klebanoff/SNL 2017; NORLED 2019; G. Holbach/TU-Berlin 2018

# Ausgewählte Beispiele „Anwendungsschwerpunkte“

“möglicher  
Anwendungs-  
schwerpunkt”



ludwig bölkow  
systemtechnik

Zentrale Randbedingungen:

- Güter**
- EX-EEG-WKA ab 2021
  - H<sub>2</sub>-Projekt
  - H<sub>2</sub>-Nebenprodukt
  - H<sub>2</sub>-Schiene
  - H<sub>2</sub>-Kaverne

- Hafen, Hamburg**
- NO<sub>2</sub>-Luftreinhaltung
  - EX-EEG-WKA ab 2021
  - H<sub>2</sub>-Nebenprodukt
  - H<sub>2</sub>-Schiene
  - H<sub>2</sub>-Kaverne

- Güter-Binnen, Braunschweig**
- NO<sub>2</sub>-Luftreinhaltung
  - H<sub>2</sub>-Schiene
  - EX-EEG-WKA ab 2021
  - Helmstedter Revier

- Hafen-Binnen, Duisburg**
- NO<sub>2</sub>-Luftreinhaltung
  - H<sub>2</sub>-Nutzung Industrie
  - H<sub>2</sub>-Nebenprodukt
  - Rheinisches Revier
  - HRS (H<sub>2</sub>-Tankstelle)
  - H<sub>2</sub>-Schiene / Busse

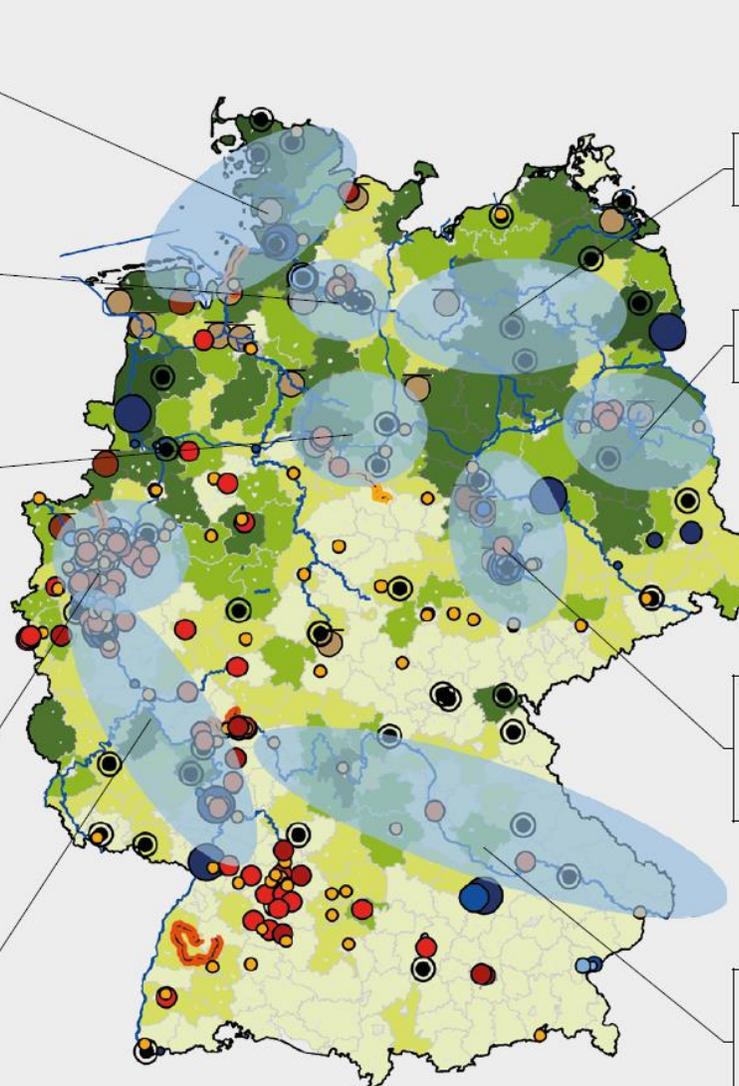
- Güter-Binnen, Rhein**
- NO<sub>2</sub>-Luftreinhaltung
  - H<sub>2</sub>-Nutzung Industrie
  - EX-EEG-WKA ab 2021

- Tagesausflug, M-V**
- EX-EEG-WKA ab 2021
  - H<sub>2</sub>-Kaverne

- Güter/Tagesausflug, Berlin**
- NO<sub>2</sub>-Luftreinhaltung
  - EX-EEG-WKA ab 2021

- Tagesausflug**
- H<sub>2</sub>-Erzeugung (Leuna)
  - Methanolproduktion
  - Mitteldeutsches Revier
  - NO<sub>2</sub>-Luftreinhaltung
  - H<sub>2</sub>-Kaverne

- Tagesausflug / Kabinenschiffe, Main-Donau**
- EX-EEG WKA ab 2021 (Würzburg)
  - NO<sub>2</sub>-Luftreinhaltung (Würzburg, Nürnberg, Regensburg)
  - H<sub>2</sub>-Erzeugung (Ingolstadt)



# Ausgewählte Beispiele „Anwendungsschwerpunkte“

“möglicher  
Anwendungs-  
schwerpunkt”



IfS

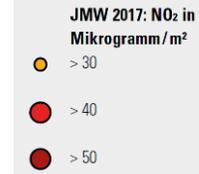


ludwig bolkow  
systemtechnik

## Zentrale Randbedingungen:

- Umweltaspekte
  - CO<sub>2</sub>-Emissionen
  - Schadstoffe

Beispiel: NO<sub>x</sub>-Überschreitungen 2017



**Güter**  
- EX-EEG-WKA ab 2021  
- H<sub>2</sub>-Projekt  
- H<sub>2</sub>-Nebenprodukt  
- H<sub>2</sub>-Schiene  
- H<sub>2</sub>-Kaverne

**Hafen, Hamburg**  
- NO<sub>2</sub>-Luftreinhaltung  
- EX-EEG-WKA ab 2021  
- H<sub>2</sub>-Nebenprodukt  
- H<sub>2</sub>-Schiene  
- H<sub>2</sub>-Kaverne

**Güter-Binnen,  
Braunschweig**  
- NO<sub>2</sub>-Luftreinhaltung  
- H<sub>2</sub>-Schiene  
- EX-EEG-WKA ab 2021  
- Helmstedter Revier

**Hafen-Binnen,  
Duisburg**  
- NO<sub>2</sub>-Luftreinhaltung  
- H<sub>2</sub>-Nutzung Industrie  
- H<sub>2</sub>-Nebenprodukt  
- Rheinisches Revier  
- HRS (H<sub>2</sub>-Tankstelle)  
- H<sub>2</sub>-Schiene / Busse

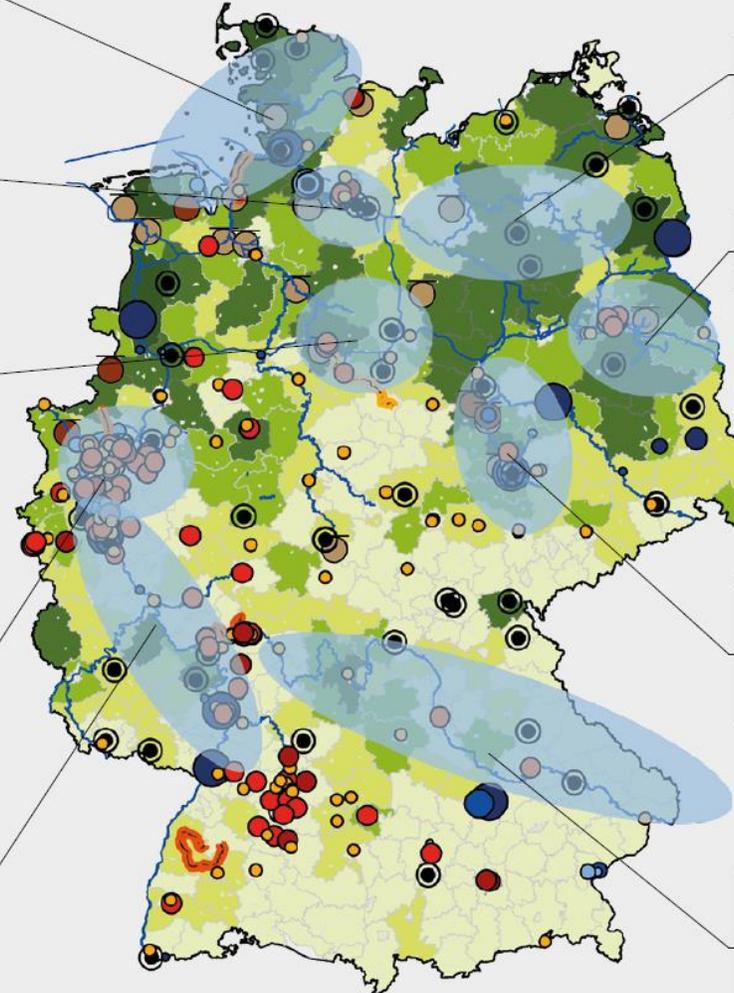
**Güter-Binnen, Rhein**  
- NO<sub>2</sub>-Luftreinhaltung  
- H<sub>2</sub>-Nutzung Industrie  
- EX-EEG-WKA ab 2021

