

CLIMATE CHANGE

25/2023

Final report

Paris Agreement: development of measures and activities for climate-friendly aviation and maritime transport

by:

Martin Cames, Jakob Graichen, Nora Wissner
Öko-Institut, Berlin

Jasper Faber, Dagmar Nelissen, Reinier van der Veen
CE Delft, Delft

Janina Scheelhaase, Sven Maertens, Wolfgang Grimme
DLR, Köln

Brigitte Behrends
Marena, Jever

publisher:

German Environment Agency

CLIMATE CHANGE 25/2023

Ressortforschungsplan of the Federal Ministry for the
Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and
Consumer Protection

Project No. (FKZ) 3718 41 132 0

Report No. (UBA-FB) FB001064/ENG

Final report

Paris Agreement: development of measures and activities for climate-friendly aviation and maritime transport

by

Martin Cames, Jakob Graichen, Nora Wissner
Öko-Institut, Berlin

Jasper Faber, Dagmar Nelissen, Reinier van der Veen
CE Delft, Delft

Janina Scheelhaase, Sven Maertens, Wolfgang Grimme
DLR, Köln


Brigitte Behrends
Marena, Jever

On behalf of the German Environment Agency

Imprint

Publisher

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

/umweltbundesamt.de

/umweltbundesamt

Report performed by:

Oeko-Institut
Borkumstr. 2
10389 Berlin
Germany

Report completed in:

December 2021

Edited by:

Section I 2.2 Pollution Abatement and Energy Saving in Transport
Reinhard Herbener

Publication as pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, June 2023

The responsibility for the content of this publication lies with the author(s).

Abstract: Paris Agreement: Developing measures and activities for climate-friendly aviation and maritime transport

Aviation and maritime transport are not explicitly mentioned in the Paris Agreement. In Article 4, however, the Parties aim to achieve a balance between anthropogenic greenhouse gas emissions and sinks – in other words, complete decarbonisation and climate neutrality – in the second half of this century. Since emissions from aviation and maritime transport are clearly anthropogenic, they fall within the scope of the Paris Agreement goals even without being explicitly mentioned.

Within the scope of this project, BMU and UBA received comprehensive and timely support on many issues relating to greenhouse gas mitigation in international aviation and maritime transport. This support ranged from quantitative analysis of current proposals for policies or instruments to ad hoc support in and between negotiations of international bodies (ICAO, IMO, EU, etc.) and to further development of existing instruments or development of their own policy proposals.

Over the course of this project, the discussion about greenhouse gas reductions in aviation and maritime transport moved somewhat towards a reduction path that is compatible with the Paris Agreement. This project has contributed to that change, thereby fulfilling its original objective. Nevertheless, international aviation and maritime transport are still far off a reduction path that is compatible with the Paris Agreement. With this in mind, efforts to make international agreements with ambitious targets and instruments must not diminish.

Kurzbeschreibung: Übereinkommen von Paris: Entwicklung von Maßnahmen und Aktivitäten für einen klimaverträglichen Luft- und Seeverkehr

Der Luft- und Seeverkehr ist im Übereinkommen von Paris nicht explizit erwähnt, in Artikel 4 streben die Staaten jedoch an, in der 2. Hälfte dieses Jahrhunderts einen Ausgleich zwischen anthropogenen Treibhausgasemissionen und Senken oder mit anderen Worten die vollständige Dekarbonisierung bzw. Klimaneutralität zu erreichen. Da die Emissionen des Luft- und Seeverkehrs eindeutig anthropogen sind, fallen sie auch ohne explizite Erwähnung unter die Ziele des Paris Agreements.

Im Rahmen des Vorhabens wurden BMU und UBA umfangreich und zeitnah zu vielen Fragen im Kontext Treibhausgasminderung im internationalen Luft- und Seeverkehr unterstützt. Die Unterstützung reichte von der quantitativen Analyse von aktuellen Vorschlägen für Politiken oder Instrumente über die Ad-hoc-Unterstützung bei und zwischen den Verhandlungen internationaler Gremien (ICAO, IMO, EU, etc.) bis hin zur Weiterentwicklung bestehender Instrumente oder Entwicklung eigener Politikvorschläge.

Die Diskussion um Treibhausgasminderungen im Luft- und Seeverkehr konnte während der Laufzeit dieses Vorhabens ein Stück weit in Richtung des mit dem Übereinkommen von Paris kompatiblen Minderungspfades vorangetrieben werden. Das Vorhaben hat dazu eigene Beiträge geleistet und somit seine ursprüngliche Zielsetzung erfüllt. Gleichwohl sind der Internationale Luft- und Seeverkehr noch weit vom Paris-kompatiblen Minderungspfad entfernt. Insofern dürfen die Anstrengungen, internationale Vereinbarungen mit ambitionierten Zielen und Instrumenten abzuschließen, nicht nachlassen.

Table of content

List of figures	9
List of tables	9
List of abbreviations	10
Summary	13
Objective	13
Greenhouse gas-relevant developments in aviation and maritime transport.....	13
Background.....	13
Emission trends	14
The role of international aviation and maritime transport under the UNFCCC.....	15
Talanoa Dialogue.....	16
Global stocktaking	16
Data	17
Results	17
Aviation and climate protection – considerable need for action.....	18
Power-to-Liquids (PTL): Sustainable fuels for aviation	18
Aviation of the future.....	18
Aviation: First analysis of the EU's “Fit for 55” package	19
Maritime Transport: First analysis of the EU's “Fit for 55” package	19
Climate change targets for aviation and maritime transport in the EU's “Fit for 55” package	20
Biofuels for shipping.....	20
Conclusion	20
Literature.....	21
Zusammenfassung.....	22
Zielsetzung.....	22
Treibhausgasrelevante Entwicklungen im Luft- und Seeverkehr.....	22
Ausgangslage.....	22
Emissionstrends.....	23
Die Rolle des internationalen Luft- und Seeverkehrs unter der UNFCCC	25
Talanoa-Dialog.....	25
Globale Bestandsaufnahme	26
Daten	27
Ergebnis	27
Luftverkehr und Klimaschutz – erheblicher Handlungsbedarf.....	28

Power-to-Liquids (PTL): Nachhaltige Kraftstoffe für den Luftverkehr	28
Luftverkehr der Zukunft	28
Luftverkehr: Erste Analyse des ‚Fit for 55‘-Pakets der EU.....	29
Seeverkehr: Erste Analyse des ‚Fit for 55‘-Pakets der EU	29
Klimaziele für Luft- und Seeverkehr im Rahmen des ‚Fit for 55‘-Pakets der EU	30
Biokraftstoff für die Schifffahrt	30
Fazit	30
Literatur.....	31
1 Luftverkehr und Klimaschutz – erheblicher Handlungsbedarf.....	33
1.1 Ausgangslage.....	33
1.2 Handlungsbedarf.....	33
1.3 Begründung.....	34
2 Power-to-Liquids (PTL): Sustainable Fuels for Aviation.....	36
3 Luftverkehr der Zukunft	41
3.1 Erster Tag (6. November 2019).....	41
3.1.1 Heute unser morgen besser machen.....	41
3.1.2 Auf dem Weg zum nachhaltigen Luftverkehr: Herausforderungen und Lösungen.....	42
3.1.3 Workshops	43
Klimaschutz – Kurs auf Paris nehmen	43
Fluglärm effektiv reduzieren	44
Luftqualität: Im Flughafenumfeld für saubere Luft sorgen.....	45
Suffizienz: Alternativen zum Fliegen stärken	46
3.1.4 Wie oft, wohin und überhaupt: Ist Fliegen in Zukunft ökologisch noch vertretbar	46
3.2 Zweiter Tag (7. November 2019)	47
3.2.1 Chancen nutzen, Hürden überwinden: Auf dem Weg zum umwelt- und klimaschonenden Luftverkehr	47
3.2.2 Fishbowls	47
Wie reduzieren wir lokale Umweltwirkungen.....	47
Wie optimieren wir das Flughafensystem ökologisch?.....	48
Wie bringen wir PtL in den Markt	49
Wie setzen wir ökonomische Anreize richtig?	50
Wie machen wir weniger Fliegen möglich?	51
3.2.3 Klima- und Lärmschutz im Luftverkehr: Die Zukunft des Fliegens.....	51
3.2.4 Umweltschonender Luftverkehr 2050: Was wir heute schon tun können	52
4 Climate targets for aviation and shipping in context of the EU’s ‘Fit for 55’-package.....	54

4.1	Introduction	54
4.2	Target terminology	54
4.3	Aviation	55
4.3.1	Ambition and policies at international level.....	55
4.3.2	Aviation targets at political level and of industry stakeholders	56
4.4	Shipping.....	57
4.4.1	Ambition and policies at international level.....	57
4.4.2	Shipping targets at political level and of industry stakeholders.....	59
4.5	Paris-compatible targets for aviation and shipping.....	61
4.6	Conclusion and recommendations	63
4.7	References	64
5	Biofuel for shipping	66
5.1	Introduction	66
5.1.1	Biomass feedstocks.....	66
5.1.2	Conversion routes and biofuels	67
5.1.3	Sustainability.....	69
5.2	Current use.....	73
5.3	Potential availability.....	76
5.4	Potential demand.....	79
5.4.1	EU-wide demand and supply	80
5.4.2	Demand from maritime shipping.....	81
5.4.3	Demand from other sectors.....	81
5.4.4	Biomass availability for maritime shipping	82
5.5	Conclusions	85
5.6	References	85

