

Deutsche Wasserstoffvollversammlung 26.-27. Januar 2021

SHIPFUEL (-NH₃)

Strombasierte Kraftstoffe für Brennstoffzellen in der Binnenschifffahrt (mit Ergänzung um NH₃)

Präsentiert von

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

Programm



Auftraggeber



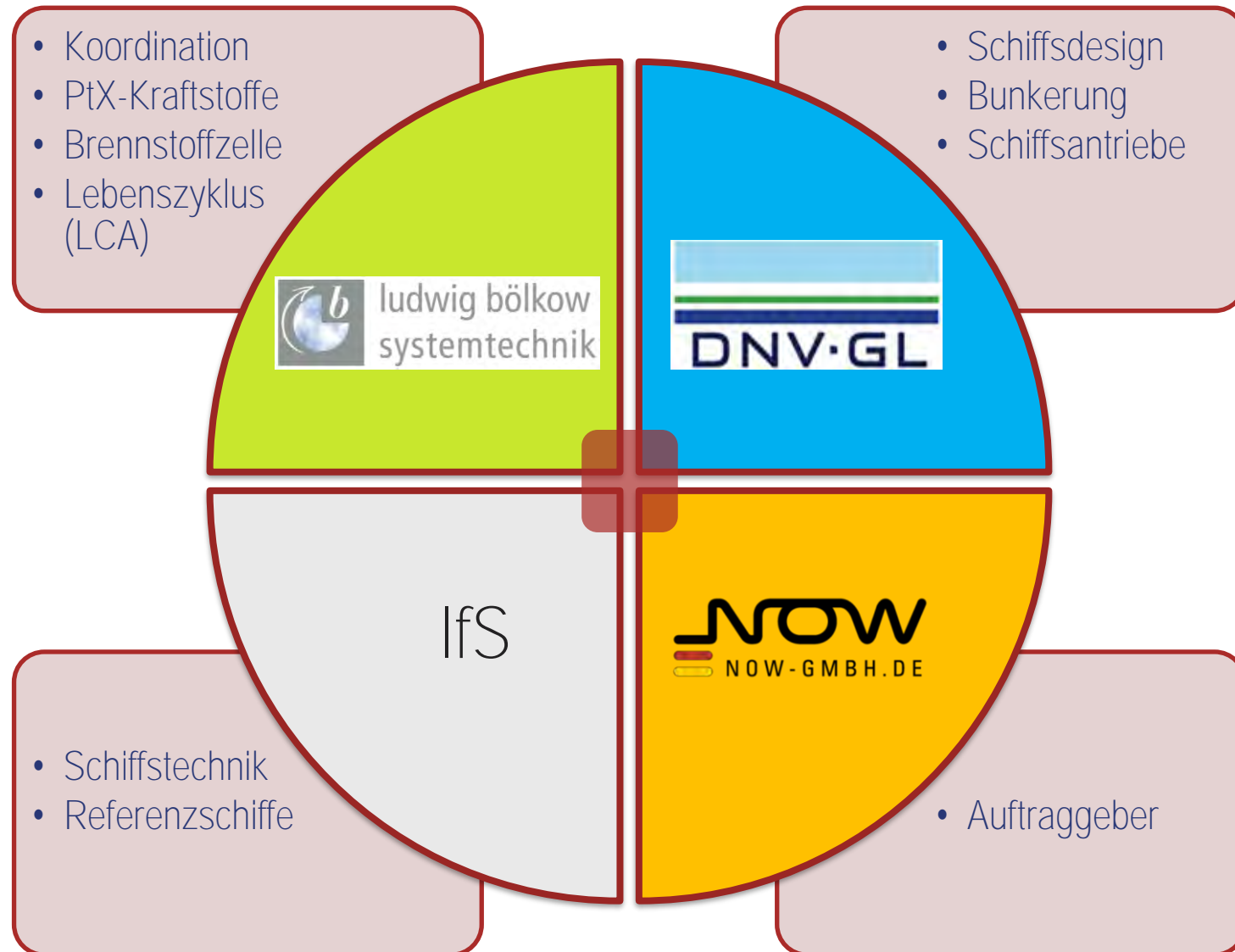


Identifikation technischer, wirtschaftlicher und ökologischer Voraussetzungen und Konsequenzen der Nutzung strombasierter Kraftstoffe in der Binnenschifffahrt:

- 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

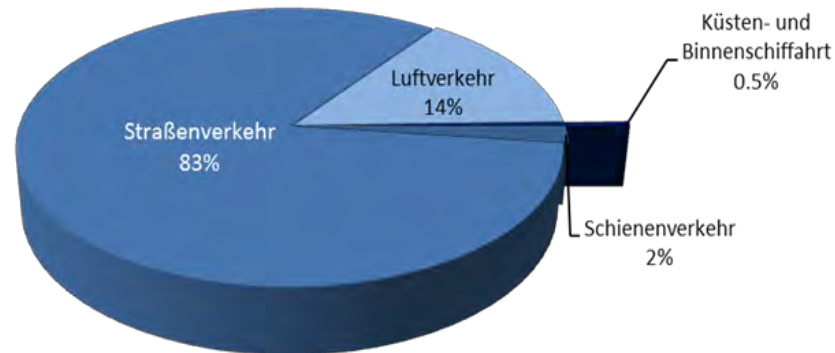
Projektlaufzeit: September 2018 – Oktober 2019

Ergänzung Ammoniak: September 2020 – Dezember 2020



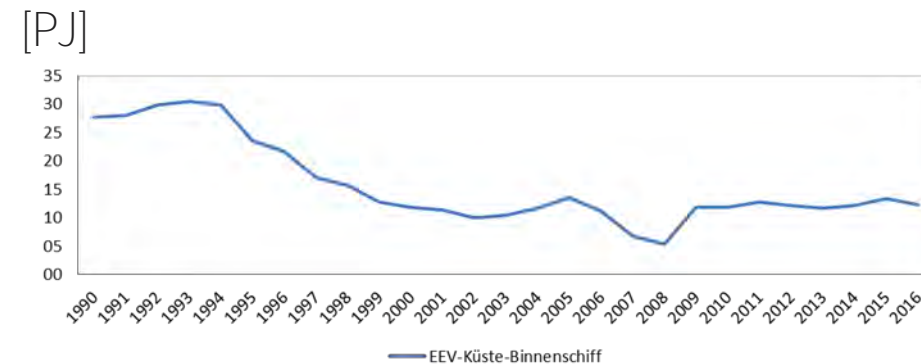
Binnenschifffahrt: Klima- & Umweltschutz