**Tagesausflug, M-V**  
- EX-EEG-WKA ab 2021  
- H<sub>2</sub>-Kaverne

**Güter / Tagesausflug, Berlin**  
- NO<sub>2</sub>-Luftreinhaltung  
- EX-EEG-WKA ab 2021

**Tagesausflug**  
- H<sub>2</sub>-Erzeugung (Leuna)  
- Methanolproduktion  
- Mitteldeutsches Revier  
- NO<sub>2</sub>-Luftreinhaltung  
- H<sub>2</sub>-Kaverne

**Tagesausflug / Kabinenschiffe,  
Main-Donau**  
- EX-EEG WKA ab 2021 (Würzburg)  
- NO<sub>2</sub>-Luftreinhaltung (Würzburg,  
Nürnberg, Regensburg)  
- H<sub>2</sub>-Erzeugung (Ingolstadt)



# Ausgewählte Beispiele „Anwendungsschwerpunkte“

“möglicher  
Anwendungs-  
schwerpunkt”



IfS

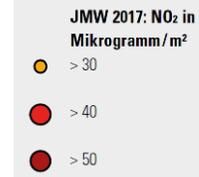


ludwig bolkow  
systemtechnik

## Zentrale Randbedingungen:

- Umweltaspekte
  - CO<sub>2</sub>-Emissionen
  - Schadstoffe

Beispiel: NO<sub>x</sub>-Überschreitungen 2017



- Wasserstoffverfügbarkeit

H<sub>2</sub>-Erzeugungsanlagen



Wind, PV Anlagen ohne  
EEG-Förderung ab 2021



H<sub>2</sub>-/PtG Anlagen



**Güter**

- EX-EEG-WKA ab 2021
- H<sub>2</sub>-Projekt
- H<sub>2</sub>-Nebenprodukt
- H<sub>2</sub>-Schiene
- H<sub>2</sub>-Kaverne

**Hafen, Hamburg**

- NO<sub>2</sub>-Luftreinhaltung
- EX-EEG-WKA ab 2021
- H<sub>2</sub>-Nebenprodukt
- H<sub>2</sub>-Schiene
- H<sub>2</sub>-Kaverne

**Güter-Binnen,  
Braunschweig**

- NO<sub>2</sub>-Luftreinhaltung
- H<sub>2</sub>-Schiene
- EX-EEG-WKA ab 2021
- Helmstedter Revier

**Hafen-Binnen,  
Duisburg**

- NO<sub>2</sub>-Luftreinhaltung
- H<sub>2</sub>-Nutzung Industrie
- H<sub>2</sub>-Nebenprodukt
- Rheinisches Revier
- HRS (H<sub>2</sub>-Tankstelle)
- H<sub>2</sub>-Schiene / Busse

**Güter-Binnen, Rhein**

- NO<sub>2</sub>-Luftreinhaltung
- H<sub>2</sub>-Nutzung Industrie
- EX-EEG-WKA ab 2021

**Tagesausflug, M-V**

- EX-EEG-WKA ab 2021
- H<sub>2</sub>-Kaverne

**Güter/Tagesausflug, Berlin**

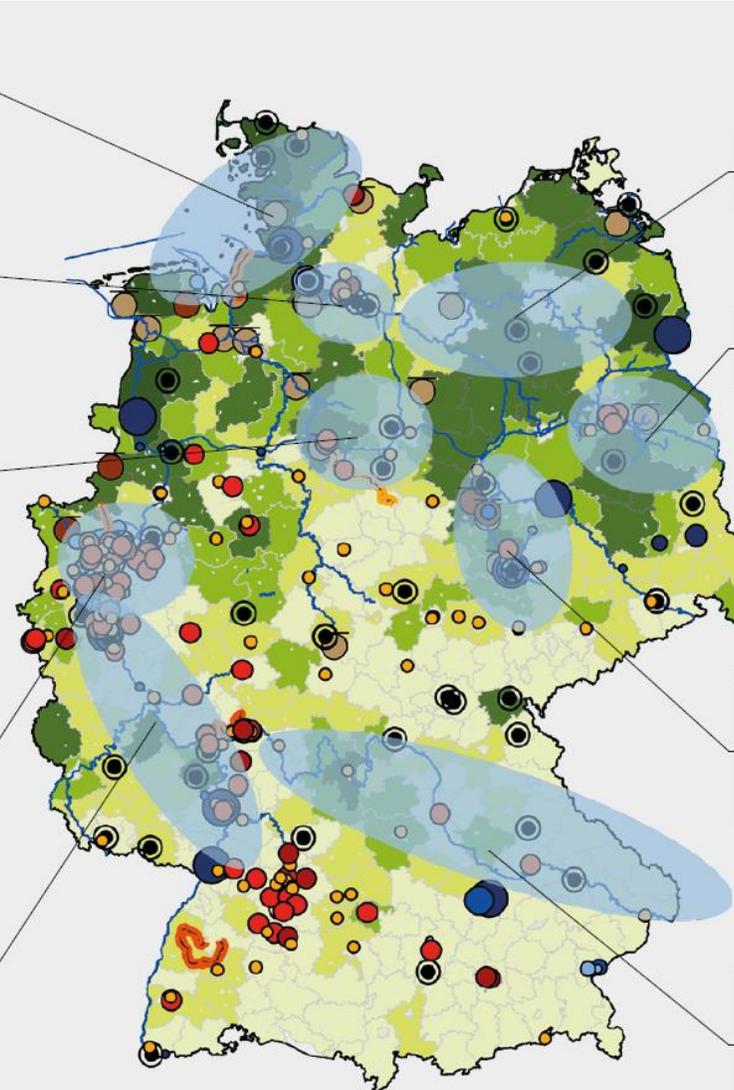
- NO<sub>2</sub>-Luftreinhaltung
- EX-EEG-WKA ab 2021

**Tagesausflug**

- H<sub>2</sub>-Erzeugung (Leuna)
- Methanolproduktion
- Mitteldeutsches Revier
- NO<sub>2</sub>-Luftreinhaltung
- H<sub>2</sub>-Kaverne

**Tagesausflug / Kabinenschiffe,  
Main-Donau**

- EX-EEG WKA ab 2021 (Würzburg)
- NO<sub>2</sub>-Luftreinhaltung (Würzburg, Nürnberg, Regensburg)
- H<sub>2</sub>-Erzeugung (Ingolstadt)



# Ausgewählte Beispiele „Anwendungsschwerpunkte“

“möglicher  
Anwendungs-  
schwerpunkt”