List of figures

Figure 1	Historical CO ₂ emissions of international aviation and maritime transport compared to Germany	15
Figure 2	Historische CO ₂ -Emissionen des internationalen Luft- und Seeverkehrs im Vergleich zu Deutschland	24
Figure 3	Biofuel conversion routes for maritime shipping fuels	67
Figure 4	Life-cycle GHG emissions of alternative liquid marine fuels and feedstocks, by life-cycle stage	72
Figure 5	Biomass balance in the EU-28, in 1000 ton of dry matter	74
Figure 6	Biofuel consumption in the EU, in ktoe/year	76
Figure 7	Sustainable biomass potential in the EU	78
Figure 8	2050 biomass supply and demand for materials and energy in the EU (primary energy equivalents in EJ per year).....	81
Figure 9	Break-even biomass prices at which the use of biomass is competitive against an alternative climate-neutral option in different sectors in 2050.....	84

List of tables

Table 1	Climate-related targets of public and global entities in the aviation sector.....	56
Table 2	Climate-related targets of the aviation industry (non-exhaustive list)	57
Table 3	Climate-related targets of public and global entities in the shipping sector	59
Table 4	Climate-related targets of the shipping industry (non-exhaustive list)	60
Table 5	Targets for international/EU aviation.....	61
Table 6	Targets for international/EU shipping.....	62
Table 7	Classification of biomass feedstocks and examples per category.....	67
Table 8	Biofuel categories in the context of the RED and related biomass feedstocks.....	69
Table 9	Rules in the RED II and in the proposed RED II revision	70
Table 10	Literature study results of downstream air pollutant emission reductions from using biofuels.....	72
Table 11	Current biomass supply flows and consumption in EU27+UK, excluding imports, expressed in primary energy of the biomass	75
Table 12	Estimated sustainable biomass potential in the EU in 2030 and 2050 (EJ).....	77
Table 13	Estimated realistic biomass demand and maximum theoretical demand in the EU per sector, in 2050.....	82

List of abbreviations

°C	Degrees Celsius
ADF	Arbeitsgemeinschaft Deutscher Fluglärmkommissionen
BAU	Business-as-usual
BC	Black carbon
BDL	Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft
BER	Flughafen Berlin Brandenburg
BMU	Federal Ministry for the Environment
CAEP	Committee on Aviation Environmental Protection
CEU	Council of the European Union
CH₄	Methane
CII	Carbon Intensity Indicator
CNG	Carbon neutral growth
CO₂	Carbon dioxide
CO₂e	Carbon dioxide equivalent
COP	Conference of the Parties
CORSIA	Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation
CS	Constant share of emissions
ct/l	Cents per litre
dB(A)	Sound level of compressed air
DCS	Data Collection System
DME	Dimethyl ether
EAFO	European Alternative Fuels Observatory
EASA	European Union Aviation Safety Agency
EEA	European Environment Agency
EEDI	Energy Efficiency Design Index
EEXI	Energy Efficiency Index for Existing Ships
EJ/a	Exajoule per year
EU ETS	EU Emissions Trading Scheme
FAME	Fatty acid methyl ester
FT	Fischer-Tropsch
GHG	Greenhouse gas
GJ	Gigajoule
GST	Global Stocktake
Gt	Gigatons
GWP	Global warming potential
HEFA	Hydrotreated esters and fatty acids
HFO	Heavy fuel oil
HTL	Hydrothermal liquefaction

HVO	Hydrotreated vegetable oil
ICAO	International Civil Aviation Organization
ICCT	International Council on Clean Transportation
ICS	International Shipping Chamber
IEA	International Energy Agency
ILUC	Indirect land use change
IMO	International Maritime Organization
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
JRC	Joint Research Centre
ktoe/year	Thousand ton of oil equivalent per year
kWh	Kilowatt hours (measuring units for energy)
LBM	Liquefied biomethane
LFO	Light fuel oil
LNG	Liquefied Natural Gas
LR	Lloyd's Register
LSHFO	Low-sulphur heavy fuel oil
MBM	Market-based measure
MDO	Marine diesel oil
MEPC	Marine Environment Protection Committee
MGO	Marine gasoil
MJ/kg	Megajoules per kilogram
Mrd.	Milliarde
Mt/t	Megaton/ton
MwSt.	Mehrwertsteuer
N₂O	Nitrous oxide (laughing gas)
NDC	Nationally Determined Contributions (in Paris-Agreement)
nm	Nanometre
NO_x	Nitrogen oxides
PM	Particle matter
PtL	Power-to-Liquid (any power-based liquid fuels)
PtX	Power-to-X
RCB	Remaining carbon budget
RED	Renewable Energy Directive
RFNBO	of renewable fuels of non-biological origin
ROG	Raumordnungsgesetz
SAF	Sustainable aviation fuel
SBSTA	Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice
SO_x	Sulphur oxides
THG	Treibhausgas

TXL	Flughafen Berlin-Tegel
UBA	Umweltbundesamt
UCO	Used cooking oil
UFP	Ultrafeine Partikel
UK	United Kingdom
ULSD	Ultra-low-sulphur diesel
UMAS	University Maritime Advisory Services
UNEP	United Nations Environment Programme
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VAT	Value added tax
WHO	World Health Organization
WWF	World Wide Fund For Nature

Summary

In the final document of the 2015 conference of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), the Paris Agreement, the Parties commit to reducing greenhouse gas emissions so that the increase in global temperature remains significantly below 2°C and, if possible, below 1.5°C compared to pre-industrial levels (UNFCCC 2015, Article 4.1). Although aviation and maritime transport are not explicitly mentioned in the Paris Agreement, Article 4 states the aim of achieving a balance between anthropogenic greenhouse gas emissions and sinks – in other words, complete decarbonisation and climate neutrality – in the second half of this century. Since emissions from aviation and maritime transport are clearly anthropogenic, they fall within the scope of the Paris Agreement goals even without being explicitly mentioned. Furthermore, studies (e.g. Öko-Institut 2015) show that the goals of the Paris Agreement cannot be achieved without aviation and maritime transport making appropriate contributions to emission reductions. If we also consider that in both sectors the demand for transport services and greenhouse gas emissions continue to grow annually at rates of between 4% and 7% (IEA 2022), it becomes clear that decarbonisation of both sectors is an ambitious task.

Objective

In view of these challenges, the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU) and the German Federal Environment Agency (UBA) aimed in 2018 to ensure that both sectors follow development paths that guarantee appropriate contributions to achieving the Paris Agreement's temperature goals. For this purpose, further policies and instruments need to be developed and implemented, which take into account not only CO₂ emissions but also the climate impacts of non-CO₂ emissions in both sectors. This project should support BMU and UBA in developing proposals for these policies and instruments, quantifying their impacts and - based on this work - supporting BMU and UBA in advancing discussions on greenhouse gas mitigation in UNFCCC, ICAO, IMO and the EU in this direction. In addition, the research results on greenhouse gas reductions in the aviation sector offered in various projects should be presented to a broader public as part of the event series "UBA Forum mobile & sustainable."

Greenhouse gas-relevant developments in aviation and maritime transport

Background

At the start of this project in 2018, the situation with regard to approaches and options for reducing greenhouse gas impacts in both sectors was as follows:

- ▶ With regard to international aviation, the member states of the International Civil Aviation Organisation (ICAO) agreed in 2016 to stabilise emissions at 2020 levels and, to achieve this goal, adopted an offset system. From 2021 onwards, the increase in emissions on the included routes has been offset through this system by reducing emissions in other sectors (Carbon Offset and Reduction Scheme for International Aviation, CORSIA). In addition, some regions and states had integrated aviation emissions in their emission trading systems (European Union) or at least planned to do so (China).
- ▶ With regard to international maritime transport, the member states of the International Maritime Organization (IMO) had adopted an efficiency standard for new ships in 2011 – the Energy Efficiency Design Index (EEDI). According to the analyses of CE Delft; UMAS; LR; Öko-Institut (2019), the EEDI was expected to reduce the greenhouse gas emissions of international shipping by about 2% compared to the increasing development trend. In spring 2018,

the IMO also had decided to cut greenhouse gas emissions from international maritime transport by at least half by 2050 compared to 2008 levels and to reduce them to zero in the second half of this century (IMO 2018).

The question arose as to whether these targets and instruments are sufficient and constitute an appropriate contribution of both sectors to global GHG mitigation efforts. For aviation, this question can certainly be answered in the negative: GHG-neutral growth by 2035 is certainly not enough. Compatibility with the Paris goals is out of the question when a clear perspective is lacking on how to proceed after 2035 and how to fully decarbonise the sector in the long term. The goal of completely decarbonising international maritime transport in the second half of this century comes closer to a positive answer. However, some in the IMO have taken the position of wanting to push the date of greenhouse gas neutrality as far back as possible. Moreover, the achievement of this goal will probably not be supported with additional mitigation instruments before 2025, which is problematic in view of the continuously decreasing budget of remaining anthropogenic greenhouse gas emissions.