- Energieverbrauch
- Emissionen
- Klimaschutzaktivitäten
- Fördermöglichkeiten



Aufteilung Endenergieverbrauch Verkehr 2016

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

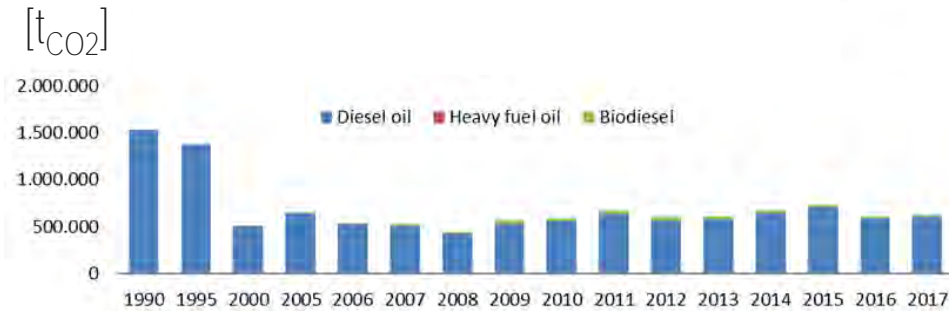


Endenergieverbrauch deutsche Küsten- und Binnenschifffahrt 2016

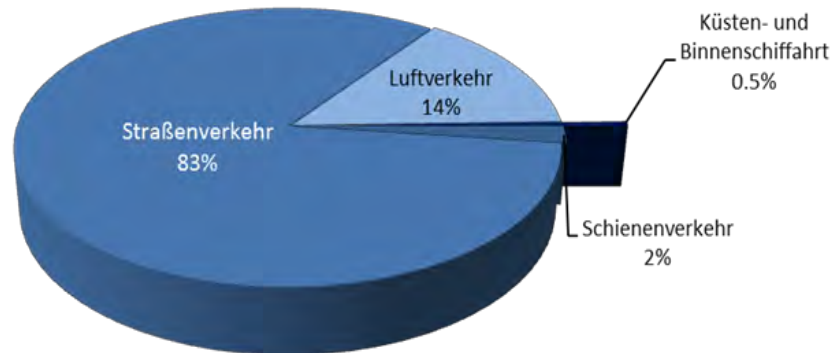
Quelle: BMWi, Datenübersicht zum 6. Monitoringbericht: Die Energie der Zukunft, Juli 2018

Binnenschifffahrt: Klima- & Umweltschutz

- Energieverbrauch
- Emissionen
- Klimaschutzaktivitäten
- Fördermöglichkeiten

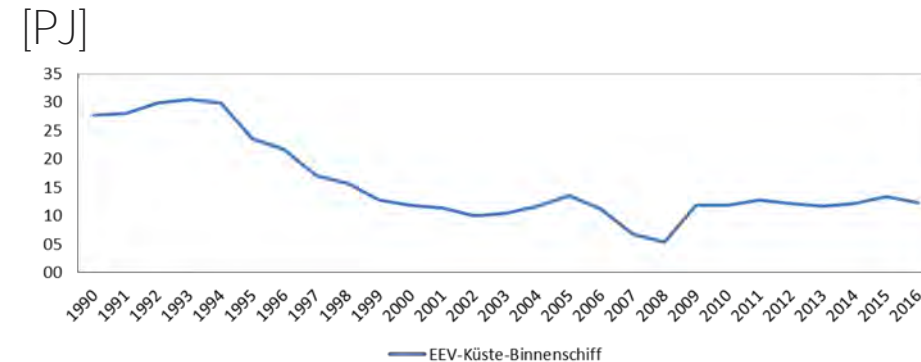


CO₂-Emissionen der deutschen Binnenschifffahrt
Quelle: LBST Berechnung auf Basis des NFR und UBA Daten, 2019