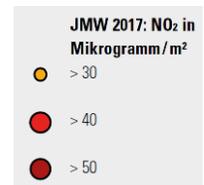


ludwig bölkow  
systemtechnik

## Zentrale Randbedingungen:

- Umweltaspekte
  - CO<sub>2</sub>-Emissionen
  - Schadstoffe

Beispiel: NO<sub>x</sub>-Überschreitungen 2017



## Wasserstoffverfügbarkeit

### H<sub>2</sub>-Erzeugungsanlagen



### Wind, PV Anlagen ohne EEG-Förderung ab 2021



### H<sub>2</sub>-/PtG Anlagen

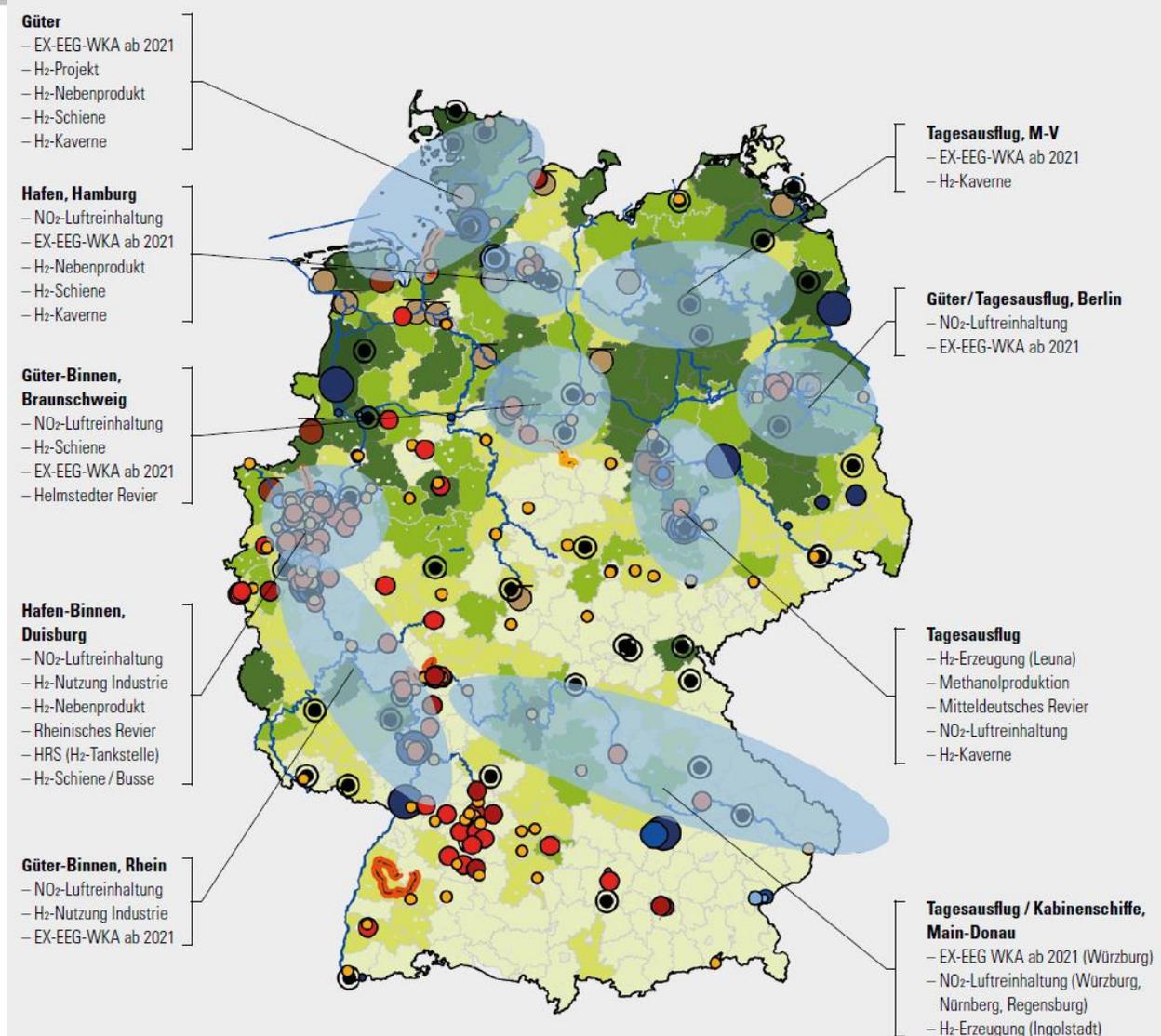


## Synergien mit anderen H<sub>2</sub>-Anwendungen

## Schiffsverkehre (Häfen, Logistik ...)

1. Juli 2020

Beispiel: Schienenverkehr





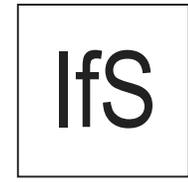
# Bunkern

Benjamin Scholz, Urs Vogler (DNV-GL)

Peter Klemm (IfS)

Gunter Sattler (IfS)

# Wie oft bunkert typischerweise ein Europaschiff auf seiner Reise auf dem Rhein?



ludwig bolkow  
systemtechnik

- A) 1 mal
- B) 2 mal
- C) 3 mal

# Auswahl von Referenzschiffen

- Gütermotorschiff → “Europaschiff”
  - Kann auf allen Binnenwasserstrassen betrieben werden
  - Zahlenmäßig am stärksten vertreten
- Schubschiff → “Elektra”
  - Zweithäufigster Schiffstyp
- Tagesausflugsschiff → “Stern”
  - Operieren lokal → einfache Bunkerlogistik
  - Öffentliche Wahrnehmung und Etablierung
- Kabinenschiff → „Viking Longship“
  - Erhöhung des Komforts (Vibrationen, Geräuschemissionen)
  - Öffentliche Wahrnehmung und Etablierung



# Die Brennstoffzelle

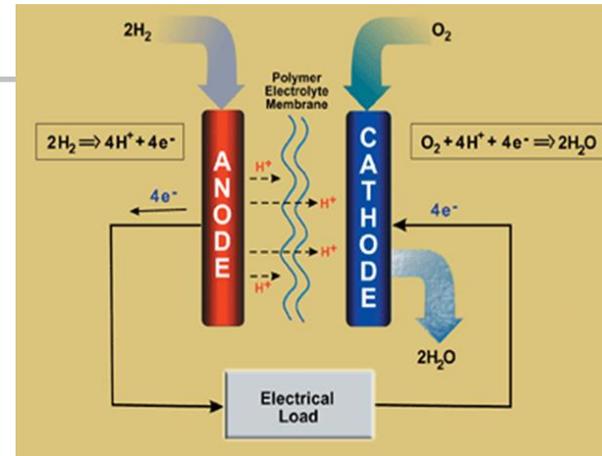
Energiewandlung durch Austausch von Ionen und Elektronen

## Vorteile von Brennstoffzellen

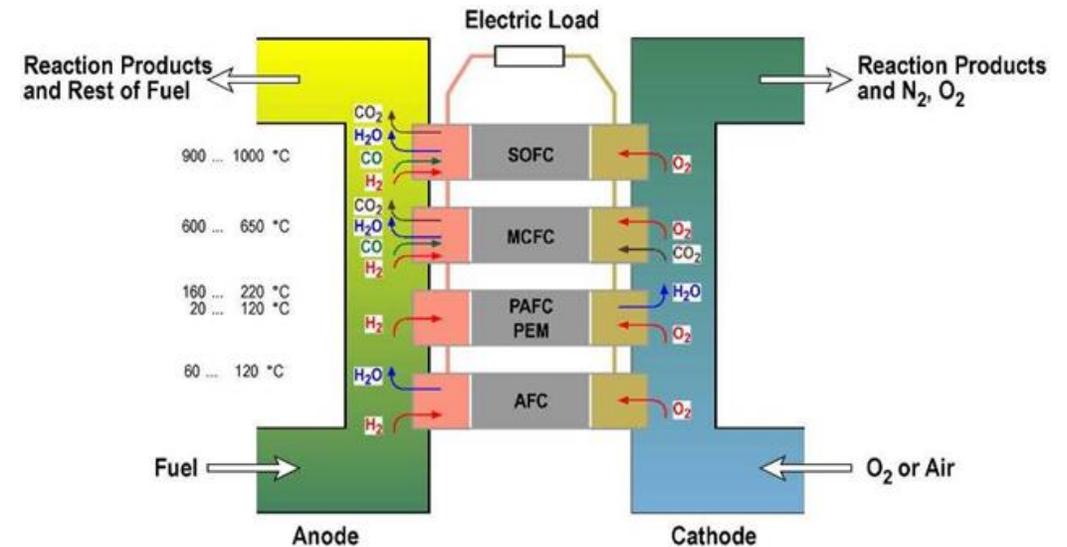
- keine Luftschadstoffe
- Hohe Modularität
- Keine bewegten Teile (→ leise)
- Hohe Effizienz, insbesondere Teillast
- Geringere Vibrationsanregung

## Abkürzungen:

- SOFC: Solid Oxid Fuel Cells
- MCFC: Molten Carbonate Fuel Cell
- PAFC: Phosphoric Acid Fuel Cells
- PEM: Proton Exchange Membrane Fuel Cell
- AFC: Alkaline Fuel Cell



Source: Ballard



# Empfehlung

- **ES-TRIN:** Annex 8 beinhaltet zur Zeit nur Anforderungen bezüglich LNG als Schiffsbrennstoff
- **E4ships:** Entwicklung eines Regelvorschlages für Brennstoffzellen, Annex ES-TRIN
  - Unter Leitung des Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) wird dieser Regelvorschlag weiter bearbeitet und im Rahmen der CESNI Sitzungen werden die finalen Anforderungen hinsichtlich Brennstoffzellen in das Regelwerk aufgenommen.
- Weitere Kraftstoffe können auf Basis einer Empfehlung (Ausnahmegenehmigung) an Bord gebracht werden



## Anlagen (die Anlagen werden nicht veröffentlicht)

- Anlage 1: Projektbeschreibung
- Anlage 2: Detailauflistung der Abweichungen und Bewertung
- Anlage 3: Generalplan und andere Pläne
- Anlage 4: Risikobewertung (FMEA, HAZID, ...)
- Sonstige Unterlagen, z.B.
- Anlage 5: Bunkerverfahren
- Anlage 6: Schulung von Besatzungen
- Anlage 7: Instandhaltung
- Anlage 8: ...