Emission trends

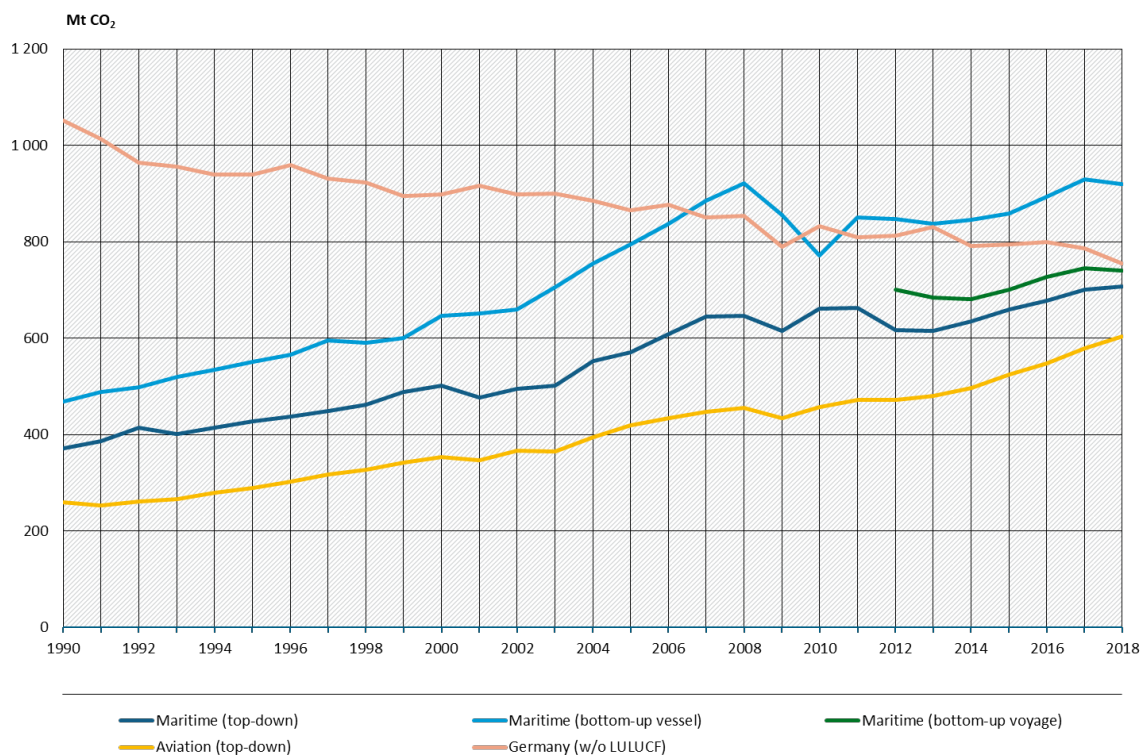
Data on emissions from international transport can be derived either top-down based on fuel sales or bottom-up based on monitoring systems such as those of the IMO and the ICAO. The IMO GHG studies were started in the early 2000s. These IMO reports are regarded as providing more accurate data than the top-down data from fuel sales. However, the methodologies used in the reports have changed, with the result that there is only a consistent time series for the years 2012 to 2018. Therefore, there is no consistent historical data on emissions, with the exception of data from fuel sales which go back several decades.

Prior to the Covid-19 pandemic, GHG emissions from aviation were steadily increasing. In 2018, total aviation emissions amounted to approx. 1,000 million tonnes, or about 2-3% of global CO₂ emissions (Lee et al. 2021). If aviation were considered as a country, it would be the sixth largest emitter globally. The largest share of CO₂ emissions from aviation can be attributed to international aviation, which amounted to 600 million t CO₂ in 2018 (IEA 2020). Figure 2 shows that CO₂ emissions from international aviation have more than doubled over the last two decades. Due to the Covid-19 pandemic, CO₂ emissions decreased to 280 Mt CO₂ in 2020 (ICAO 2021a).

The actual climate impact of aviation is even higher when the effects of non-CO₂ emissions such as emissions of nitrogen oxides (NO_x) and water vapour or the formation of contrails are taken into account (EASA 2020; UBA 2019a). However, these are difficult to estimate. They lead to a climate impact that is about three times higher than the corresponding CO₂ emissions (Lee et al. 2021). According to calculations by CAT (2020), aviation accounts for approx. 5.5% of global climate impact.

Prior to the Covid-19 pandemic, ICAO estimated that the growth of international aviation would continue and that air traffic in 2050 would be four times higher than in 2015 (ICAO 2018). At the time of writing, the Covid-19 pandemic is still ongoing and has so far had a negative impact on travel. Passenger numbers (both domestic and international) are expected to decrease by 60% in 2020 compared to 2019 (ICAO 2021b). The medium to long-term impact of the Covid 19 pandemic on international air transport is still uncertain, but passenger numbers are likely to rebound as the pandemic subsides. The sector is expected to be back on a growth path that is similar to before the pandemic in a few years' time (CAT 2020).

Figure 1 Historical CO₂ emissions of international aviation and maritime transport compared to Germany



Source: Authors' own based on UBA (2020), IMO (2020), IMO (2009), IMO (2014) and IEA (2020)

Note: Bottom-up data for maritime transport distinguishes between vessel- and voyage-related activity data.

GHG emissions from maritime transport increased by 9.6% in 2012 and 2018 (IMO 2020). In 2018, maritime transport brought about 1,076 Mt CO₂e, which corresponds to approx. 2-3% of global GHG emissions. By comparison, only six countries emitted more GHG emissions in 2018. Over 98% of maritime transport emissions are CO₂ emissions. These amounted to 1,056 million tonnes of CO₂ in 2018. The remainder is emissions of methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O) and black carbon (BC). The largest share of the sector's CO₂ emissions (approx. 80%) is attributable to international maritime transport (IMO 2020).

Emissions from maritime transport are highly dependent on economic growth. The current IMO greenhouse gas study forecasts a 90-130% increase in emissions by 2050 compared to 2008 levels (IMO 2020). As global trade and maritime passenger transport have declined since the outbreak of the Covid-19 pandemic, emissions are expected to fall significantly, at least up to 2020. Calculations by CAT (2020) suggest that emissions growth will return to pre-pandemic levels by 2030. However, the impact of the Covid-19 pandemic on global trade and tourism, and thus also on maritime transport, is still uncertain.

International aviation and maritime transport contributed about 3.7% overall to global CO₂ emissions in 2018 (IEA 2020; IMO 2020).

The role of international aviation and maritime transport under the UNFCCC

Emissions from international aviation and maritime transport, known as international bunker fuels, have been addressed under the UNFCCC since 1995. They are addressed in the Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice (SBSTA) through cooperation with the relevant specialised agencies of the United Nations, ICAO and IMO.

Despite the non-negligible contribution of both sectors to climate change, emissions from fuels used in international aviation and maritime transport are treated separately from other global climate agreements. Emissions from international aviation and maritime transport are not included in the national totals of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) and the Kyoto Protocol and are therefore not subject to the limitation and reduction commitments of Annex I Parties. Instead, Annex I Parties were mandated by ICAO and IMO to address the reduction of these emissions (UNFCCC 1998).

The Paris Agreement applies to all anthropogenic greenhouse gas emissions (UNFCCC 2015, Article 4.4). Further formulations, e.g. "economy-wide absolute emission reduction targets" (UNFCCC 2015, Article 4.1) indicate that contributions are required from all sectors. Given the projections for future emissions growth in both sectors, the Paris Agreement goals cannot be met without reductions in GHG emissions from international aviation and maritime transport (Traut et al. 2018). To date, only the EU has included emissions from international aviation in its Nationally Determined Contribution (NDC) (CEU 2020).

Talanoa Dialogue

The Paris Agreement entered into force in 2020. In 2018, a facilitated dialogue called the 'Talanoa Dialogue' was convened as a test run for the Global Stocktake (GST). The Talanoa Dialogue included written submissions, face-to-face dialogues and various events and revolved around three guiding questions (Wuppertal Institut 2020): Where are we, where do we want to go and how do we get there? There were no specific reporting requirements. The Talanoa Dialogue has mainly produced descriptive synthesis reports and was concluded at COP24 in Poland 2018.

The IMO Secretariat made a submission for the Talanoa Dialogue that included the newly adopted Initial IMO GHG Strategy with an annex explaining existing IMO activities to reduce GHG emissions (IMO 2018). With the exception of the 2030 and 2050 targets of the IMO GHG Strategy, all measures and activities were described qualitatively without quantifying the expected emission reductions. However, the submission is a clear signal to the UNFCCC of the IMO's increased efforts to address the problem of climate change. Looking at IMO's progress prior to 2018, the adoption of the original GHG strategy can be seen as an important step. The ICAO Secretariat had not sent a submission to the Talanoa Dialogue. However, it is conceivable that after the planned adoption of an ICAO long-term goal in autumn 2022, ICAO will also send a submission in the context of the GST, which outlines the decisions on the long-term goal and planned instruments.

Global stocktaking

The GST could also help monitor emission trends in international aviation and maritime transport with a view to determining whether they are consistent with global greenhouse gas mitigation efforts in all other sectors.

The process requires UNFCCC Parties to take stock of the implementation of this agreement at regular intervals to assess collective progress towards achieving its purpose and its long-term objectives (UNFCCC 2015, Article 14). The GST is part of the Paris Agreement's ambition mechanism, which aims to ensure that Parties take more action over time to achieve the long-term goals of the Agreement. The main functions of the GST are to set the pace, to provide accountability, to drive ambitious climate action and support, and to provide guidance and signals (WRI 2020). The GST will evolve around the 5-year cycles of the NDCs. The NDCs will be updated and strengthened at regular intervals. The NDCs are an input to the GST but are also influenced by the outcomes of the GST. The deadline for submission of the first NDCs was the end of 2020 (or 2021 due to the Covid-19 pandemic). The GST will likewise be conducted every five years from

2023. This delayed five-year cycle will allow for the NDCs to be assessed before the next update of the NDCs is submitted. In this way, the GST will inform Parties to the Paris Agreement of their collective progress and thus indicate whether the NDCs need to become more ambitious.

The first GST will comprise three phases that are spread over 18 months (WRI 2020). From mid-2022, relevant information will be collected at the collective or global level on topics such as mitigation, adaptation, means of implementation and support. Inputs to the GST include NDCs, IPCC reports, reports from subsidiary bodies, reports from international organisations and regional groups (WRI 2020). In the second phase, a technical assessment is conducted for one year. The results will then be presented in aggregated form (end of 2023 for the first GST). The implementation guidelines were adopted at COP24 in 2018, but the GST can still be refined during its preparatory period.