Aufteilung Endenergieverbrauch Verkehr 2016

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

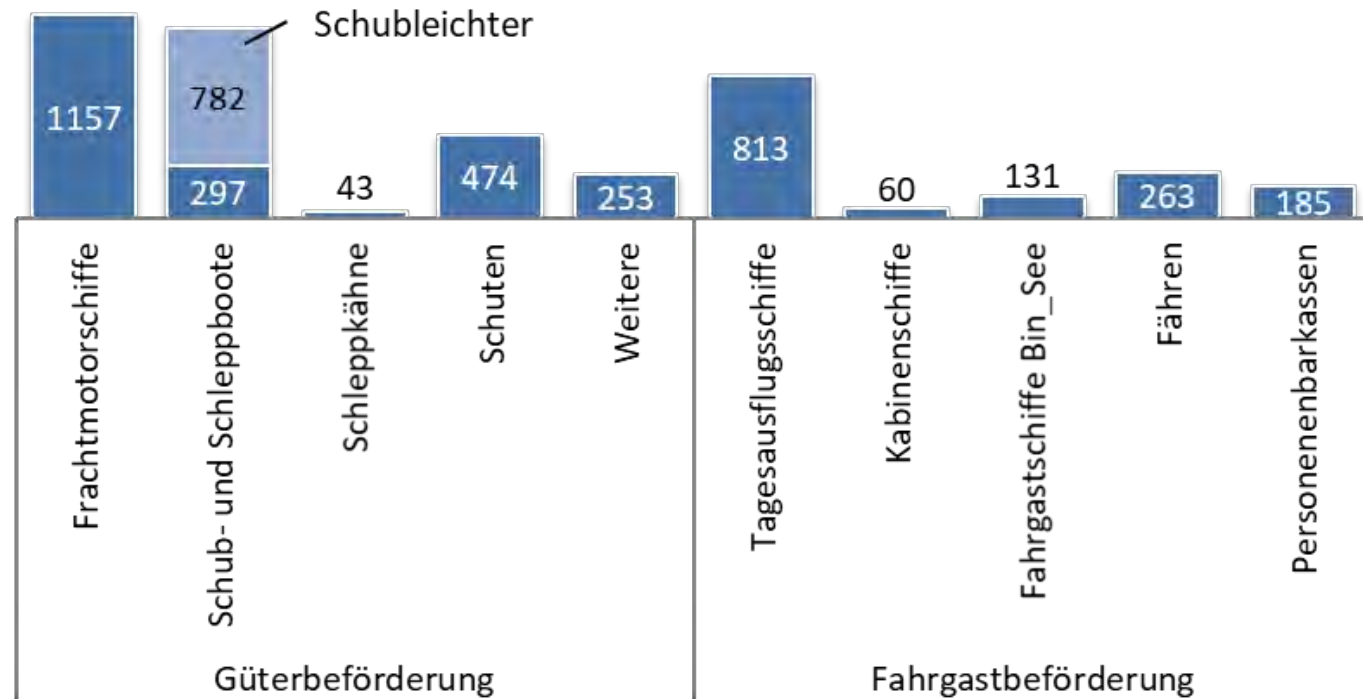


Endenergieverbrauch deutsche Küsten- und Binnenschifffahrt 2016

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

Branchen- und Marktanalyse der Binnenschifffahrt

- Anwendungsfälle
- Marktpotenzialanalyse

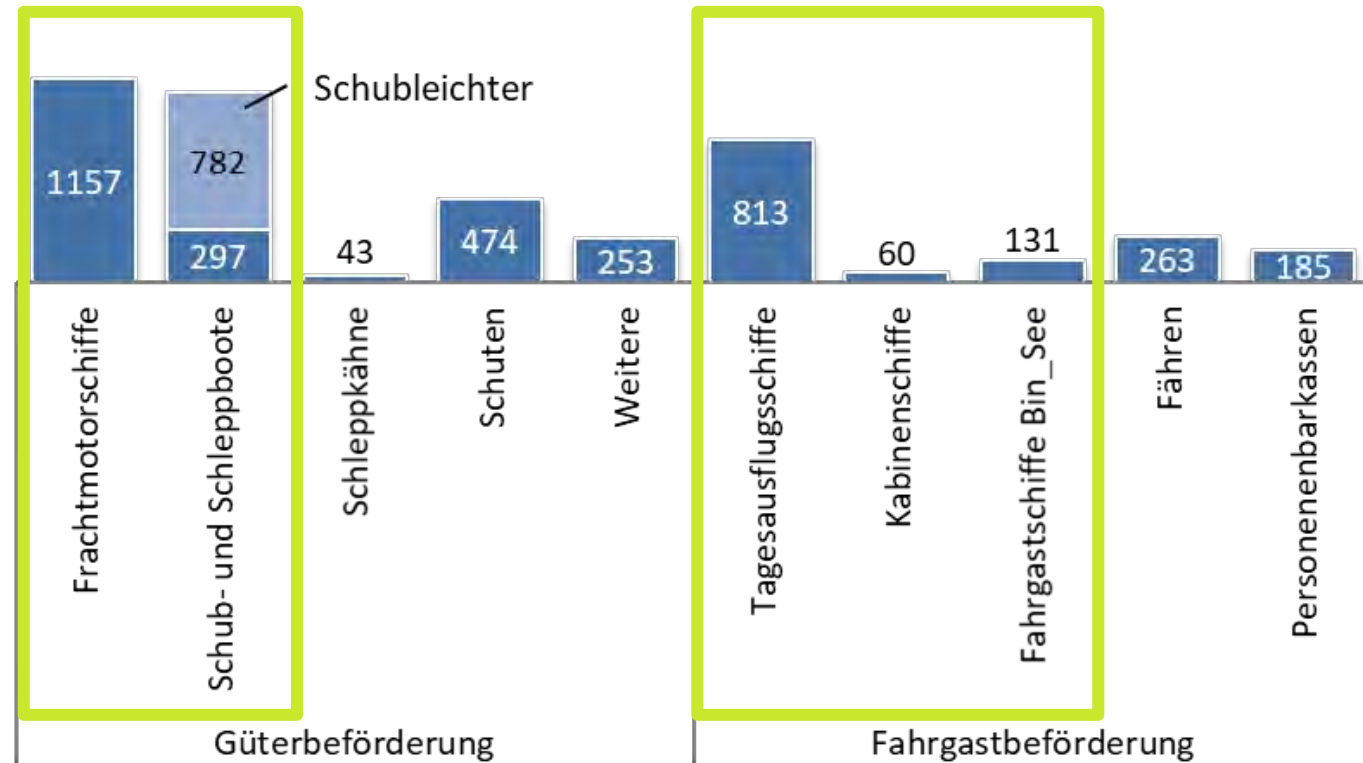


Ludwig-Bölkow-Systemtechnik gmbH, 2019; Datenquelle: WSV, Veränderungen des Schiffsbestandes der deutschen Binnenflotte, Zentrale Binnenschiffsdatei 2017

Registrierte Schiffe in Deutschland 2017
Quelle: WSV 2018

Branchen- und Marktanalyse der Binnenschifffahrt

- Anwendungsfälle
- Marktpotenzialanalyse

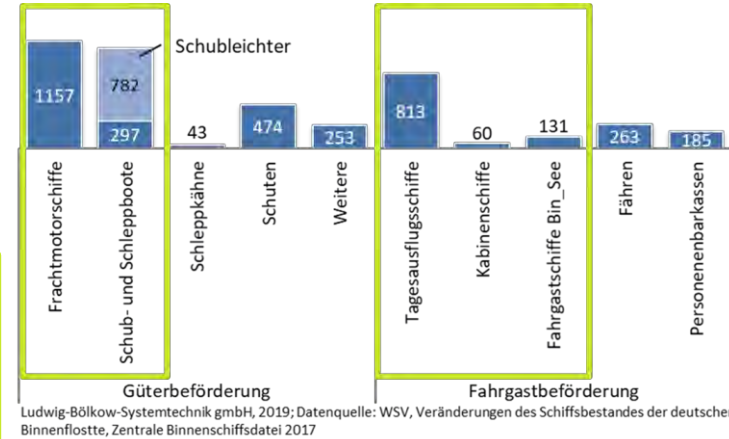
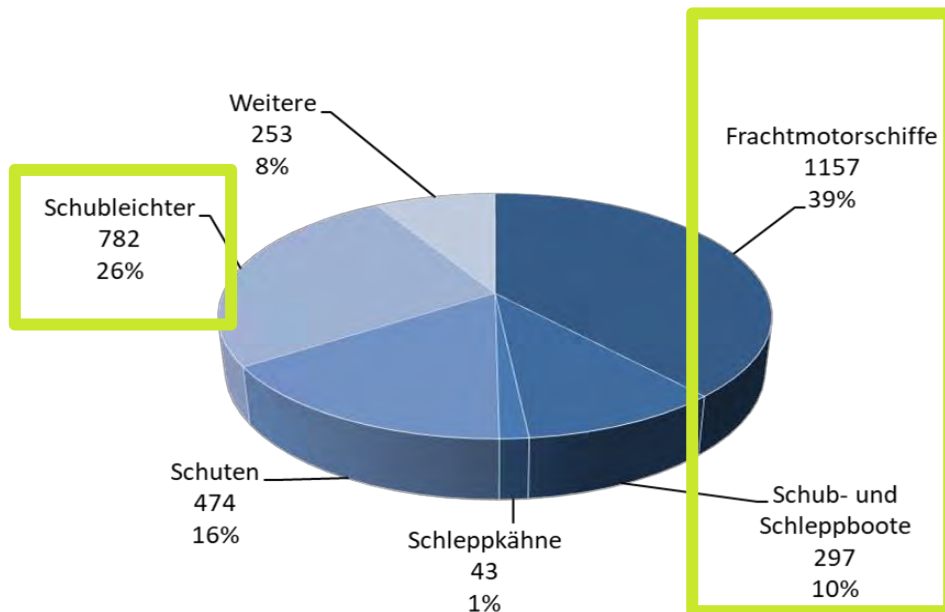


Ludwig-Bölkow-Systemtechnik gmbH, 2019; Datenquelle: WSV, Veränderungen des Schiffsbestandes der deutschen Binnenflotte, Zentrale Binnenschiffsdatei 2017