# Brennstoffzellensysteme für Referenzschiffe



Quelle: J. Friedrich



Quelle: Holbach 2018



Quelle: Stern&Kreisschiffahrt Berlin



Quelle: Viking 2019

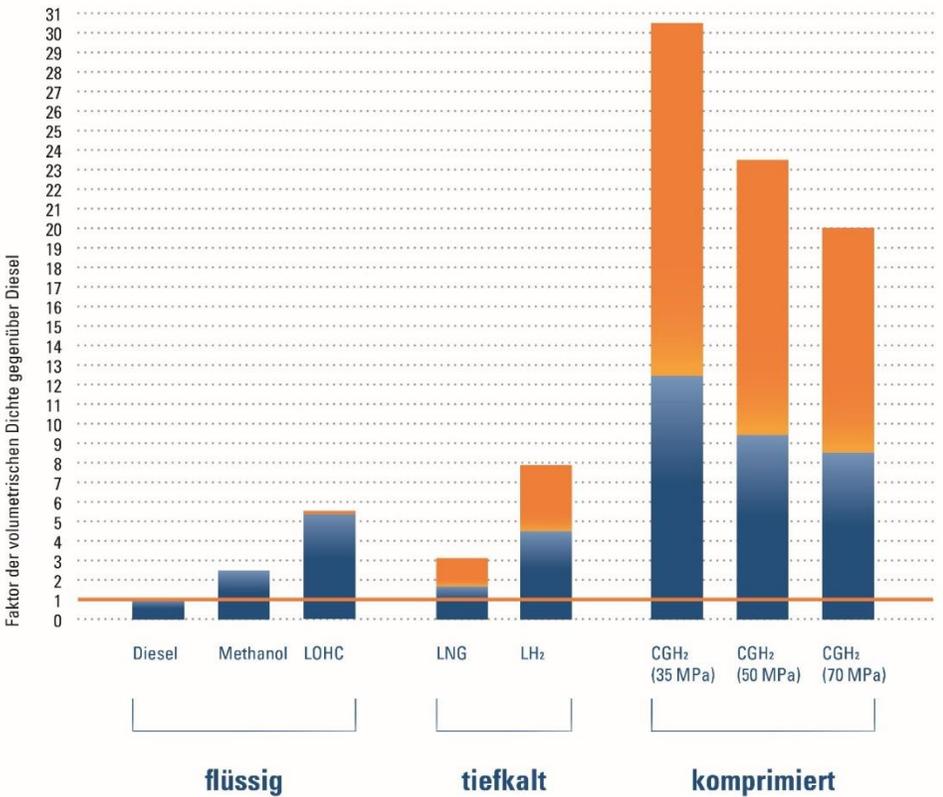
	Gütermotorschiff	Schubverband	Tagesausflugsschiff	Kabinenschiff
CGH <sub>2</sub> (35/50/70 MPa)	PEMFC	PEMFC	PEMFC	PEMFC
LH <sub>2</sub>	PEMFC	PEMFC	PEMFC	PEMFC
LOHC	PEMFC	PEMFC	PEMFC	PEMFC
E-MeOH	HT-PEMFC	HT-PEMFC	HT-PEMFC	HT-PEMFC
E-LNG	SOFC	SOFC	SOFC	SOFC
E-Diesel	SOFC	SOFC	SOFC	SOFC
Anmerkung je Schiffs-kategorie	Hohe Leistungen, große Kraftstoffspeichermengen benötigt, da lange Betriebsfahrten zwischen Bunkerungen		Volumenkritisch	Sehr Volumenkritisch, zusätzliche Hotellast (v. a. Wärme)

# Herausforderungen alternativer Kraftstoffe



ludwig bölkow  
systemtechnik

Vergleich der volumetrischen Energiedichte von Kraftstoffen im Verhältnis zu Diesel (blau) und möglicher zusätzlicher Raumbedarf durch die Tankkonstruktion (orange)



# Bunkern von alternativen Kraftstoffen

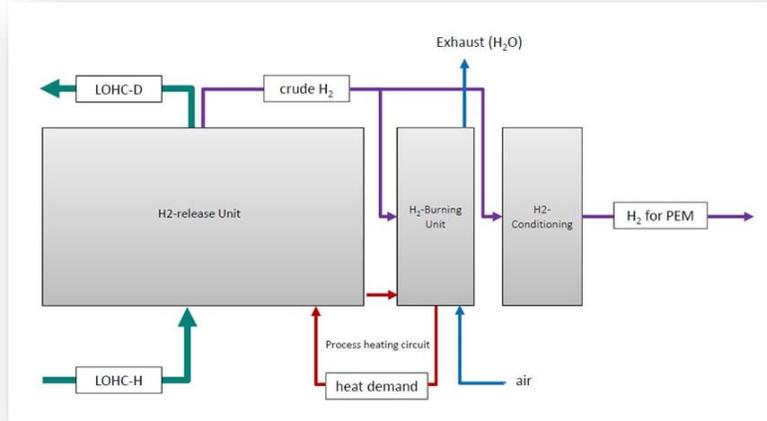
	Truck-To-Ship (TTS)	Ship-To-Ship (STS)	Pier-To-Ship (PTS)	Container-To-Ship (CTS)
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bunkern direkt am Liegeplatz (hohe Flexibilität)</li> <li>▪ Geringe Investitionskosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hohe Flexibilität</li> <li>▪ Hohe Bunkerraten</li> <li>▪ Hohes Bunkervolumen</li> <li>▪ Bunkern direkt am Liegeplatz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Große Tankkapazität</li> <li>▪ Schnelles Bunkern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bunkern direkt am Liegeplatz (hohe Flexibilität)</li> <li>▪ Geringe Investitionskosten</li> </ul>
<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geringe Bunkerraten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hohe Investitionskosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fester Bunkerstandort</li> <li>▪ Hohe Investitionskosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geringes Bunkervolumen</li> </ul>



Ship-to-Ship (STS)

Quelle: DNV AS

# Bunkerung alternativer Kraftstoffe



LOHC: Hydrogen Release Unit



Bunkerboot (Ship-to-Ship)



LH<sub>2</sub>: Befüllung Flüssigwasserstoff-Stationärtank



CGH<sub>2</sub>: Druckwasserstoff-Tankstelle



LNG: Betankungskomponenten

Quellen: Hydrogenious Technologies 2019; I. Gersbeck; Linde AG; Linde AG; B. Scholz 2019

1. Juli 2020

© Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH

LBST.de

# Zusammenfassung

---

- Für die ausgewählten Referenzschiffe konnten alternative Antriebskonzepte entwickelt werden.
- Folgende mögliche Kraftstoffkonzepte wurden erarbeitet:
  - Gütermotorschiff → Syn. Diesel, LNG/LH2, Methanol, LOHC, CGH2 70
  - Schubschiff → Syn. Diesel, LNG/LH2, Methanol, LOHC, CGH2 70
  - Tagesausflugsschiff → Syn. Diesel, Methanol, LOHC, CGH2 70
  - Kabinenschiff → Syn. Diesel, LH2, Methanol, LOHC
- Auf Basis dieser alternativen Antriebskonzepte wurden weiterführende Untersuchungen durchgeführt.



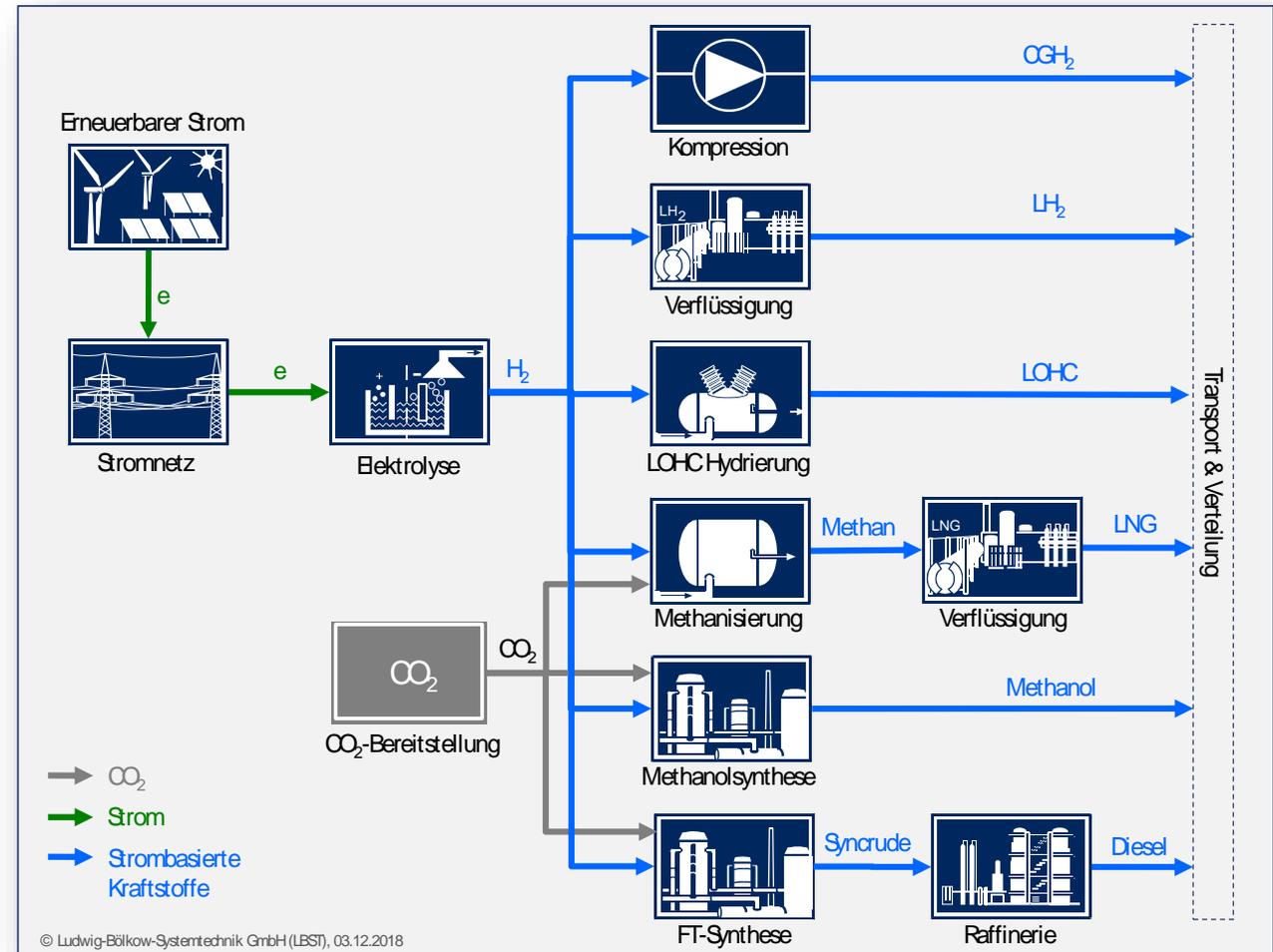
# Lebenszyklusanalysen

Patrick Schmidt (LBST), Werner Weindorf (LBST)