At all stages, other institutions such as UN specialised agencies are invited to report on their GHG mitigation activities with the aim that their contributions can be taken into account (WRI 2020). Achieving the long-term goal of the Paris Agreement is a collective target that must be met through Nationally Determined Contributions (NDCs). However, the NDCs submitted so far are not sufficient to reach this target. Taking into account the NDCs submitted at the end of 2021, global GHG emissions in 2030 are 70-85% above the pathway that is compatible with the Paris Agreement goal (CAT 2021).

Information from non-state actors and from aviation and maritime transport is important for assessing the global status. It is therefore expected by some Parties of the UNFCCC like the EU that international aviation and maritime transport participate in the GST and that the GHG reductions of both sectors contribute to the collective mitigation progress. In line with the voluntary architecture of the Paris Agreement, there is no obligation under the UNFCCC to submit information or make specific mitigation contributions, but transparency under the GST creates global pressure on relevant actors if information is not submitted or if contributions appear inadequate.

Data

Accurate data is important for the GST to assess collective progress, especially data that can be aggregated. Data reporting for international aviation and maritime transport is improving but still difficult. Data could be provided by individual countries, institutions such as the International Energy Agency or the IMO and ICAO. Under CORSIA, reporting on aviation fuel consumption and emissions began in 2019, and IMO adopted a Data Collection System (DCS) in 2016 to collect data on fuel consumption and associated CO₂ emissions from ships worldwide from 2019 (IMO 2016). Uncertainties remain with regard to the emissions from international shipping as they vary depending on the approach (top-down vs. bottom-up) as the latest IMO GHG study shows (IMO 2020). Most of the climate impact of aviation is caused by non-CO₂ effects. These result from non-CO₂ emissions such as NO_x, water vapour or aerosol particles, which lead to (for example) the formation of cirrus clouds (EASA 2020; UBA 2019a). A monitoring system for these non-CO₂ emissions is currently not in place. It is also difficult to allocate emissions from aviation and maritime transport between national and international transport (UBA 2019b).

Results

In accordance with the objective of this project to provide expert support to BMU and UBA in the various negotiations on global efforts to reduce greenhouse gases in international aviation and maritime transport, many different support activities were carried out. The range of support activities included the following aspects:

- ▶ Development of negotiating positions: expert support in the development of negotiating positions and negotiating packages;
- ▶ Expert group meetings: support with regard to the preparation and follow-up stages and participation in expert group meetings;
- ▶ Departmental meetings: participation in meetings with BMU and UBA and in workshops relating to aviation and maritime transport;
- ▶ International conferences: participation in meetings under UNFCCC, ICAO and IMO to support the German and/or European delegation when ad-hoc scientific issues arose;
- ▶ Submissions: expert support in the preparation of submissions under UNFCCC, ICAO and IMO;
- ▶ Background analyses: expert analyses on methodological or other issues in the context of international aviation and maritime transport;
- ▶ Ad hoc support: short-term expert support in the preparation of statements by email and telephone and in direct conversation.

In order to document the range of support activities provided, different outputs of the project are briefly summarised below and also attached as appendices (chapters 1-5).

Aviation and climate protection – considerable need for action

As part of the coordination between different departments of the German government on policy instruments in aviation, support was provided to the BMU in August 2019 in estimating the fiscal effects of different instruments for aviation. The conclusion of the paper is that the aviation tax would have to be increased by a factor of 4-5 as a replacement for the VAT on international flights which cannot be introduced on a stand-alone basis; that the kerosene tax of 33 cents/litre could be introduced based on bilateral aviation agreements with other EU states; and that the free allocation of emission rights under the European Emissions Trading System can be terminated as there is less risk of carbon leakage (migration of production to countries without CO₂ pricing) in aviation than in other sectors (chapter 1).

Power-to-Liquids (PTL): Sustainable fuels for aviation

Until 2019, the debate about sustainable fuels for aviation within ICAO focused almost exclusively on biofuels. As these are associated with considerable challenges (especially land competition, "plate or tank" discussions and unintended GHG emissions due to indirect land use changes), the German government wanted to propagate the advantages of synthetic fuels produced from renewable electricity. As part of this project, a briefing paper was thus drafted and coordinated with the ministries for the 40th General Assembly of ICAO in September 2019. This briefing paper provides an update on the concept of producing sustainable aviation fuels using renewable electricity, known as power-to-liquids (PtL). Production routes and possibilities for blending with fossil fuels are explained. Unlike biofuels, PtL does not increase the global demand for arable land. Moreover, they also require less water. If they are produced from additional renewable electricity, PtL have the potential to become almost CO₂-neutral in the longer term. PtL can thus make a major contribution to climate-friendly aviation (chapter 2).

Aviation of the future

In November 2019, the UBA Forum mobile & sustainable took place on the subject "Aviation of the future - environmentally and climate friendly, greenhouse gas neutral, low noise." As part of

this project, the forum was prepared and implemented, including content (programme, speakers, workshops, moderation, etc.) and organisation (venue, invitation, advertising, participants, etc.). In addition, the documents prepared by UBA for this forum – a brochure titled “Where are we going?”¹ and the study in German “Umweltschonender Luftverkehr”² on which the brochure is based – were edited and designed.

At the UBA Forum, solution-oriented concepts, proposals and ideas were presented and discussed on numerous issues relating to environmentally-friendly aviation. The documentation of the forum shows the range of topics discussed and underlines that “business as usual” is not possible (chapter 3).

Aviation: First analysis of the EU's “Fit for 55” package

On 14 July 2021, the European Commission presented a comprehensive package of proposals to amend directives and regulations in order to achieve the goal of reducing greenhouse gas emissions in Europe by 55% by 2030 compared to 1990. The “Fit for 55” package also includes some proposals for aviation, particularly the revision of the Emissions Trading Directive for aviation, the introduction of a blending quota to accelerate the use of bio-based and synthetic kerosene (ReFuelEU Aviation) and the revision of the Energy Tax Directive.

Within the scope of this project, these proposals were subjected to a first critical analysis in less than a week after the dossiers were published in order to identify weak points and to create a basis for the German government's position on this package. The main weakness of the revision of the Emissions Trading Directive is that non-CO₂ emissions continue to be excluded. With a view to the blending quota, the requirements that the quota must be physically achieved at all airports were identified as a particular challenge. With regard to the revision of the Energy Tax Directive, the unanimity required for all fiscal instruments was identified as a high hurdle to ending the exemption of aviation fuels from energy taxation.

Maritime Transport: First analysis of the EU's “Fit for 55” package

On 14 July 2021, the European Commission presented a comprehensive package of proposals to amend directives and regulations in order to achieve the goal of reducing greenhouse gas emissions in Europe by 55% by 2030 compared to 1990. The “Fit for 55” package also includes some proposals for maritime transport, particularly the integration of maritime transport in the European Emissions Trading System, the introduction of a specific greenhouse gas reduction quota to accelerate the use of sustainable and synthetic fuels (FuelEU Maritime) and the revision of the Energy Tax Directive.

Within the scope of this project, these proposals were subjected to a first critical analysis in less than a week after the dossiers were published in order to identify weak points and to create a basis for the German government's position on this package. With a view to integrating maritime transport in emissions trading, it was highlighted as positive that the geographical coverage with all emissions within the EU and 50% of emissions on inbound and outbound voyages respectively is appropriate to addressing the problem globally. This is because gradually all emissions from international maritime transport would be covered if other states introduced reciprocal instruments. With a view to the GHG reduction rate through sustainable fuels, the role of Liquefied Natural Gas (LNG) has been viewed critically. Initial assessments show that it might be possible to fulfil the requirements in the first few years by using ships powered by fossil LNG and that there would thus be too little incentive to accelerate the use of sustainable fuels. In the revision of the Energy Tax Directive, the incentive to avoid tax by bunkering in ports outside the EU

¹ <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/where-are-we-going>.

² <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltschonender-luftverkehr>.

was identified as a critical point. In international maritime transport, due to the relatively large tanks on board ships, there is a lot of flexibility regarding when to bunker. However, due to the fact that many voyages are headed to non-EU ports, there are many opportunities to exploit price differences. In this respect, after the first analysis of the proposal, the question arises as to whether the risk of tax avoidance, which would also lead to a weakening of the targeted greenhouse gas reduction, has been sufficiently taken into account.

Climate change targets for aviation and maritime transport in the EU's “Fit for 55” package

This paper compares the reduction ambitions for aviation and maritime transport on different policy levels with the ambitions communicated by industry associations in these sectors in order to analyse the extent to which these targeted reduction contributions are compatible with the goals of the Paris Agreement.

The analysis shows that the climate targets of ICAO and IMO are not compatible with the goals of the Paris Agreement and are also less ambitious than the targets of the industry associations. Most associations are aiming for net zero CO₂ emissions by 2050. In most cases, however, it is not specified to what extent the reduction is to be achieved in or outside the sector through off-setting. Since offset units will be much scarcer by 2050 compared to today, these targets may also have a significant price effect and in this way induce additional emission reductions within the two sectors (chapter 4).

Biofuels for shipping

One of the ways to reduce GHG emissions from maritime transport is to use biofuels. However, it is uncertain to what extent biofuels can actually contribute to decarbonisation. This depends inter alia on the development of biomass supply, biomass demand both in maritime transport and in other sectors, the GHG reduction potential of biofuels, and energy and environmental policies. This paper focuses on the potential biomass demand of maritime transport and of other sectors within the EU.