Registrierte Schiffe in Deutschland 2017
Quelle: WSV 2018

Branchen- und Marktanalyse der Binnenschifffahrt

- Anwendungsfälle
- Marktpotenzialanalyse



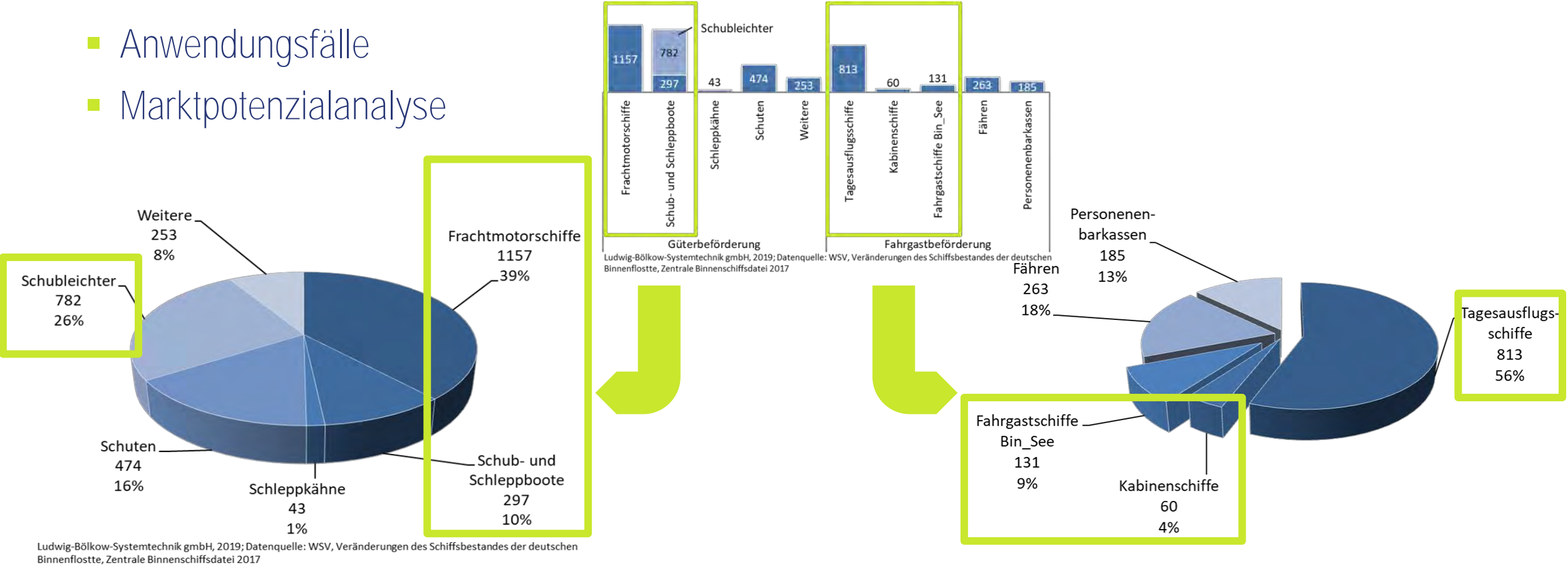
Registrierte Binnenschiffe zur Güterbeförderung

Branchen- und Marktanalyse der Binnenschifffahrt



ludwig bölkow
systemtechnik

- Anwendungsfälle
- Marktpotenzialanalyse



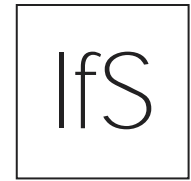
Registrierte Binnenschiffe zur Güterbeförderung

Registrierte Binnenschiffe zur Fahrgastbeförderung

Ausgewählte Beispiele „Anwendungsschwerpunkte“

Zentrale Randbedingungen:

“möglicher
Anwendungs-
schwerpunkt”



ludwig bölkow
systemtechnik

Güter
– EX-EEG-WKA ab 2021
– H₂-Projekt
– H₂-Nebenprodukt
– H₂-Schiene
– H₂-Kaverne

Hafen, Hamburg
– NO₂-Luftreinhaltung
– EX-EEG-WKA ab 2021
– H₂-Nebenprodukt
– H₂-Schiene
– H₂-Kaverne

Güter-Binnen, Braunschweig
– NO₂-Luftreinhaltung
– H₂-Schiene
– EX-EEG-WKA ab 2021
– Helmstedter Revier

Hafen-Binnen, Duisburg
– NO₂-Luftreinhaltung
– H₂-Nutzung Industrie
– H₂-Nebenprodukt
– Rheinisches Revier
– HRS (H₂-Tankstelle)
– H₂-Schiene / Busse

Güter-Binnen, Rhein
– NO₂-Luftreinhaltung
– H₂-Nutzung Industrie
– EX-EEG-WKA ab 2021

Tagesausflug, M-V
– EX-EEG-WKA ab 2021
– H₂-Kaverne

Güter / Tagesausflug, Berlin
– NO₂-Luftreinhaltung
– EX-EEG-WKA ab 2021

Tagesausflug
– H₂-Erzeugung (Leuna)
– Methanolproduktion
– Mitteldeutsches Revier
– NO₂-Luftreinhaltung
– H₂-Kaverne

Tagesausflug / Kabinenschiffe, Main-Donau
– EX-EEG WKA ab 2021 (Würzburg)
– NO₂-Luftreinhaltung (Würzburg, Nürnberg, Regensburg)
– H₂-Erzeugung (Ingolstadt)

Ausgewählte Beispiele „Anwendungsschwerpunkte“

“möglicher
Anwendungs-
schwerpunkt”



IfS

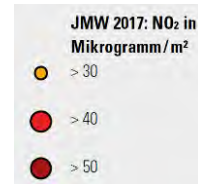


ludwig bölkow
systemtechnik

Zentrale Randbedingungen:

- Umweltaspekte
 - CO₂-Emissionen
 - Schadstoffe

Beispiel: NO_x-Überschreitungen 2017



Güter
– EX-EEG-WKA ab 2021
– H₂-Projekt
– H₂-Nebenprodukt
– H₂-Schiene
– H₂-Kaverne

Hafen, Hamburg
– NO₂-Luftreinhaltung
– EX-EEG-WKA ab 2021
– H₂-Nebenprodukt
– H₂-Schiene
– H₂-Kaverne

**Güter-Binnen,
Braunschweig**
– NO₂-Luftreinhaltung
– H₂-Schiene
– EX-EEG-WKA ab 2021
– Helmstedter Revier

**Hafen-Binnen,
Duisburg**
– NO₂-Luftreinhaltung
– H₂-Nutzung Industrie
– H₂-Nebenprodukt
– Rheinisches Revier
– HRS (H₂-Tankstelle)
– H₂-Schiene / Busse

Güter-Binnen, Rhein
– NO₂-Luftreinhaltung
– H₂-Nutzung Industrie
– EX-EEG-WKA ab 2021

Tagesausflug, M-V
– EX-EEG-WKA ab 2021
– H₂-Kaverne

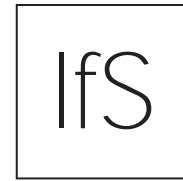
Güter / Tagesausflug, Berlin
– NO₂-Luftreinhaltung
– EX-EEG-WKA ab 2021

Tagesausflug
– H₂-Erzeugung (Leuna)
– Methanolproduktion
– Mitteldeutsches Revier
– NO₂-Luftreinhaltung
– H₂-Kaverne

**Tagesausflug / Kabinenschiffe,
Main-Donau**
– EX-EEG WKA ab 2021 (Würzburg)
– NO₂-Luftreinhaltung (Würzburg,
Nürnberg, Regensburg)
– H₂-Erzeugung (Ingolstadt)

Ausgewählte Beispiele „Anwendungsschwerpunkte“

“möglicher
Anwendungs-
schwerpunkt”

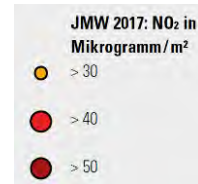


ludwig bölkow
systemtechnik

Zentrale Randbedingungen:

- Umweltaspekte
 - CO₂-Emissionen
 - Schadstoffe

Beispiel: NO_x-Überschreitungen 2017

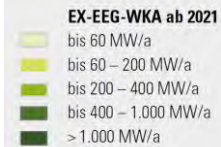


- Wasserstoffverfügbarkeit

H₂-Erzeugungsanlagen



Wind, PV Anlagen ohne
EEG-Förderung ab 2021



H₂-PtG Anlagen



Güter
– EX-EEG-WKA ab 2021
– H₂-Projekt
– H₂-Nebenprodukt
– H₂-Schiene
– H₂-Kaverne

Hafen, Hamburg
– NO₂-Luftreinhaltung
– EX-EEG-WKA ab 2021
– H₂-Nebenprodukt
– H₂-Schiene
– H₂-Kaverne

**Güter-Binnen,
Braunschweig**
– NO₂-Luftreinhaltung
– H₂-Schiene
– EX-EEG-WKA ab 2021
– Helmstedter Revier

**Hafen-Binnen,
Duisburg**
– NO₂-Luftreinhaltung
– H₂-Nutzung Industrie
– H₂-Nebenprodukt
– Rheinisches Revier
– HRS (H₂-Tankstelle)
– H₂-Schiene / Busse

Güter-Binnen, Rhein
– NO₂-Luftreinhaltung
– H₂-Nutzung Industrie
– EX-EEG-WKA ab 2021

Tagesausflug, M-V
– EX-EEG-WKA ab 2021
– H₂-Kaverne

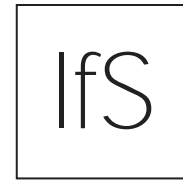
Güter/Tagesausflug, Berlin
– NO₂-Luftreinhaltung
– EX-EEG-WKA ab 2021

Tagesausflug
– H₂-Erzeugung (Leuna)
– Methanolproduktion
– Mitteldeutsches Revier
– NO₂-Luftreinhaltung
– H₂-Kaverne

**Tagesausflug / Kabinenschiffe,
Main-Donau**
– EX-EEG WKA ab 2021 (Würzburg)
– NO₂-Luftreinhaltung (Würzburg,
Nürnberg, Regensburg)
– H₂-Erzeugung (Ingolstadt)

Ausgewählte Beispiele „Anwendungsschwerpunkte“

“möglicher
Anwendungs-
schwerpunkt”

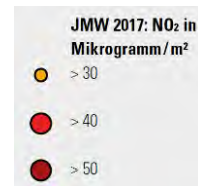


ludwig bölkow
systemtechnik

Zentrale Randbedingungen:

- Umweltaspekte
 - CO₂-Emissionen
 - Schadstoffe

Beispiel: NO_x-Überschreitungen 2017

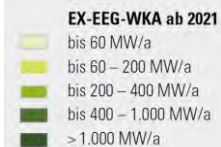


- Wasserstoffverfügbarkeit

H₂-Erzeugungsanlagen



Wind, PV Anlagen ohne EEG-Förderung ab 2021



H₂/PtG Anlagen



- Synergien mit anderen H₂-Anwendungen

Beispiel: Schienenverkehr



- Schiffsverkehre (Häfen, Logistik ...)

Güter
– EX-EEG-WKA ab 2021
– H₂-Projekt
– H₂-Nebenprodukt
– H₂-Schiene
– H₂-Kaverne

Hafen, Hamburg
– NO₂-Luftreinhaltung
– EX-EEG-WKA ab 2021
– H₂-Nebenprodukt
– H₂-Schiene
– H₂-Kaverne

Güter-Binnen, Braunschweig
– NO₂-Luftreinhaltung
– H₂-Schiene
– EX-EEG-WKA ab 2021
– Helmstedter Revier

Hafen-Binnen, Duisburg
– NO₂-Luftreinhaltung
– H₂-Nutzung Industrie
– H₂-Nebenprodukt
– Rheinisches Revier
– HRS (H₂-Tankstelle)
– H₂-Schiene / Busse

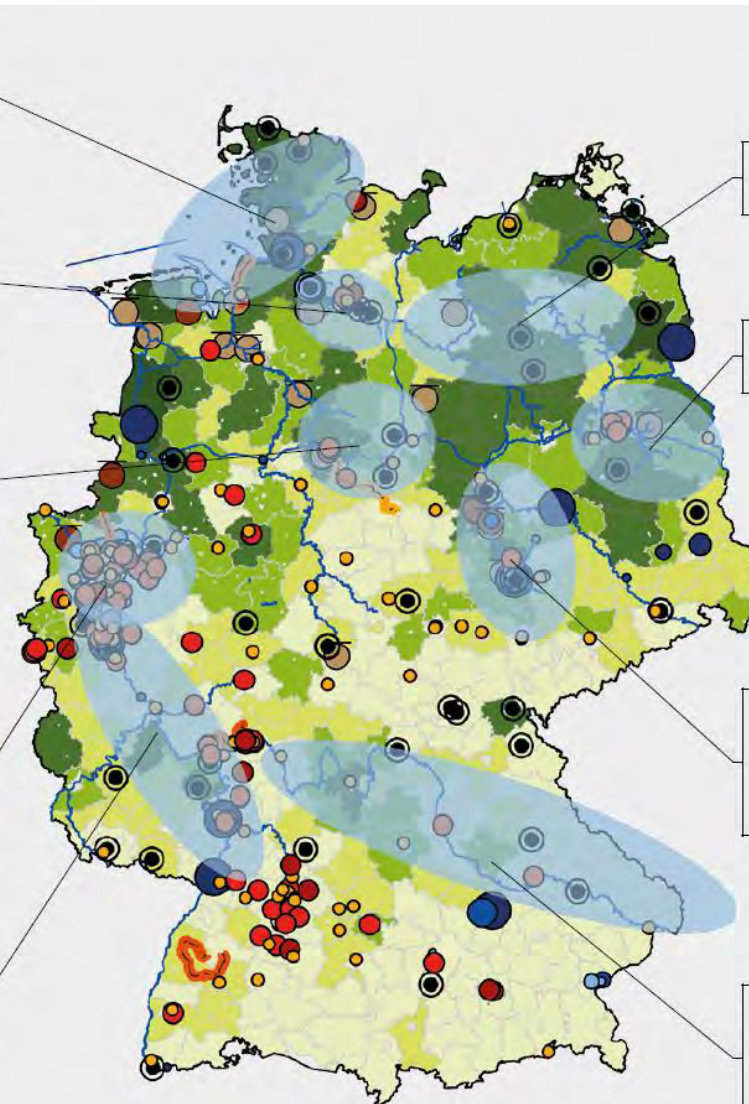
Güter-Binnen, Rhein
– NO₂-Luftreinhaltung
– H₂-Nutzung Industrie
– EX-EEG-WKA ab 2021

Tagesausflug, M-V
– EX-EEG-WKA ab 2021
– H₂-Kaverne

Güter/Tagesausflug, Berlin
– NO₂-Luftreinhaltung
– EX-EEG-WKA ab 2021

Tagesausflug
– H₂-Erzeugung (Leuna)
– Methanolproduktion
– Mitteldeutsches Revier
– NO₂-Luftreinhaltung
– H₂-Kaverne