- Kraftstoffpfade
- Treibhausgase
- Energiebedarf
- Kosten

# Bereitstellungspfade

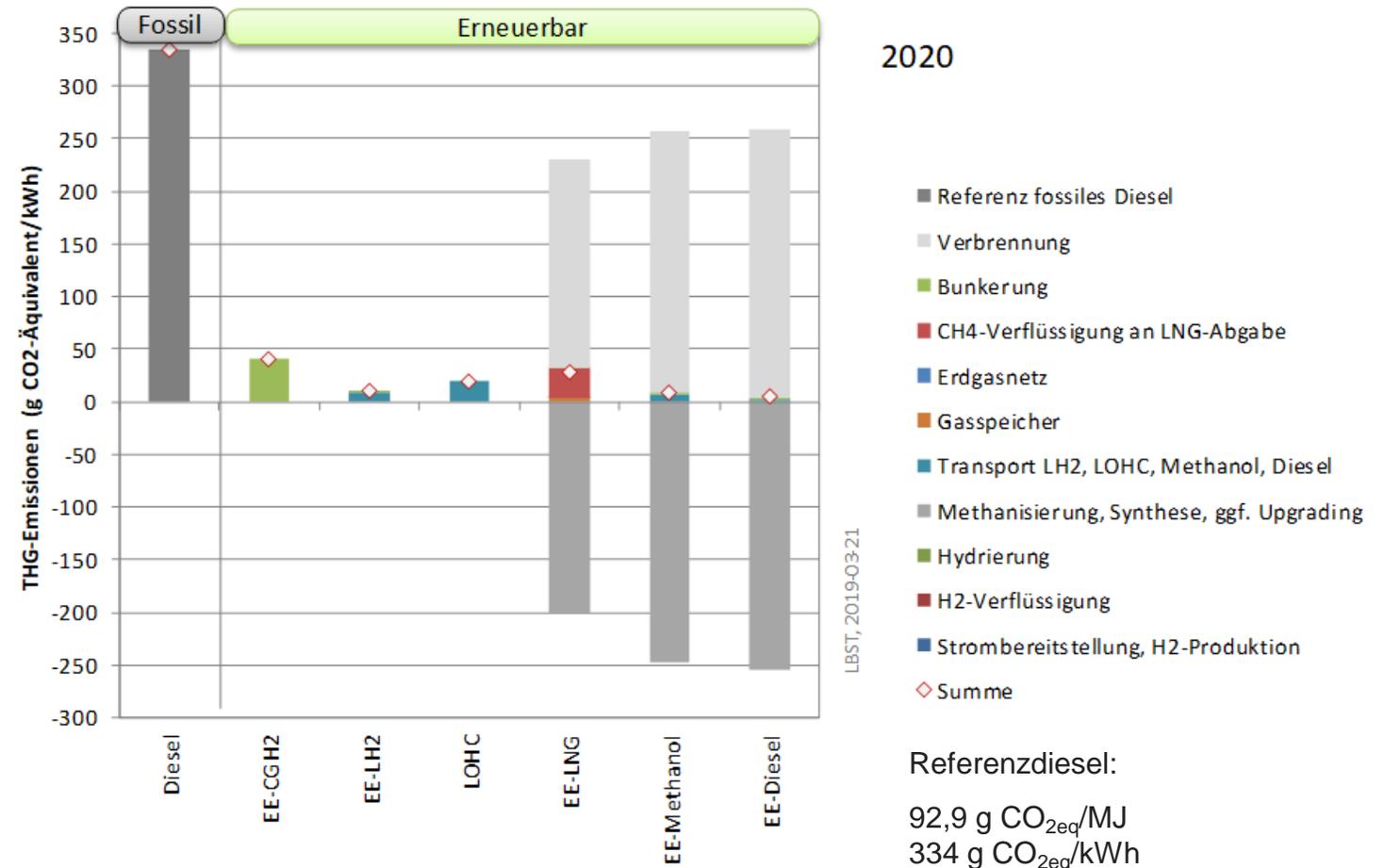
- Sechs Kraftstoffe aus erneuerbarem Strom:
  - Wasserstoff (CGH<sub>2</sub> 35/50/70 MPa, LH<sub>2</sub>, LOHC)
  - Methan
  - Methanol
  - Diesel
- 100% EE-Mix aus Wind + PV (DE)
- CO<sub>2</sub> aus Biogasaufbereitung (2020)  
CO<sub>2</sub> aus der Luft (2030)
- **Vollkosten von neuen Anlagen** (EE-Strom, Kraftstoffbereitstellung, Bunkerung, Brennstoffzellen)



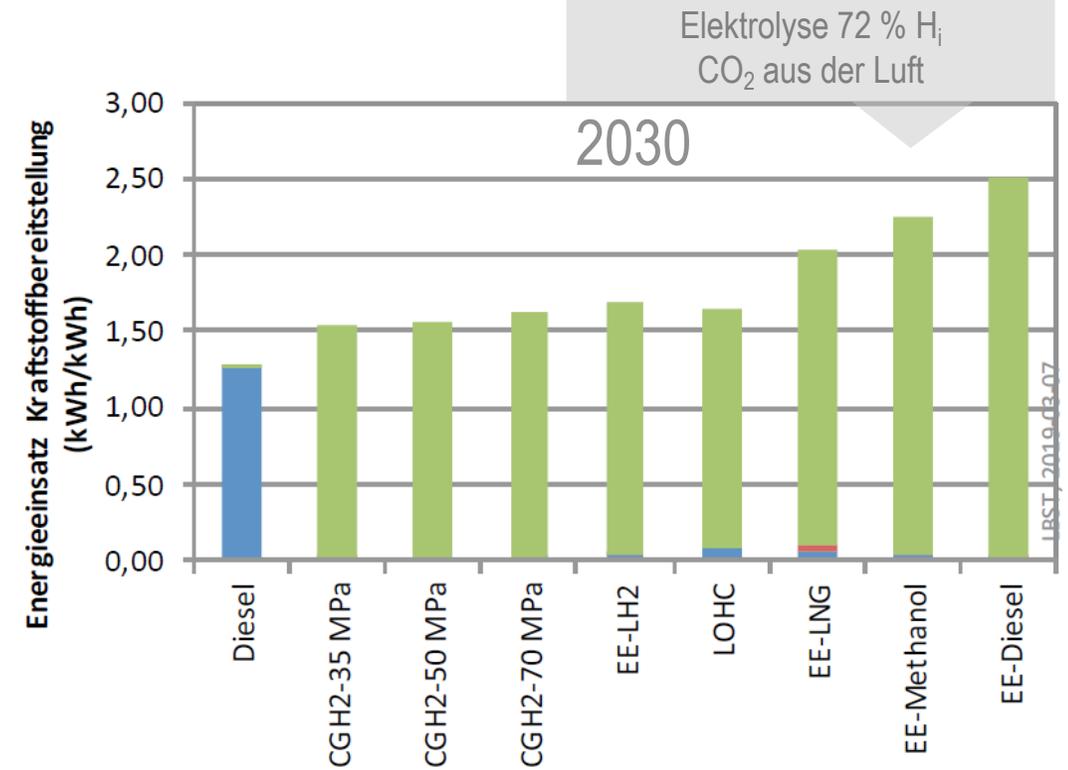
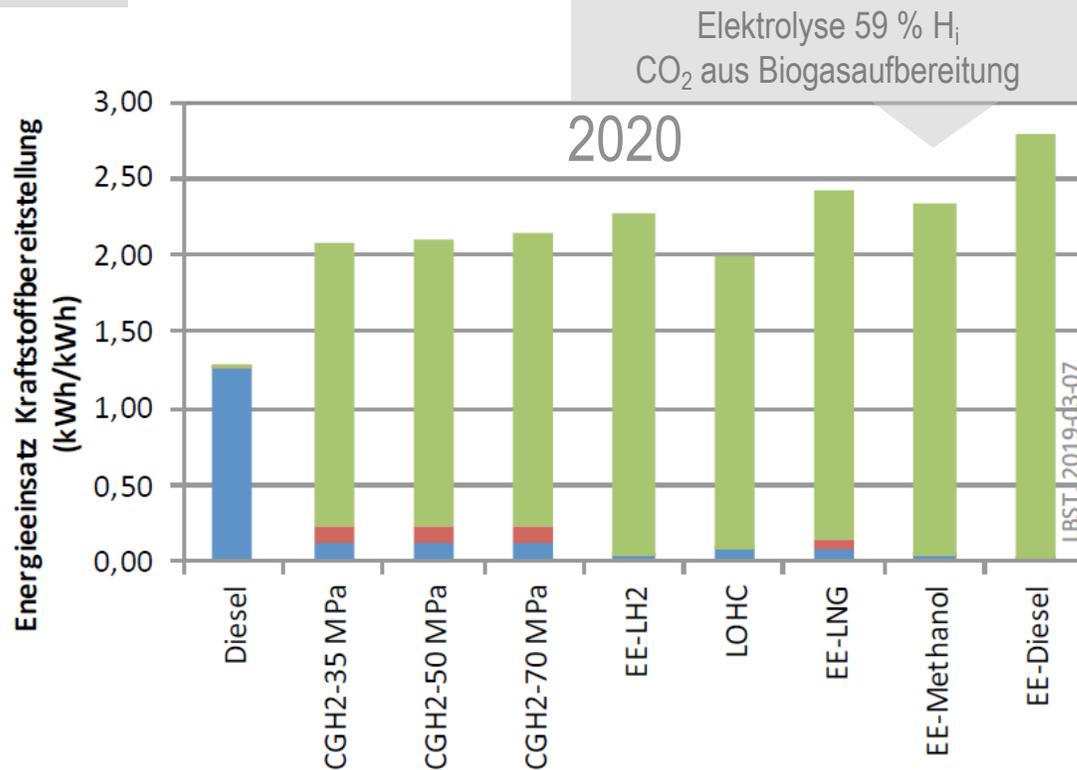
# Treibhausgasemissionen (ggü. fossilem Diesel)