The analysis shows that the potential availability of sustainable biomass in the EU in 2050 falls in the range of 7 to 20 EJ/year. Current EU biomass consumption for materials and energy is estimated at 10 to 12 EJ/year. This suggests that there is likely to be little scope for increasing biomass use in the EU unless biomass/biofuel is imported on a large scale. However, the import potential for sustainable biomass from the rest of the world is very uncertain as it depends on biomass supply and demand developments in other world regions. It is possible, but unlikely, that a sufficient amount of sustainable biomass will be available in the long term for the production of biofuels for EU maritime transport. However, policy instruments that make the use of biomass in maritime transport more attractive and innovative production pathways can change this situation (chapter 5).

Conclusion

Within the scope of the project, BMU and UBA received comprehensive and timely support on many issues relating to greenhouse gas reduction in international aviation and maritime transport. The support ranged from quantitative analysis of current policy or instrument proposals to ad hoc support in and between negotiations of international bodies (ICAO, IMO, EU, etc.) and to further development of existing instruments or development of their own policy proposals.

Over the course of this project, the discussions about greenhouse gas reductions in aviation and maritime transport moved somewhat towards a reduction path that is compatible with the Paris

Agreement. This project has contributed to that change, thereby fulfilling its original objective. Nevertheless, international aviation and maritime transport are still far off a reduction path that is compatible with the Paris Agreement. With this in mind, efforts to make international agreements with ambitious targets and instruments must not diminish.

Literature

See section Literatur on page 31.

Zusammenfassung

Im Abschlussdokument der Klimakonferenz 2015 in Paris, im sogenannten Übereinkommen von Paris, verpflichten sich die Mitgliedsstaaten der Klimarahmenkonvention (UNFCCC) die Treibhausgasemissionen so zu reduzieren, dass der globale Temperaturanstieg deutlich unter einer Erhöhung um 2°C, möglichst sogar unter 1,5°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau bleibt (UNFCCC 2015, Artikel 4.1). Der Luft- und Seeverkehr ist zwar im Übereinkommen von Paris nicht explizit erwähnt, in Artikel 4 streben die Staaten jedoch an, in der 2. Hälfte dieses Jahrhunderts einen Ausgleich zwischen anthropogenen Treibhausgasemissionen und Senken oder mit anderen Worten die vollständige Dekarbonisierung bzw. Klimaneutralität zu erreichen. Da die Emissionen des Luft- und Seeverkehrs eindeutig anthropogen sind, fallen sie auch ohne explizite Erwähnung unter die Ziele des Paris Agreements. Darüber hinaus zeigen Studien (z.B. Öko-Institut 2015), dass ohne angemessene Minderungsbeiträge beider Sektoren die Ziele des Paris Agreements nicht erreichbar sind. Berücksichtigt man außerdem, dass in beiden Sektoren sowohl die Nachfrage nach Verkehrsleistungen als auch die Treibhausgasemissionen weiterhin jährlich mit Raten zwischen 4 und 7% wachsen (IEA 2022), so wird deutlich, dass die Dekarbonisierung beider Sektoren eine ambitionierte Aufgabe ist.

Zielsetzung

Angesichts dieser Herausforderungen strebten Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) und Umweltbundesamt (UBA) 2018 an, dass beide Sektoren Entwicklungspfade einschlagen, die einen angemessenen Beitrag zur Erreichung der Temperaturziele des Übereinkommens von Paris gewährleisten. Hierfür müssen weitere Politiken und Instrumente entwickelt und umgesetzt werden, wobei neben den CO₂-Emissionen auch die Klimawirkungen der nicht CO₂-Emissionen in beiden Sektoren berücksichtigt werden müssen. Dieses Vorhaben sollte BMU und UBA dabei unterstützen, Vorschläge für diese Politiken und Instrumente zu entwickeln, deren Wirkungen zu quantifizieren und – basierend auf diesen Arbeiten – das BMU und UBA dabei unterstützen, den Diskussionsprozess zur Treibhausgasminderung in UNFCCC, ICAO, IMO und EU in dieser Richtung voranzutreiben. Darüber hinaus sollten die Forschungsergebnisse zur Treibhausgasminderung im Luftverkehr aus verschiedenen Vorhaben im Rahmen der UBA-Veranstaltungsreihe ‚UBA Forum mobil & nachhaltig‘ einer breiteren Öffentlichkeit präsentiert werden.

Treibhausgasrelevante Entwicklungen im Luft- und Seeverkehr

Ausgangslage

Zu Beginn des Vorhabens im Jahr 2018 stellt sich die Situation im Hinblick auf Ansätze und Optionen zur Minderung der Treibhausgaswirkungen in beiden Sektoren wie im Folgenden beschrieben dar:

- ▶ Beim internationalen Luftverkehr hatten sich die Mitgliedsstaaten der International Civil Aviation Organisation (ICAO) 2016 auf eine Stabilisierung der Emissionen auf dem Niveau von 2020 geeinigt und zur Erreichung dieses Ziels ein Offsetsystem verabschiedet, durch das ab 2021 der Emissionsanstieg auf den erfassten Routen durch Emissionsminderung in anderen Sektoren kompensiert werden soll (Carbon Offset and Reduction Scheme for International Aviation, CORSIA). Darüber hinaus hatten einige Regionen bzw. Staaten die Emissionen des Luftverkehrs in ihre Emissionshandelssysteme integriert (Europäische Union) oder dies zumindest geplant (China).

- Für den internationalen Seeverkehr hatten die Mitgliedsstaaten der Internationalen Seeschiffahrts-Organisation (IMO) 2011 einen Effizienzstandard für neue Schiffe, den sogenannten Energy Efficiency Design Index (EEDI) beschlossen. Entsprechend der Analysen von CE Delft; UMAS; LR; Öko-Institut (2019) wurde erwartet, dass durch den EEDI die Treibhausgasemissionen des internationalen Seeverkehrs um etwa 2% gegenüber der ansteigenden Trendentwicklung reduziert werden können. Im Frühjahr 2018 hatte die IMO zudem beschlossen, die Treibhausgasemissionen des internationalen Seeverkehrs bis zum Jahr 2050 gegenüber dem Wert von 2008 mindestens zu halbieren und in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts auf null zu reduzieren (IMO 2018).

Es stellte sich die Frage, ob diese Ziele und Instrumente hinreichend sind und einen adäquaten Beitrag beider Sektoren zu den globalen Anstrengungen zur Treibhausgasminderung darstellen. Für den Luftverkehr kann diese Frage sicherlich mit nein beantwortet werden: Treibhausgasneutrales Wachstum bis 2035 reicht sicherlich nicht. Ohne eine klare Perspektive wie es nach 2035 weitergeht und wie der Sektor langfristig vollständig dekarbonisiert werden soll, kann von einer Kompatibilität mit den ‚Paris-Zielen‘ nicht die Rede sein. Das Ziel, den internationalen Seeverkehr in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts vollständig zu dekarbonisieren, kommt dem schon eher näher. Allerdings gab es in der IMO einerseits Positionen, die den Zeitpunkt der Treibhausgasneutralität möglichst weit nach hinten schieben wollen und andererseits wird die Erreichung dieses Ziels voraussichtlich nicht vor 2025 mit zusätzlichen Minderungsinstrumenten unterstützt, was angesichts des kontinuierlich kleiner werdenden Gesamtbudgets an verbleibenden anthropogenen Treibhausgasemissionen problematisch ist.

Emissionstrends

Daten über Emissionen aus dem internationalen Verkehr können entweder top-down auf der Grundlage von Kraftstoffverkäufen oder bottom-up auf der Grundlage von Monitoringsystemen wie denen der IMO und der ICAO abgeleitet werden. Die IMO-THG-Studien wurden in den frühen 2000er Jahren begonnen. Es wird davon ausgegangen, dass diese IMO-Berichte genauere Daten liefern als die Top-down-Daten aus dem Kraftstoffabsatz. Allerdings haben sich die Methoden in den Berichten geändert, so dass nur für die Jahre 2012 bis 2018 eine konsistente Zeitreihe vorliegt. Daher gibt es keine konsistenten historischen Daten über Emissionen, mit Ausnahme der Daten aus dem Kraftstoffverkauf, die mehrere Jahrzehnte zurückreichen.