Tagesausflug / Kabinenschiffe, Main-Donau
– EX-EEG WKA ab 2021 (Würzburg)
– NO₂-Luftreinhaltung (Würzburg, Nürnberg, Regensburg)
– H₂-Erzeugung (Ingolstadt)



Brennstoffzellensysteme für Referenzschiffe



Quelle: J. Friedrich



Quelle: Holbach 2018



Quelle: Stern&Kreisschiffahrt Berlin



Quelle: Viking 2019

	Gütermotorschiff	Schubverband	Tagesausflugsschiff	Kabinenschiff
CGH ₂ (35 / 50 / 70 MPa)	PEMFC	PEMFC	PEMFC	
LH ₂	PEMFC	PEMFC		PEMFC
LOHC	PEMFC	PEMFC	PEMFC	PEMFC
E-MeOH	HT-PEMFC	HT-PEMFC	HT-PEMFC	HT-PEMFC
E-LNG	SOFC	SOFC		
E-Diesel + Ammoniak	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)

Bunkern von alternativen Kraftstoffen

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



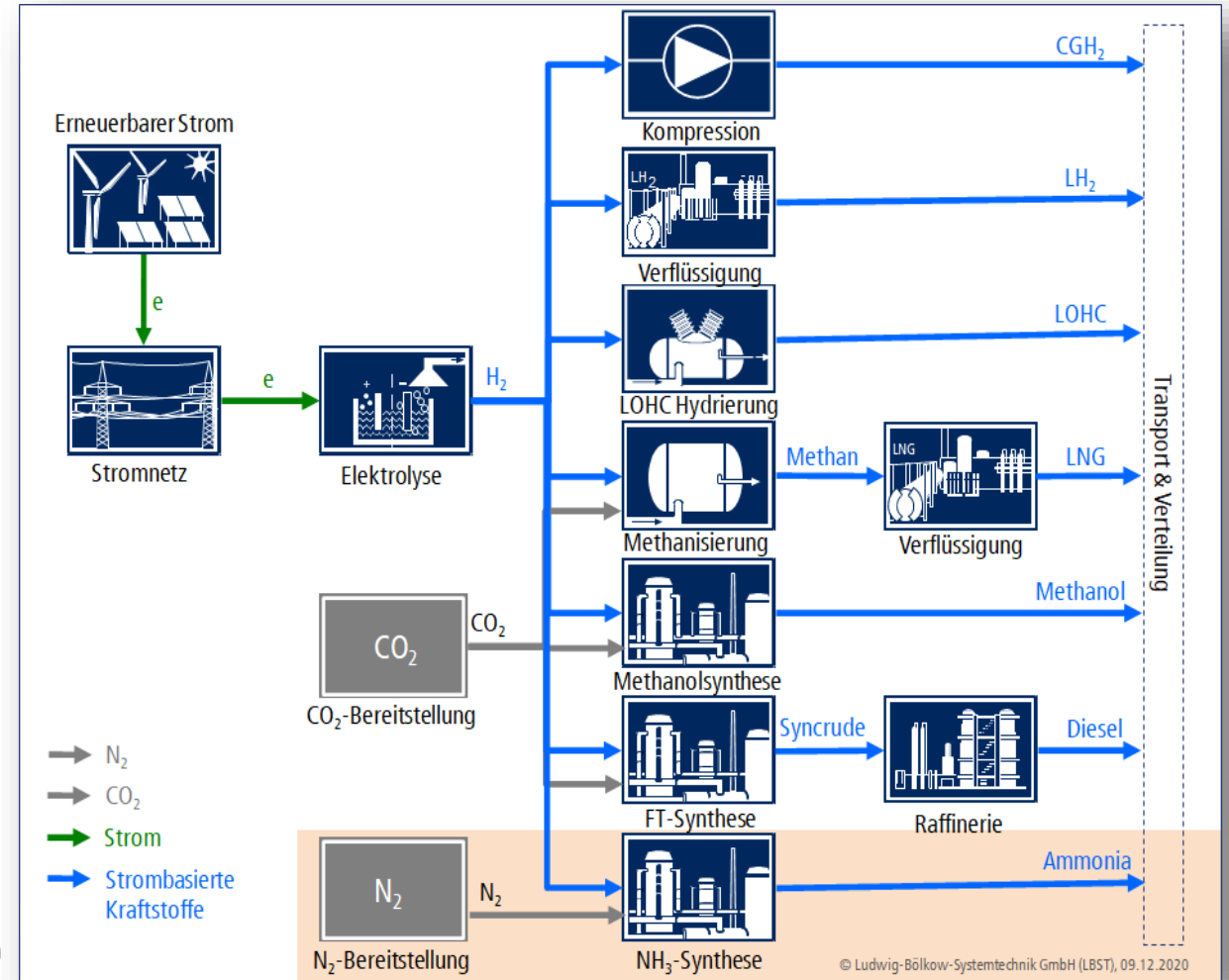
Ship-to-Ship (STS)
Quelle: DNV AS



Truck-to-Ship (TTS)
Quelle: www.bonapart.de

Bereitstellungspfade

- Sieben Kraftstoffe aus erneuerbarem Strom:
 - Wasserstoff (CGH₂ 35/50/70 MPa, LH₂, LOHC)
 - Methan
 - Methanol
 - Diesel
 - Nachrichtlich: Ammoniak
- 100% EE-Mix aus Wind + PV (DE)
- CO₂ aus Biogasaufbereitung (2020)
CO₂ aus der Luft (2030)
- Vollkosten neuer Anlagen (EE-Strom, Kraftstoffbereitstellung, Bunkerung, Brennstoffzellen)