- 2020: 92 – 99%
- 2030: 94 – 99%

## Kraftstoffspezifische Treibhausgasemissionen „Well-to-Tank“ 2020



# Kumulierter Energieaufwand „Well-to-Tank“



- Fossile und nukleare Energieanteile aufgrund der Annahme von Strommix für Hilfsstrom, z.B. Methanverflüssigung.
- Bereitstellung von H<sub>2</sub> und LOHC braucht tendenziell (2030: deutlich) weniger Energie als die Synthesekraftstoffe (EE-LNG, EE-Methanol, EE-Diesel).
- CGH<sub>2</sub>-Druckniveau hat insgesamt kaum Einfluss.

# Wirkungsgrad „Well-to-Propeller“ (Ampelfarben zeilenweise lesen!)



ludwig bölkow  
systemtechnik

	EE-CGH <sub>2</sub> **	EE-LH <sub>2</sub>	LOHC	EE-LNG	EE-Methanol	EE-Diesel
<b>2020</b>						
Gütermotorschiff						
	22 %	21 %	15 %	19 %	17 %	15 %
Schubverband						
	23 %	21 %	16 %	20 %	18 %	16 %
Tagesausflugsschiff						
	24 %	23 %	16 %	21 %	19 %	17 %
Kabinenschiff						
	23 %	22 %	16 %	20 %	18 %	16 %
<b>2030</b>						
Gütermotorschiff						
	29 %	28 %	18 %	23 %	18 %	17 %
Schubverband						
	30 %	29 %	19 %	24 %	19 %	18 %
Tagesausflugsschiff						
	32 %	30 %	20 %	25 %	20 %	19 %
Kabinenschiff						
	30 %	29 %	19 %	24 %	19 %	18 %

# Wirkungsgrad „Well-to-Propeller“ (Ampelfarben zeilenweise lesen!)

LOHC: Energiebedarf für H<sub>2</sub>-Extraktion an Bord



ludwig bölkow  
systemtechnik

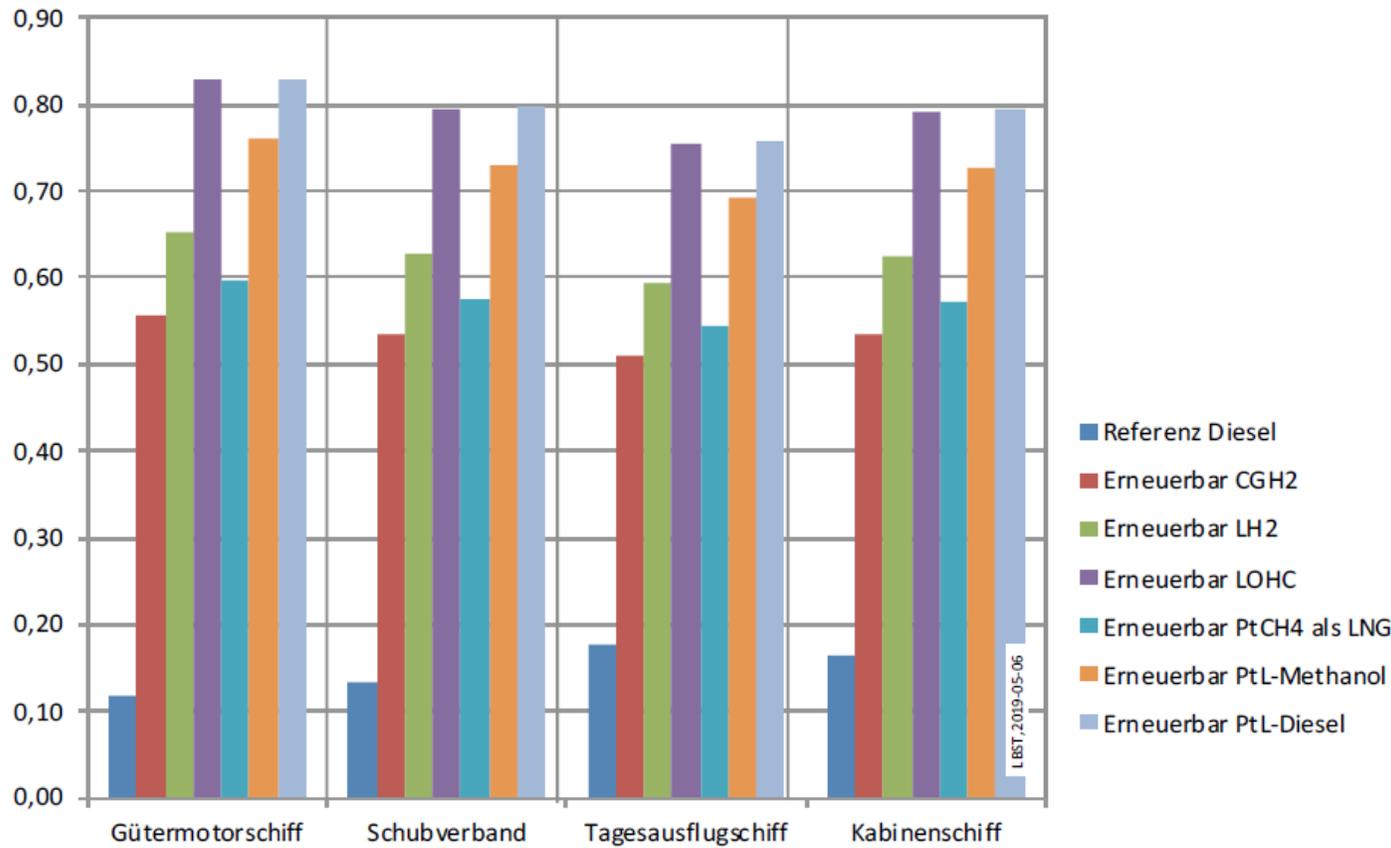
	EE-CGH <sub>2</sub> **	EE-LH <sub>2</sub>	LOHC	EE-LNG	EE-Methanol	EE-Diesel
<b>2020</b>						
Gütermotorschiff						
	22 %	21 %	15 %	19 %	17 %	15 %
Schubverband						
	23 %	21 %	16 %	20 %	18 %	16 %
Tagesausflugsschiff						
	24 %	23 %	16 %	21 %	19 %	17 %
Kabinenschiff						
	23 %	22 %	16 %	20 %	18 %	16 %

⇒ Druck- und Flüssigwasserstoff hat bei allen Referenzschiffen die höchsten Gesamtwirkungsgrade