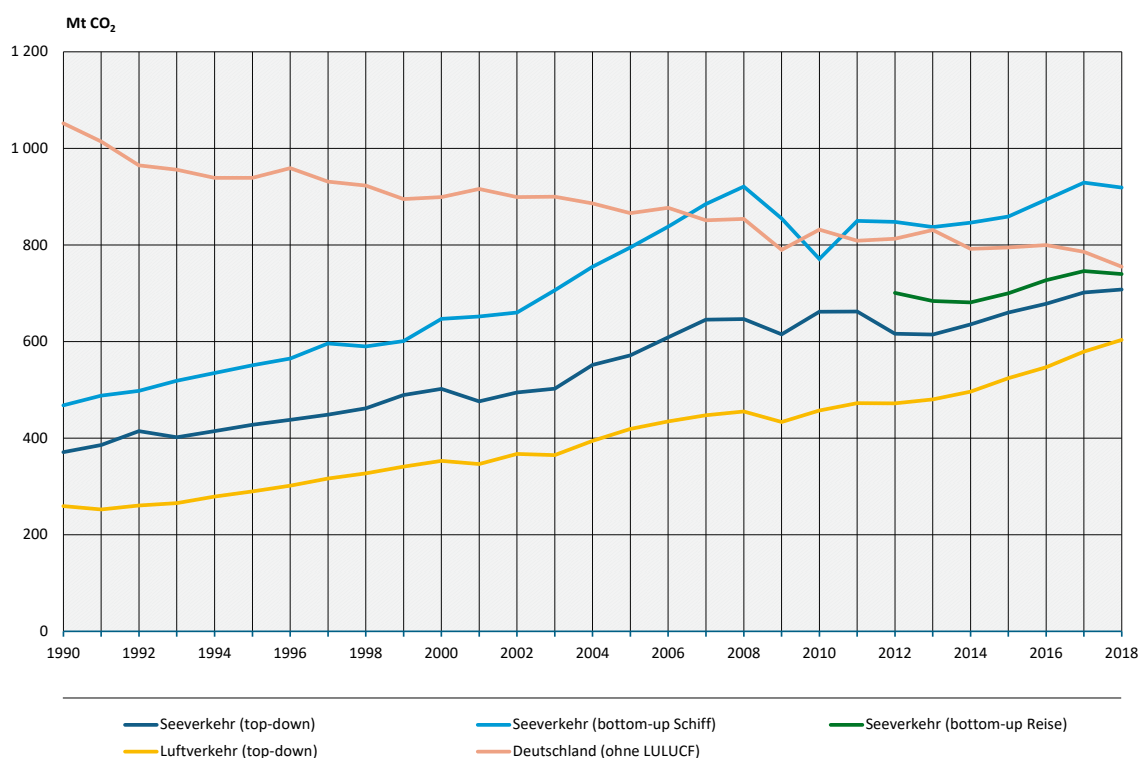
Vor der Covid-19-Pandemie stiegen die Treibhausgasemissionen aus dem Luftverkehr kontinuierlich an. Im Jahr 2018 belaufen sich die Gesamtemissionen des Luftverkehrs auf etwa 1.000 Mio. t, was etwa 2-3% der weltweiten CO₂ Emissionen entspricht (Lee et al. 2021). Würde man den Luftverkehr als Land betrachten, wäre er der sechstgrößte Emittent weltweit. Der größte Teil der CO₂-Emissionen des Luftverkehrs kann dem internationalen Luftverkehr zugeschrieben werden, 2018 etwa 600 Mio. t CO₂ (IEA 2020). Figure 2 zeigt, dass sich die CO₂-Emissionen des internationalen Luftverkehrs in den letzten zwei Jahrzehnten mehr als verdoppelt haben. Aufgrund der Covid-19-Pandemie sanken die CO₂-Emissionen auf 280 Mio. t CO₂ im Jahr 2020 (ICAO 2021a).

Die tatsächliche Klimawirkung des Luftverkehrs ist sogar noch höher, wenn man die Auswirkungen von nicht-CO₂-Emissionen berücksichtigt, wie z. B. die Emissionen von Stickoxiden (NO_x) und Wasserdampf oder die Bildung von Kondensstreifen (EASA 2020; UBA 2019a). Diese sind jedoch schwer abzuschätzen, führen aber zu einer Klimawirkung, die etwa dreimal höher ist als die CO₂ Emissionen allein (Lee et al. 2021). Nach Berechnungen von CAT (2020) ist der Luftverkehr für ca. 5,5% der globalen Klimawirkungen verantwortlich.

Vor der Covid-19-Pandemie schätzte die ICAO, dass sich das Wachstum des internationalen Luftverkehrs fortsetzen und der Luftverkehr im Jahr 2050 viermal so hoch sein würde wie im Jahr

2015 (ICAO 2018). Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts ist die Covid-19-Pandemie noch nicht vorbei und hat sich bisher negativ auf den Reiseverkehr ausgewirkt. Es wird erwartet, dass die Passagierzahlen (sowohl im Inland als auch im Ausland) im Jahr 2020 um 60% gegenüber 2019 zurückgehen werden (ICAO 2021b). Die mittel- bis langfristigen Auswirkungen der Covid-19-Pandemie auf den internationalen Luftverkehr sind noch ungewiss, aber die Passagierzahlen werden wahrscheinlich wieder steigen, wenn die Pandemie abklingt. Es wird erwartet, dass sich der Sektor in einigen Jahren wieder auf einem ähnlichen Wachstumspfad wie vor der Pandemie befinden wird (CAT 2020).

Figure 2 Historische CO₂-Emissionen des internationalen Luft- und Seeverkehrs im Vergleich zu Deutschland



Quelle: Eigene Zusammenstellung basierend auf UBA (2020), IMO (2020), IMO (2009), IMO (2014), IEA (2020)

Hinweis: Bei den Bottom-up-Daten für den Seeverkehr wird zwischen schiffsbezogenen und reisebezogenen Aktivitätsdaten unterschieden.

Die THG-Emissionen des Seeverkehrs sind 2012 und 2018 um 9,6% gestiegen (IMO 2020). Im Jahr 2018 war der Seeverkehr für 1.076 Mio. t CO₂e verantwortlich, was etwa 2-3% der weltweiten THG-Emissionen entspricht. Zum Vergleich: Nur sechs Länder emittierten 2018 mehr THG-Emissionen.³ Über 98% der Emissionen des Seeverkehrs sind CO₂-Emissionen. Diese beliefen sich 2018 auf 1.056 Mio. t CO₂. Der Rest sind Emissionen von Methan (CH₄), Distickstoffoxid (N₂O) und Black Carbon (BC). Der größte Teil der CO₂-Emissionen (ca. 80%) des Sektors ist dem internationalen Seeverkehr zuzuschreiben (IMO 2020).

Die Emissionen des Seeverkehrs sind stark vom Wirtschaftswachstum abhängig. Die aktuelle IMO-Treibhausgasstudie prognostiziert bis 2050 einen Anstieg der Emissionen um 90-130% gegenüber den Emissionen von 2008 (IMO 2020). Da der Welthandel und der Passagierseeverkehr seit Beginn der Covid-19-Pandemie zurückgegangen sind, dürften die Emissionen zumindest bis 2020 deutlich sinken. Berechnungen von CAT (2020) deuten darauf hin, dass das

³ PIK, Historische Treibhausgasemissionen, https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2018&source=PIK&start_year=1990.

Emissionswachstum bis 2030 wieder das Niveau von vor der Pandemie erreichen wird. Die Auswirkungen der Covid-19-Pandemie auf den Welthandel und den Tourismus und damit auch auf den Seeverkehr sind jedoch noch ungewiss.

Zusammen trugen der internationale Luft- und Seeverkehr im Jahr 2018 etwa 3,7% zu den weltweiten CO₂-Emissionen bei (IEA 2020; IMO 2020).

Die Rolle des internationalen Luft- und Seeverkehrs unter der UNFCCC

Emissionen aus dem internationalen Luft- und Seeverkehr, die sogenannten internationalen Bunkerkraftstoffe, werden seit 1995 unter der UNFCCC im Nebenorgan für wissenschaftliche und technologische Beratung (SBSTA) durch die Zusammenarbeit mit den entsprechenden Sonderorganisationen der Vereinten Nationen, ICAO und IMO, behandelt.

Trotz des nicht zu vernachlässigenden Beitrags beider Sektoren zum Klimawandel werden die Emissionen aus Kraftstoffen, die im internationalen Luft- und Seeverkehr verwendet werden, getrennt von anderen globalen Klimaabkommen behandelt. Die Emissionen des internationalen Luft- und Seeverkehrs werden in den nationalen Gesamtemissionen der Klimarahmenkonvention (UNFCCC) und des Kyoto-Protokolls nicht berücksichtigt und unterliegen daher nicht den Begrenzungs- und Reduktionsverpflichtungen der in Anhang I genannten Parteien.⁴ Stattdessen wurden die sogenannten Annex-I-Staaten beauftragt durch ICAO und IMO die Minderung dieser Emissionen zu adressieren (UNFCCC 1998).

Das Übereinkommen von Paris gilt für alle anthropogenen Treibhausgasemissionen (UNFCCC 2015, Artikel 4.4). Weitere Formulierungen z. B. „absolute wirtschaftsweite Emissionsminderungsziele“ (UNFCCC 2015, Artikel 4.1) weisen darauf hin, dass die Beiträge aller Sektoren erforderlich sind. In Anbetracht der Prognosen für das künftige Emissionswachstum in beiden Sektoren können die Ziele des Pariser Abkommens ohne eine Verringerung der Treibhausgasemissionen im internationalen Luft- und Seeverkehr nicht erreicht werden (Traut et al. 2018). Bislang hat nur die EU die Emissionen aus dem internationalen Luftverkehr in ihr national festgelegten Beitrag (Nationally Determined Contribution, NDC) aufgenommen (CEU 2020).

Talanoa-Dialog

Das Übereinkommen von Paris trat im Jahr 2020 in Kraft. Im Jahr 2018 wurde ein moderierter Dialog namens ‚Talanoa-Dialog‘ als Testlauf für die Globale Bestandsaufnahmen (Global Stocktake, GST) einberufen. Der Talanoa-Dialog umfasste schriftliche Eingaben (Submissions), persönliche Dialoge und verschiedene Veranstaltungen und entwickelte sich um drei Leitfragen (Wuppertal Institut 2020): Wo stehen wir, wo wollen wir hin und wie kommen wir dorthin? Es gab keine besonderen Anforderungen an die Berichterstattung. Der Talanoa-Dialog hat hauptsächlich beschreibende Syntheseberichte hervorgebracht und wurde auf der COP24 in Polen 2018 abgeschlossen.

Das IMO-Sekretariat übermittelte für den Talanoa-Dialog eine Submission, die die damals neu verabschiedete erste IMO-THG-Strategie mit einem Anhang enthält, in dem die bestehenden IMO-Aktivitäten zur Verringerung der THG-Emissionen erläutert werden (IMO 2018). Mit Ausnahme der 2030- und 2050-Ziele der IMO-THG-Strategie wurden alle Maßnahmen und Aktivitäten ohne eine Quantifizierung der erwarteten Emissionsminderung qualitativ beschrieben. Die Submission ist jedoch ein klares Zeichen in Richtung UNFCCC für die verstärkten Bemühungen der IMO, das Problem des Klimawandels zu adressieren. Betrachtet man die Fortschritte der IMO vor 2018, so kann die Annahme der ursprünglichen Treibhausgasstrategie als wichtiger Schritt angesehen werden. Das ICAO-Sekretariat hatte zum Talanoa-Dialog keine Submission

⁴ UNFCCC, Emissions from fuels used for international aviation and maritime transport, <https://unfccc.int/topics/mitigation/workstreams/emissions-from-international-transport-bunker-fuels#eq-2>.