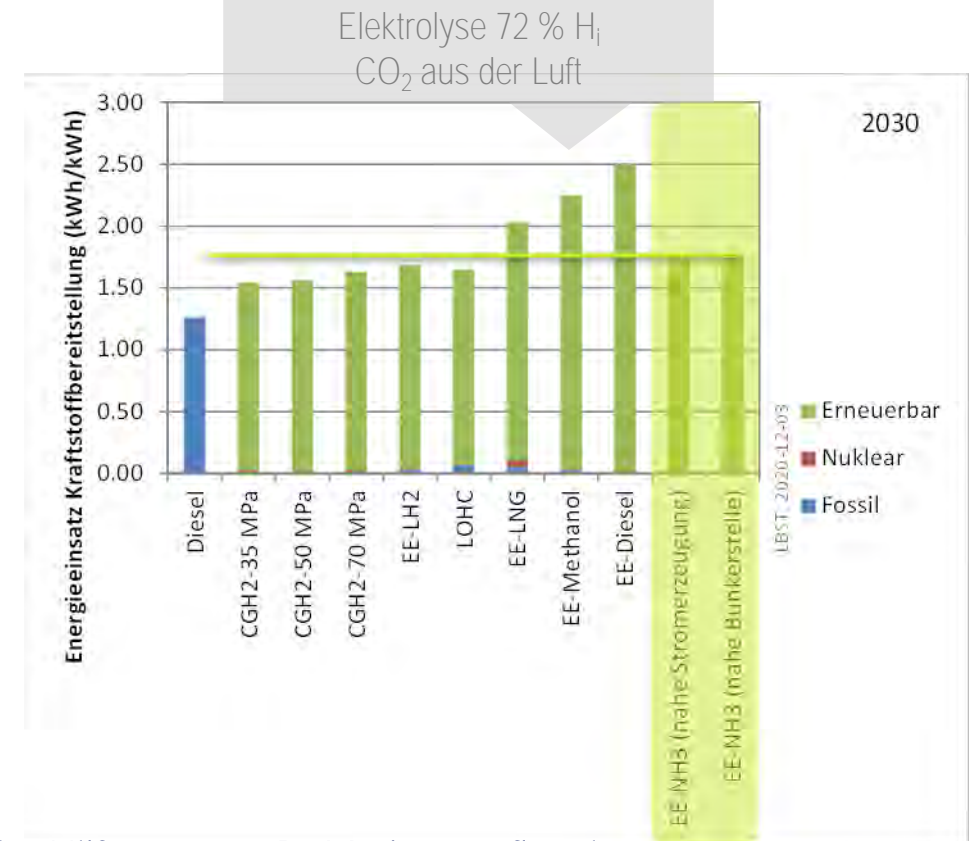
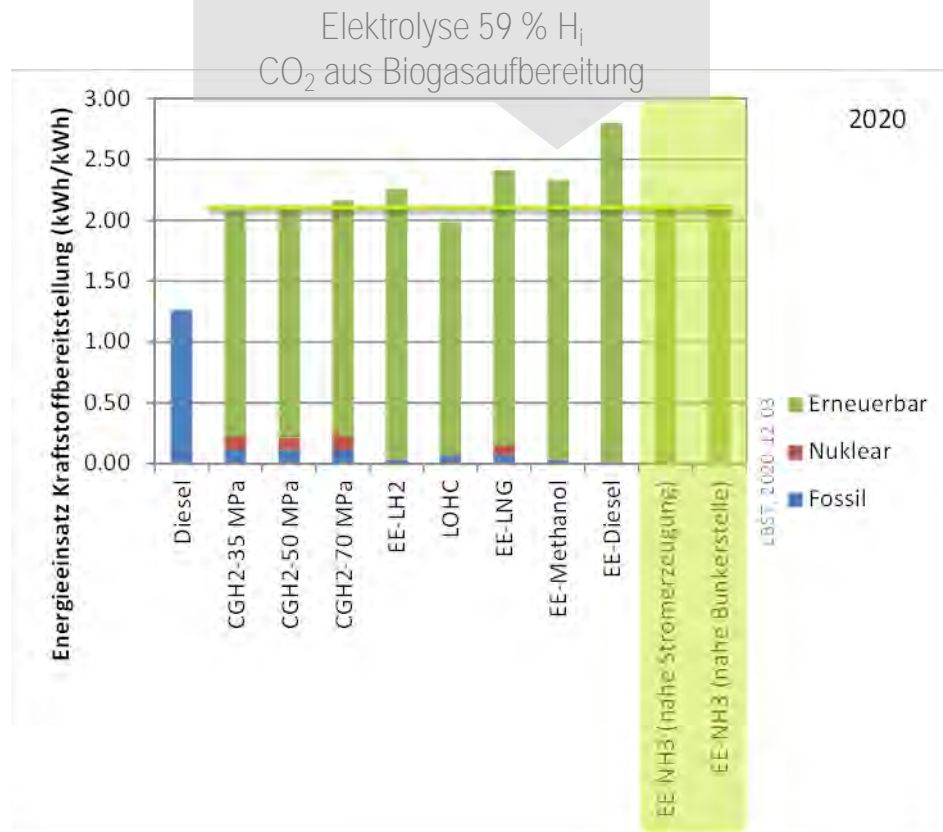


Treibhausgasemissionen (Well-to-Tank) (ggü. fossilem Diesel)

- 2020: 92 – 99%
- 2030: 94 – 99%

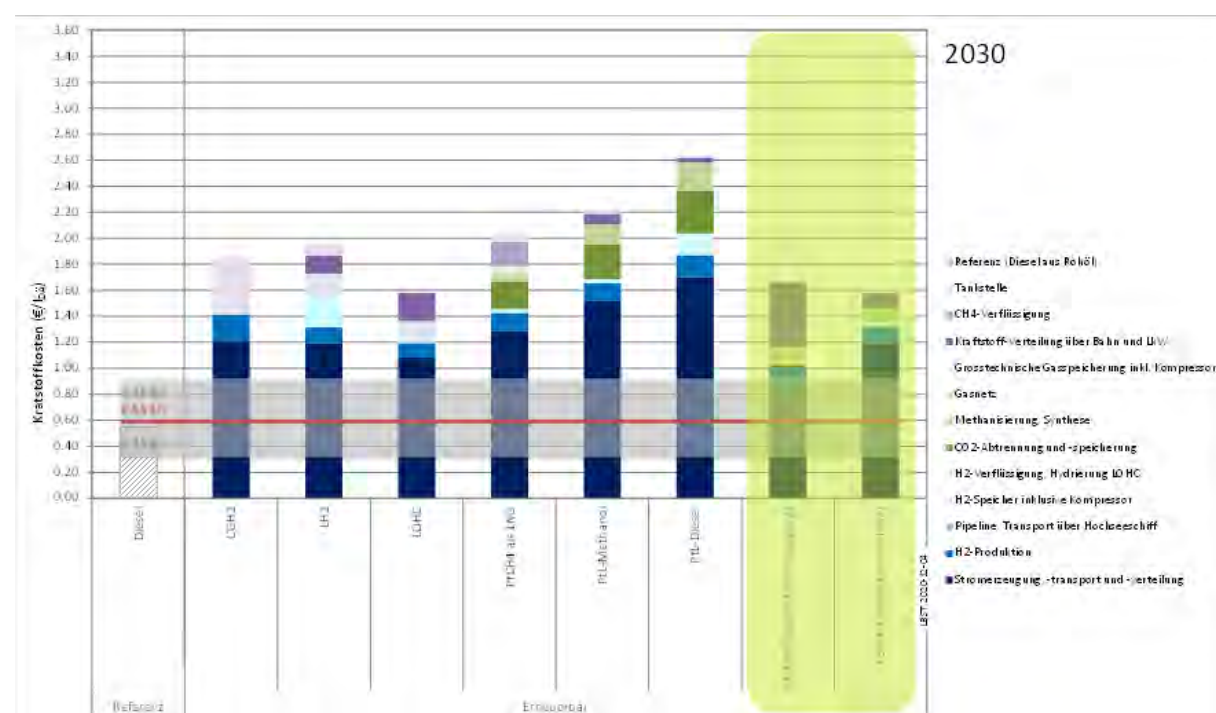
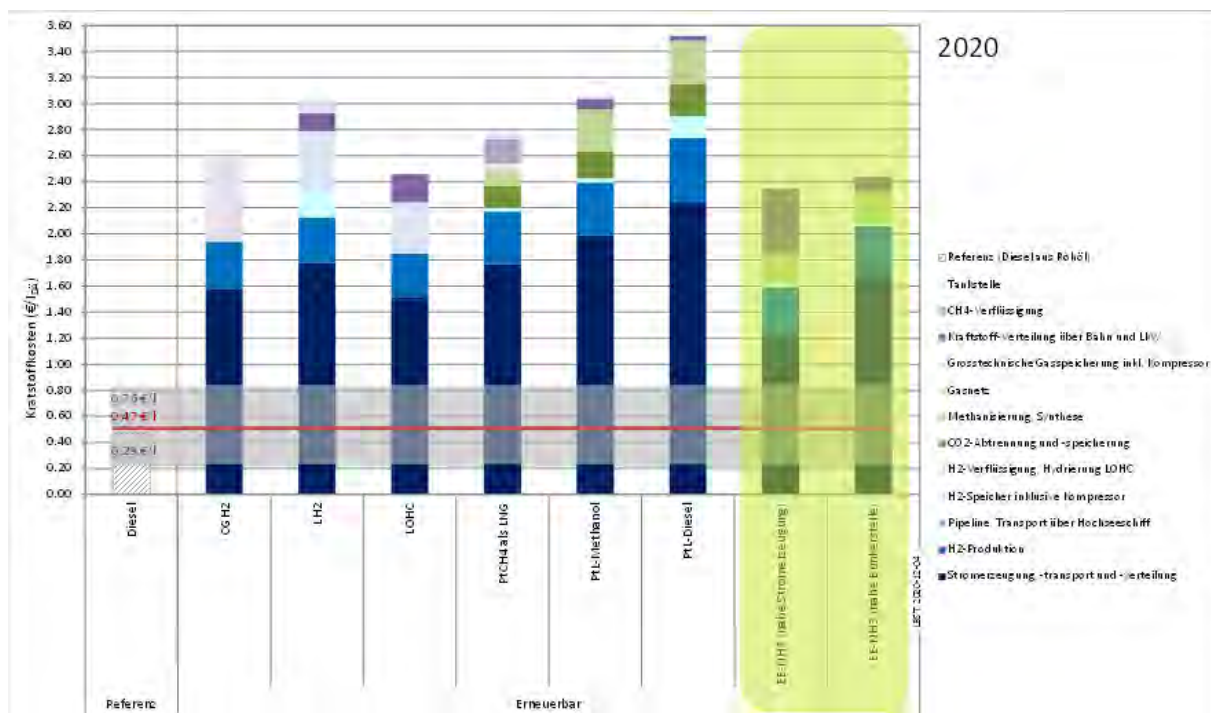