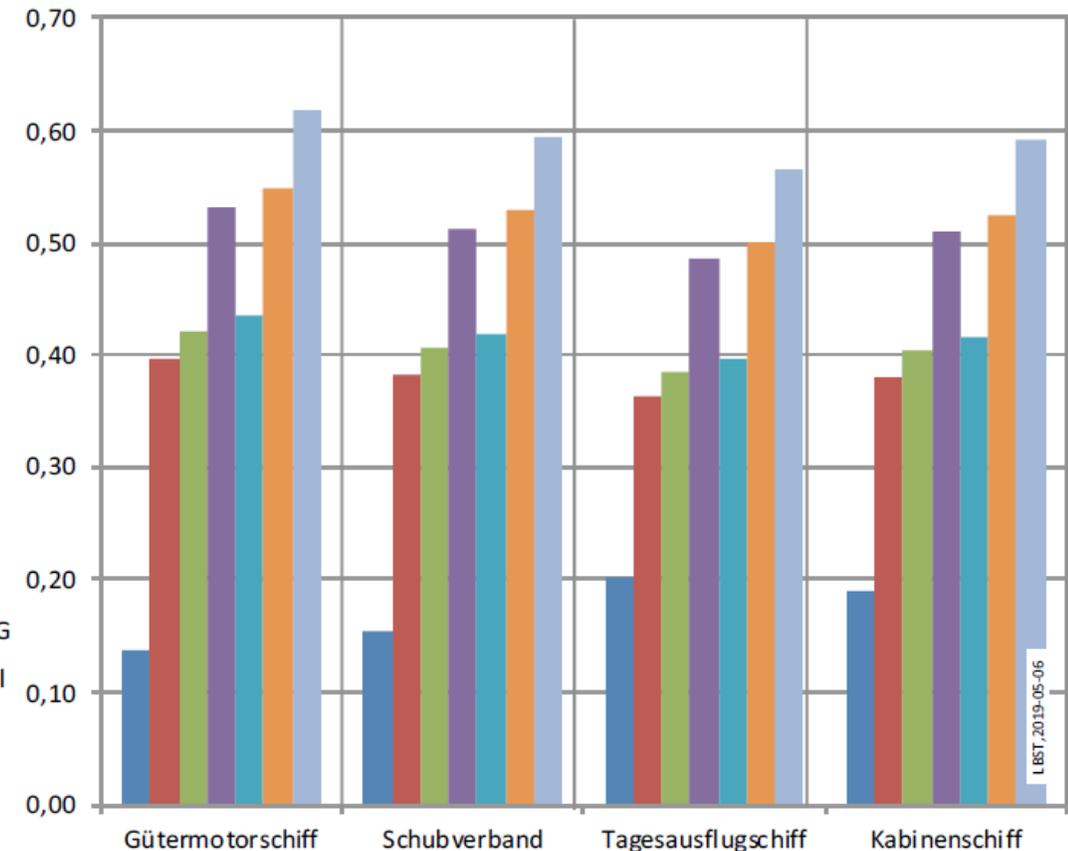
	EE-CGH <sub>2</sub> **	EE-LH <sub>2</sub>	LOHC	EE-LNG	EE-Methanol	EE-Diesel
<b>2030</b>						
Gütermotorschiff						
	29 %	28 %	18 %	23 %	18 %	17 %
Schubverband						
	30 %	29 %	19 %	24 %	19 %	18 %
Tagesausflugsschiff						
	32 %	30 %	20 %	25 %	20 %	19 %
Kabinenschiff						
	30 %	29 %	19 %	24 %	19 %	18 %

# Kraftstoffkosten „Well-to-Propeller“ 2020/2030 (inklusive Antriebswirkungsgrad)

2020 ohne Steuern



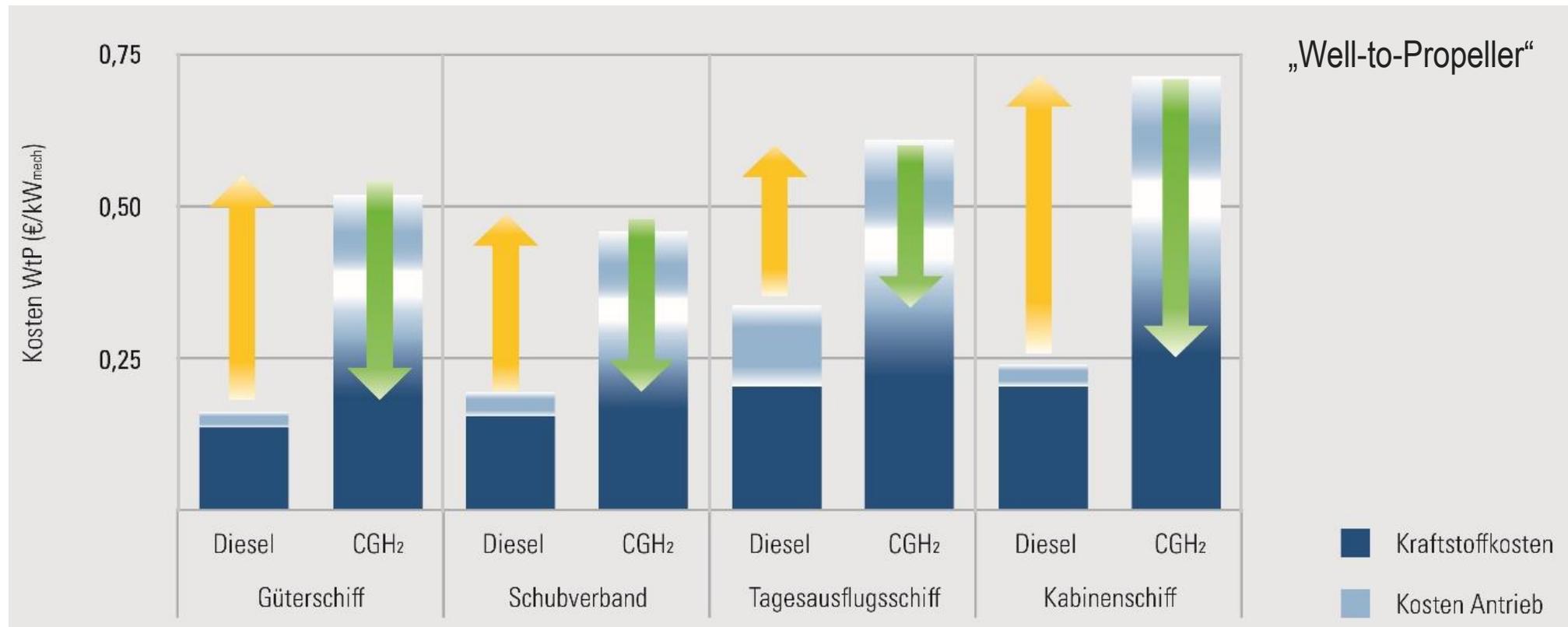
2030 ohne Steuern



⇒ Das Kostenniveau erneuerbarer Kraftstoffe liegt – ohne Maßnahmen – signifikant über fossilem Diesel.

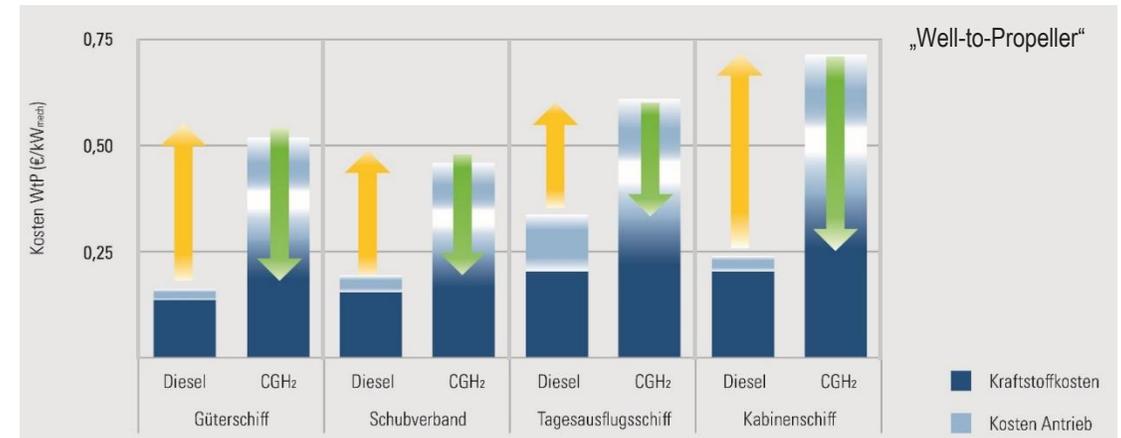
# Wirtschaftlichkeit H<sub>2</sub>

- Kosten „Well-to-Propeller“ = Kraftstoff + Infrastruktur + Antriebssystem



# Wirtschaftlichkeit H<sub>2</sub> → 2030

- Kostensteigerungen bei Diesel/Verbrenner:
  - Abgasaufbereitung
  - Hybridisierung
  - CO<sub>2</sub>-Preis
- Kostensenkungspotenziale H<sub>2</sub>/Brennstoffzelle:
  - EE-Stromkosten
  - EE-Importe
  - Infrastruktursynergien
  - Wärmenutzung Elektrolyse
  - Serienfertigung Brennstoffzelle und H<sub>2</sub>-Speicher



- EE-Kraftstoffe mit Brennstoffzellen können Treibhausgas- & Schadstoff-Emissionen gegen Null reduzieren („Paris kompatibel“).
- Direkte H<sub>2</sub>-Nutzung weist signifikant geringere Energiebedarfe auf als H<sub>2</sub>-basierte synthetische EE-Kraftstoffe (E-LNG, E-Methanol, E-Diesel) bzw. LOHC. Ähnliches Bild bei den Kosten.
- Kraftstoffkosten dominieren die Gesamtkosten alternativer Antriebe. Stromkosten dominieren die Bereitstellungskosten von EE-Kraftstoffen.
- Kosten für alternative Schiffsantriebssysteme noch nicht verlässlich abschätzbar, da noch frühes Stadium der Technologieeinführung bei Schiffen.
- Herausforderungen:
  - EE-Kraftstoffe sind deutlich teurer als fossiler Diesel, insbesondere in der Einführungsphase.
  - Dieselnutzung in kommerzieller Binnenschifffahrt ist steuerreduziert.