übermittelt. Es wird jedoch denkbar, dass nach der geplanten Verabschiedung eines ICAO-Langfristziels im Herbst 2022 auch die ICAO eine Submission im Rahmen des GST übermittelt, in dem die Beschlüsse zum Langfristziel und geplanten Instrumenten dargelegt werden.

Globale Bestandsaufnahme

Der GST könnte auch dazu beitragen, die Emissionsentwicklungen im internationalen Luft- und Seeverkehr mit dem Ziel zu beobachten, ob sie im Einklang stehen mit den globalen Anstrengungen zur Treibhausgasreduzierung in allen anderen Sektoren.

Der Prozess sieht vor, dass die UNFCCC-Vertragsparteien in regelmäßigen Abständen eine Bestandsaufnahme der Umsetzung dieses Abkommens vornehmen, um die kollektiven Fortschritte bei der Erreichung des Zwecks dieses Abkommens und seiner langfristigen Ziele zu bewerten (UNFCCC 2015, Artikel 14). Der GST ist Teil des Ambitionsmechanismus im Rahmen des Übereinkommens von Paris, der sicherstellen soll, dass die Vertragsparteien im Laufe der Zeit mehr Maßnahmen ergreifen, um die langfristigen Ziele des Übereinkommens zu erreichen. Die Hauptfunktionen des GST sind: Tempo vorgeben, Rechenschaft ablegen, ehrgeizige Klimamaßnahmen und Unterstützung vorantreiben sowie Anleitung und Signale geben (WRI 2020). Der GST wird sich um die 5-Jahres-Zyklen der NDCs herum entwickeln. Die NDCs sollen in regelmäßigen Abständen aktualisiert und verschärft werden. Die NDCs sind einerseits ein Input für den GST, werden aber auch durch die Ergebnisse der GST beeinflusst. Die Deadline für die Übermittlung der ersten NDCs war Ende 2020 (bzw. 2021 aufgrund der Covid-19-Pandemie). Der GST wird ab 2023 ebenfalls alle fünf Jahre durchgeführt. Dieser verschobene Fünfjahresrhythmus ermöglicht eine Bewertung der NDCs, bevor die nächste Aktualisierung der NDCs vorgelegt wird. Auf diese Weise wird der GST die Vertragsparteien des Übereinkommens von Paris über ihre gemeinsamen Fortschritte informieren und somit aufzeigen, ob die NDCs ehrgeiziger werden müssen.

Der erste GST wird drei Phasen umfassen, die sich über 18 Monate erstrecken (WRI 2020). Ab Mitte 2022 werden relevante Informationen auf kollektiver oder globaler Ebene zu Themen wie Minderung, Anpassung, Mittel zur Umsetzung und Unterstützung gesammelt. Zu den Inputs für den GST gehören unter anderem die NDCs, IPCC-Berichte, Berichte von Nebenorganen, Berichte von internationalen Organisationen und regionalen Gruppen (WRI 2020). In der zweiten Phase wird ein Jahr lang eine technische Bewertung durchgeführt. Die Ergebnisse werden anschließend in aggregierter Form vorgelegt (Ende 2023 für den ersten GST). Die Umsetzungsrichtlinien wurden auf der COP24 im Jahr 2018 angenommen, aber die GST kann während ihrer Vorbereitungszeit noch verfeinert werden.

Zu allen Phasen sind andere Institutionen, wie z.B. UN-Sonderorganisationen, eingeladen über ihre Aktivitäten zur Treibhausgasreduzierung mit dem Ziel zu berichten, dass deren Beiträge berücksichtigt werden können (WRI 2020). Die Erreichung des langfristigen Ziels des Übereinkommens von Paris ist ein kollektives Ziel, das durch nationale Beiträge (NDC) erreicht werden muss. Die bisher übermittelten NDCs reichen jedoch nicht, um dieses Ziel zu erreichen. Unter Berücksichtigung der Ende 2021 übermittelten NDCs liegen 2030 die globalen THG-Emissionen 70-85% über dem Ziel-kompatiblen Minderungspfad (CAT 2021).

Informationen von nicht-staatlichen Akteuren und dem Luft- und Seeverkehr sind wichtig, um den globalen Status zu bewerten. Es wird daher von einigen UNFCCC-Mitgliedsstaaten wie zum Beispiel der EU erwartet, dass der internationale Luft- und Seeverkehr am GST teilnimmt und dass die Treibhausgasreduzierungen beider Sektoren zum kollektiven Minderungsfortschritt beiträgt. Entsprechend der auf Freiwilligkeit basierenden Architektur des Übereinkommens von Paris gibt es zwar unter der UNFCCC keinen Zwang Informationen zu übermitteln oder bestimmte Minderungsbeiträge zu erbringen, aber durch die Transparenz im Rahmen des GST

entsteht ein globaler Druck auf die entsprechenden Akteure, wenn Informationen nicht übermittelt werden oder die Beiträge inadäquat erscheinen.

Daten

Für den GST sind exakte Daten wichtig, um die kollektiven Fortschritte zu bewerten, insbesondere Daten, die aggregiert werden können. Die Datenmeldung für den internationalen Luft- und Seeverkehr verbessert sich, ist aber immer noch schwierig. Die Daten könnten von einzelnen Ländern, Institutionen wie der Internationalen Energieagentur oder der IMO und ICAO bereitgestellt werden. Im Rahmen von CORSIA begann die Berichterstattung über den Treibstoffverbrauch und die Emissionen des Luftverkehrs im Jahr 2019. Die IMO hat 2016 ein Datenerfassungssystem (Data Collection System, DCS) beschlossen, das ab 2019 Daten über den Treibstoffverbrauch und die damit verbundenen CO₂-Emissionen von Schiffen weltweit erfasst (IMO 2016). Es bestehen nach wie vor Unsicherheiten in Bezug auf die Höhe der Emissionen des internationalen Seeverkehrs, da sie je nach Ansatz (top-down vs. bottom-up) variieren, wie die jüngste IMO-THG-Studie zeigt (IMO 2020). Der größte Teil der Klimaauswirkungen des Luftverkehrs wird durch sogenannte Nicht-CO₂-Effekte verursacht. Diese resultieren aus Nicht-CO₂-Emissionen wie NO_x, Wasserdampf oder Aerosolpartikeln, die z.B. zur Bildung von Zirruswolken führen (EASA 2020; UBA 2019a). Ein Überwachungssystem für diese Nicht-CO₂-Emissionen ist derzeit nicht vorhanden. Auch die Aufteilung von Emissionen aus dem Luft- und Seeverkehr zwischen nationalem und internationalem Verkehr ist schwierig (UBA 2019b).

Ergebnis

Entsprechend der Zielsetzung dieses Vorhabens, BMU und UBA bei den verschiedenen Verhandlungssträngen zu globalen Anstrengungen zur Minderung von Treibhausgasen im internationalen Luft- und Seeverkehr wissenschaftlich zu unterstützen, wurden im Rahmen dieses Vorhabens viele verschiedene Unterstützungsaktivitäten durchgeführt. Die Palette der Unterstützungsaktivitäten umfasste u.a. folgende Aspekte:

- ▶ Entwicklung von Verhandlungspositionen: wissenschaftliche Unterstützung bei der Erarbeitung von Verhandlungspositionen und Verhandlungspaketen;
- ▶ Gruppensitzungen von Expert*innen: Unterstützung bei der Vor- und Nachbereitung sowie Teilnahme an Sitzungen der Expertengruppen;
- ▶ Ressortbesprechungen: Teilnahme an Besprechungen mit BMU und UBA sowie an Workshops im Kontext Luft- und Seeverkehr;
- ▶ Internationale Konferenzen: Teilnahme an Sitzungen unter UNFCCC, ICAO und IMO zur Unterstützung der deutschen und/oder europäischen Delegation bei ad-hoc aufkommenden wissenschaftlichen Fragen;
- ▶ Eingaben: wissenschaftliche Unterstützung bei der Erarbeitung von Eingaben (Submissionen) unter UNFCCC, ICAO und IMO;
- ▶ Hintergrundanalysen: wissenschaftliche Analysen zu methodischen oder anderen Fragen im Kontext internationaler Luft- und Seeverkehr;
- ▶ Ad-hoc-Unterstützung: kurzfristige wissenschaftliche Unterstützung bei der Ausarbeitung von Stellungnahmen per E-Mail, am Telefon oder im direkten Gespräch.

Um die Bandbreite der geleisteten Unterstützungsaktivitäten zu dokumentieren, werden im Folgenden verschiedene Outputs des Vorhabens kurz zusammengefasst und zudem als Anlage beigefügt (Kapitel 1-5).