Kumulierter Energieaufwand „Well-to-Tank“



- Fossile und nukleare Energieanteile aufgrund der Annahme von Strommix für Hilfsstrom, z.B. Methanverflüssigung.
- Bereitstellung von H₂, LOHC und NH₃ braucht weniger Energie als die Synthesekraftstoffe (EE-LNG, EE-Methanol, EE-Diesel).
- CGH₂-Druckniveau hat insgesamt kaum Einfluss.

Kraftstoffkosten „Well-to-Tank“ 2020/2030



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

⇒ Der geringe Energiebedarf für Erzeugung & Transport von NH₃ sind wesentliche Gründe für aktuell in den Fokus gerückte Diskussion um NH₃ als Kraftstoff bzw. als Energievektor über sehr große Distanzen.

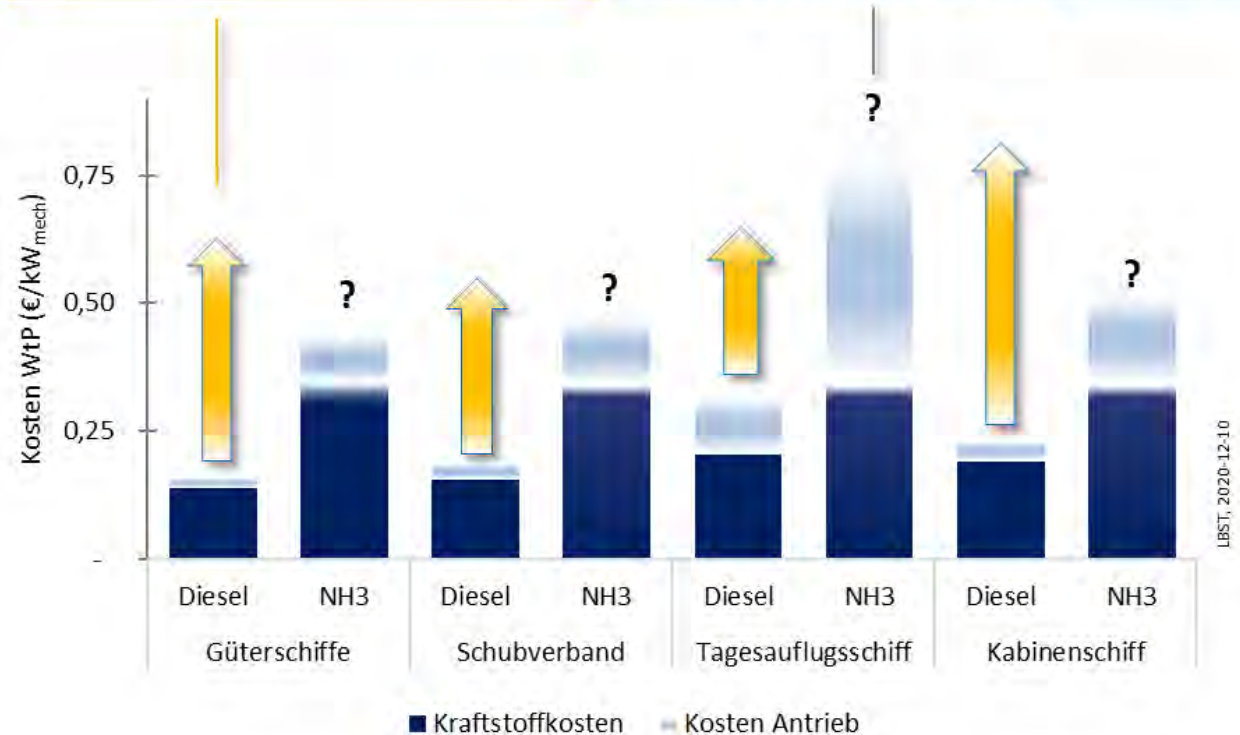
- **Kosten „Well-to-Propeller“**
= Kraftstoff + Infrastruktur
+ Antriebssystem
- In ShipFuel-Studie: CGH₂,
Hier: NH₃

Potentiale für Kostensteigerungen bei Dieselsystemen 2030:

Antrieb: Diesel-Hybridtechnologie, zusätzlich Maßnahmen (PM, NOx)
Kraftstoff: CO₂-Besteuerung, -Abgaben

Unsicherheiten bei der Kostenentwicklung bei NH₃-Brennstoffzellen-Systemen bis 2030:

Antrieb: Niedriger technischer Reifegrad (TRL = 4-5)
Kraftstoff: Anforderungen an Sicherheit und Genehmigung (Schiff-/hafenseitig)



- 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 für BZ in Binnenschifffahrt erforderlich.
- ⇒ Für NH_3 fehlt noch die sicherheitspezifische Einstufung in öffentlicher Nutzung.
- ⇒ Spezifische Risiken und hohes Folgenpotenzial bei Einsatz von NH_3 in energiewirtschaftlichen Verwendungen bedarf gesonderter Analysen, wie z.B. Technikfolgenabschätzung

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