⇒ Welche Hebel könnten helfen?

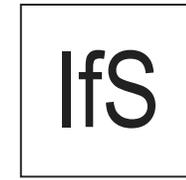


# Handlungsempfehlungen

Ulrich Bünger (LBST)

- Brennstoffzellen sind skalierbare Option für Nullemissionsantriebe für kommerzielle Passagier- und Frachtbinnenschifffahrt mit verschiedenen Alternativkraftstoffen.
  - Die langen Nutzungszyklen bei Schiffen verlangen eine frühe Einführung von auch langfristig robusten Kraftstoff- und Antriebsoptionen (andernfalls Strukturbruchrisiko).
  - Wirtschaftlichkeit ist wesentliche Herausforderung zur kurzfristigen Umsetzung, um Klima-/Schadstoffziele zu erfüllen (innovative Schiffskonzepte, angepasste Bunkerlogistik,...).
- ⇒ Mix an begleitenden Einführungsmaßnahmen erforderlich.

# Handlungsempfehlungen als Instrumentenmix (1/2)



ludwig bölkow  
systemtechnik

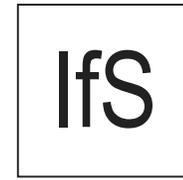
## ■ Schiffshersteller

- Angepasste Schiffsdesigns entwickeln (Güter-, Passagier-, Sportschiffahrt).
- Synergien aus breiter Einführung Brennstoffzellentechnik & Alternativkraftstoffe auch in anderen Mobilitätssektoren nutzen.
- Detaillierte Analysen für jeden einzelnen Anwendungsfall erforderlich (gemeinsam mit Betreibern).

## ■ Betreiber

- Angepasste Nutzungsprofile entwickeln (höherer Energiespeicherbedarf und Bunkerfrequenz).
- Bündelung Alternativkraftstoffbedarfe für mehrere Anwendungen entlang Hauptschifffahrtrouten (Rhein, Main,...) oder regionalen Nutzungszentren (Häfen, Seen).

# Handlungsempfehlungen als Instrumentenmix (2/2)



ludwig bolkow  
systemtechnik

## ■ Kraftstofflieferanten

- Angepasste Infrastrukturen für Alternativkraftstoffe (H<sub>2</sub>, EE-LNG, EE-Diesel, MeOH, LOHC) entwickeln.

## ■ Politik (EU, national/regional)

- Europäisch angepasste und national/regional umgesetzte Regulatorik entwickeln.
- Steigerung Wettbewerbsfähigkeit von Grün-H<sub>2</sub> durch Förderung von Elektrolyse-H<sub>2</sub> (gezielte Förderung von EE-Pfaden, v.a. zur EE-Stromerzeugung (Windkraftanlagen, PV)).
- Umstellung von Behördenschiffen.

# Welche Kraftstoffe finden Sie aktuell spannend für die Binnenschifffahrt?



ludwig bölkow  
systemtechnik

- A) Diesel
- B) Methan
- C) Methanol
- D) Wasserstoff
- E) LOHC
- F) weitere



# Diskussion

NOW

# Welches Thema für die Binnenschifffahrt sollte weitergehend untersucht werden?



ludwig bolkow  
systemtechnik

- A) Regularien
- B) Kosten
- C) Kraftstoffe
- D) Antriebssysteme
- E) Marktpotential

Martin Zerta, Patrick Schmidt, Werner Weindorf, Dr. Ulrich Bünger (LBST);  
Lars Langfeldt, Benjamin Scholz, Lea-Valeska Giebel (DNV GL);  
Peter Klemm, Gunter Sattler (IfS)

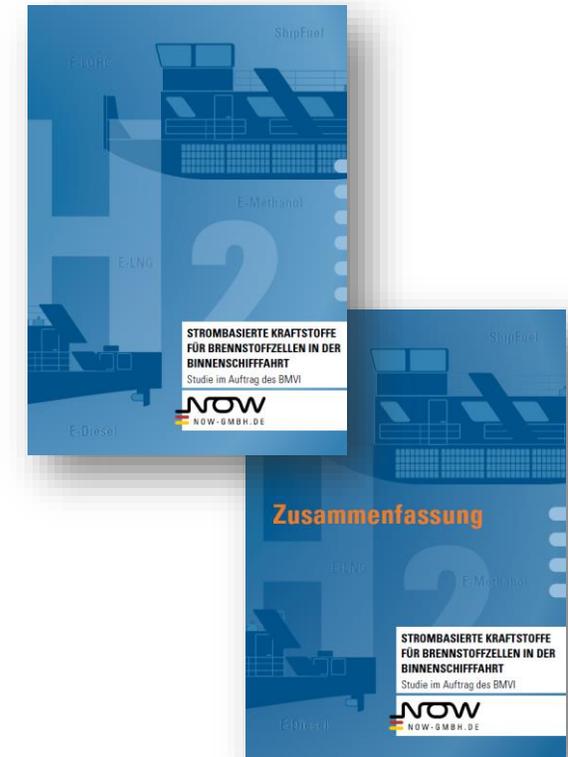
SHIPFUEL – Strombasierte Kraftstoffe für  
Brennstoffzellen in der Binnenschifffahrt

Studie im Auftrag der Nationalen Organisation  
Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW)  
für das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)

München/Hamburg/Berlin, September 2019

Download:

- <https://www.now-gmbh.de/de/aktuelles/presse/studie-strombasierte-kraftstoffe-fuer-brennstoffzellen-in-der-binnenschifffahrt>
- [http://lbst.de/ressources/docs2019/LBST-DNVGL-IfS\\_2019\\_ShipFuel\\_Hintergrundbericht\\_NOW.pdf](http://lbst.de/ressources/docs2019/LBST-DNVGL-IfS_2019_ShipFuel_Hintergrundbericht_NOW.pdf)
- [http://lbst.de/ressources/docs2019/LBST-DNVGL-IfS\\_2019\\_ShipFuel\\_Zusammenfassung\\_NOW.pdf](http://lbst.de/ressources/docs2019/LBST-DNVGL-IfS_2019_ShipFuel_Zusammenfassung_NOW.pdf)



## Dr. Ulrich Bünger (LBST)

Senior Project Manager

T: +49 (0)89 6081100

E: Ulrich.Buenger@LBSTde

## Erik Schumacher (NOW)

Bereichsleiter Stationäre Brennstoffzellen (NIP)

Programm Manager

T: +49 (0)30 3116116-48

E: erik.schumacher@now-gmbh.de

Programm



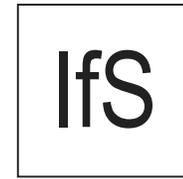
Auftraggeber



Koordination



# Fragen



ludwig bolkow  
systemtechnik

Teil	Nach Folie	Frage	Antwort
Begrüßung/Einführung	2	Aus welchen Branchen stammen die Teilnehmer*Innen?	(a) Hersteller / Werften, (b) Betreiber / Reedereien / Häfen (c) Kraftstoffhersteller / Lieferanten (d) Andere / F+E / Ingenieurbüros / Dienstleister/Behörden
BZ-Binnenschiffmärkte	6	Wie hoch schätzen Sie den Energieverbrauch der Schifffahrt im Verkehrsbereich?	(a) 0,5%, (b) 7%, (c) 14% ?
Bunkern	20	Wie oft bunkert typischerweise ein Europaschiff auf seiner Reise auf dem Rhein?	(a) 1-, (b) 2- oder (c) 4 mal?
LCA-Analysen	4 (Uli), 43	Welche Kraftstoffe finden Sie aktuell spannend für die Binnenschifffahrt?	(a) Diesel, (b) Methan, (c) Methanol, (d) Wasserstoff, (e) LOHC (f) Weitere, bitte nennen: ...
Handlungsempfehlungen	39	Fehlen wichtige Themen in der nationalen Wasserstoffstrategie?	Offen

**Vorgehen (lt. Gunter Sattler): Die Fragen (außer 5) werden von Roman als Multiple Choice gestellt, die LCA-Frage von Uli nach Folie 4 und dann noch einmal von Roman in der Diskussion nach Folie 43.**