Luftverkehr und Klimaschutz – erheblicher Handlungsbedarf

Im Rahmen der Abstimmung zwischen verschiedenen Ressorts der Bundesregierung zu Politikinstrumenten im Luftverkehr wurde das BMU im August 2019 bei der Abschätzung der fiskalischen Wirkungen unterschiedlicher Instrumente für den Luftverkehr unterstützt. Fazit des Papers ist, dass die Luftverkehrssteuer als Ersatz für die nicht im Alleingang einführbare MwSt. auf internationale Flüge um den Faktor 4-5 erhöht werden müsste, dass die Kerosinsteuer in Höhe von 33 Cent/Liter auf Basis bilateraler Luftverkehrsabkommen mit anderen EU-Staaten eingeführt werden könnte und dass die freie Zuteilung von Emissionsrechten im Rahmen des Europäischen Emissionshandelssystem beendet werden kann, da beim Luftverkehr eine geringere Gefahr für Carbon Leakage (Abwanderung der Produktion in Länder ohne CO₂-Bepreisung) besteht als in anderen Sektoren (Kapitel 1).

Power-to-Liquids (PTL): Nachhaltige Kraftstoffe für den Luftverkehr

Bis 2019 fokussierte die Debatte um nachhaltige Kraftstoffe für den Luftverkehr im Rahmen der ICAO nahezu ausschließlich auf Biokraftstoffe. Da diese mit erheblichen Herausforderungen verbunden sind (insbesondere Flächenkonkurrenz, Stichwort ‚Teller oder Tank‘ sowie unbeabsichtigte Treibhausgasemissionen durch indirekte Landnutzungsänderungen), wollte die Bundesregierung die Vorteile von synthetischen Kraftstoffen, die aus erneuerbarem Strom hergestellt werden, propagieren. Im Rahmen dieses Vorhabens wurde deshalb im September 2019 ein Informationspapier für die 40. Generalversammlung der ICAO entworfen und mit den Ressorts abgestimmt. Das Informationspapier gibt einen aktuellen Überblick über das Konzept zur Herstellung von nachhaltigem Flugkraftstoff unter Verwendung von erneuerbarem Strom, sogenannten Power-to-Liquids (PtL). Produktionswege und Möglichkeiten zur Beimischung zu fossilen Kraftstoffen werden erläutert. Anders als Biokraftstoffe erhöhen PtL den globalen Bedarf an Ackerfläche nicht. Darüber hinaus ist auch der Wasserbedarf geringer. Wenn sie aus zusätzlichem erneuerbarem Strom erzeugt werden, haben PtL das Potenzial längerfristig nahezu CO₂-neutral zu werden. PtL können somit einen großen Beitrag zu einem klimafreundlichen Luftverkehr leisten (Kapitel 2).

Luftverkehr der Zukunft

Im November 2019 fand das UBA Forum mobil & nachhaltig 2019 unter dem Thema ‚Luftverkehr der Zukunft – umwelt- und klimaschonend, treibhausgasneutral, lärmarm‘ statt.⁵ Im Rahmen dieses Vorhabens wurde das Forum sowohl inhaltlich (Programm, Vortragende, Workshops, Moderation, etc.⁶) wie auch organisatorisch (Veranstaltungsort, Einladung, Werbung, Teilnehmende, etc.) vorbereitet und durchgeführt. Darüber hinaus wurden die vom UBA für dieses Forum erstellten Dokumente, eine Broschüre mit dem Titel ‚Wohin geht die Reise?‘⁷, sowie die der Broschüre zugrundeliegende Studie ‚Umweltschonender Luftverkehr‘⁸, redaktionell bearbeitet und ansprechend gestaltet.

Beim UBA-Forum wurden zu zahlreichen Fragen im Hinblick auf einen umweltfreundlichen Luftverkehr lösungsorientierte Konzepte, Vorschläge und Ideen vorgestellt und diskutiert. Die Dokumentation des Forums zeigt die Bandbreite der diskutierten Themen und unterstreicht, dass ein ‚Weiter wie bisher‘ nicht möglich ist (Kapitel 3).

⁵ <https://www.umweltbundesamt.de/uba-forum-mobil-nachhaltig-2019>.

⁶ <https://www.umweltbundesamt.de/uba-forum-mobil-nachhaltig-programm>.

⁷ <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/wohin-geht-die-reise-aktualisierte-fassung>.

⁸ <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltschonender-luftverkehr>.

Luftverkehr: Erste Analyse des ‚Fit for 55‘-Pakets der EU

Am 14. Juli 2021 hat die EU-Kommission ein umfangreiches Paket mit Vorschlägen zur Änderung von Richtlinien und Verordnungen vorgelegt, mit denen das Ziel die Treibhausgasemissionen bis 2030 in Europa um 55% gegenüber 1990 zu reduzieren erreicht werden soll. Das sogenannte ‚Fit for 55‘-Paket enthält auch einige Vorschläge für den Luftverkehr, insbesondere die Revision der Emissionshandelsrichtlinie für den Luftverkehr, die Einführung einer Beimischquote zur Beschleunigung der Nutzung von biobasiertem und synthetischem Kerosin (ReFuelEU Aviation) sowie die Revision der Energiesteuerrichtlinie.

Im Rahmen des Vorhabens wurden diese Vorschläge in weniger als einer Woche nach Veröffentlichung der Dossiers einer ersten kritischen Analyse unterzogen, um Schwachstellen zu identifizieren und Grundlagen für eine Positionierung der Bundesregierung zu diesem Paket zu schaffen. Wesentliche Schwachstelle bei der Revision der Emissionshandelsrichtlinie ist, dass nicht-CO₂-Emissionen weiterhin unberücksichtigt bleiben. Bei der Beimischungsquote wurde die Anforderungen, dass die Quote physisch an allen Flughäfen erreicht werden muss als eine besondere Herausforderung identifiziert und bei der Revision der Energiesteuerrichtlinie wurde die bei allen fiskalischen Instrumenten notwendige Einstimmigkeit als hohe Hürde für das Ende der Ausnahme der Flugkraftstoffe von der Energiebesteuerung benannt.

Seeverkehr: Erste Analyse des ‚Fit for 55‘-Pakets der EU

Am 14. Juli 2021 hat die EU-Kommission ein umfangreiches Paket mit Vorschlägen zur Änderung von Richtlinien und Verordnungen vorgelegt, mit denen das Ziel die Treibhausgasemissionen bis 2030 in Europa um 55% gegenüber 1990 zu reduzieren erreicht werden soll. Das sogenannte ‚Fit for 55‘-Paket enthält auch einige Vorschläge für den Seeverkehr, insbesondere die Integration des Seeverkehrs in das Europäische Emissionshandelssystem, die Einführung einer spezifischen Treibhausgasminderungsquote zur Beschleunigung der Nutzung nachhaltiger und synthetischer Kraftstoffe (FuelEU Maritime) sowie die Revision der Energiesteuerrichtlinie.

Im Rahmen des Vorhabens wurden diese Vorschläge in weniger als einer Woche nach Veröffentlichung der Dossiers einer ersten kritischen Analyse unterzogen, um Schwachstellen zu identifizieren und Grundlagen für eine Positionierung der Bundesregierung zu diesem Paket zu schaffen. Bei der Integration des Seeverkehrs in den Emissionshandel wurde als positiv hervorgehoben, dass der geographische Erfassungsbereich mit allen Emissionen innerhalb der EU sowie jeweils 50% der Emissionen auf ankommenden und abgehenden Reisen angemessen ist, um das Problem global zu adressieren, da nach und nach alle Emissionen des internationalen Seeverkehrs erfasst würden, wenn andere Staaten reziproke Instrumente einführen. Bei der Treibhausgasminderungsquote durch nachhaltige Kraftstoffe wurde die Rolle von Flüssiggas (Liquefied Natural Gas, LNG) kritisch betrachtet. Erste Abschätzungen zeigen, dass die Anforderungen in den ersten Jahren möglicherweise bereits durch die Nutzung von Schiffen, die mit fossilem LNG angetrieben werden, erfüllt werden können und es somit zu wenig Anreize zur beschleunigten Nutzung von nachhaltigen Kraftstoffen geben würde. Bei der Revision der Energiesteuerrichtlinie wurde der Anreiz zur Steuervermeidung durch Bunkern in Häfen jenseits der EU als kritischer Punkt identifiziert. Im internationalen Seeverkehr besteht aufgrund der relativ großen Tanks an Bord der Schiffe einerseits viel Flexibilität bezüglich des Zeitpunkts, wann gebunkert werden muss. Andererseits gibt es aufgrund der Tatsache, dass viele Reisen zu nicht-EU-Häfen führen, viele Gelegenheiten Preisdifferenzen auszunutzen. Insofern stellt sich nach der ersten Analyse des Vorschlags die Frage, ob das Risiko der Steuervermeidung, die auch zu einer Abschwächung der angestrebten Treibhausgasminderung führen würde, hinreichend berücksichtigt wurde.

Klimaziele für Luft- und Seeverkehr im Rahmen des ‚Fit for 55‘-Pakets der EU

In diesem Paper werden die Minderungsambitionen auf den verschiedenen politischen Ebenen für den Luft- und Seeverkehr mit den Ambitionen verglichen, die von Industrieverbänden dieser Sektoren kommuniziert wurden, um zu untersuchen, inwieweit diese angestrebten Minderungsbeiträge mit den Zielen des Übereinkommens von Paris vereinbar sind.

Die Analyse zeigt, dass die Klimaziele von ICAO und IMO nicht mit den Zielen des Pariser Klimaabkommens vereinbar sind und darüber hinaus auch weniger ambitioniert sind als die Zielsetzungen der Industrieverbände. Die meisten Verbände streben Netto-Null-CO₂-Emissionen bis 2050 an. In den meisten Fällen wird jedoch nicht festgelegt, in welchem Umfang die Reduzierung innerhalb oder außerhalb des Sektors durch Kompensation erreicht werden soll. Da Offset-Einheiten bis 2050 deutlich knapper sein werden als heute, können auch diese Ziele einen erheblichen Preiseffekt haben und auf diese Weise zusätzliche Emissionsminderungen innerhalb der beiden Sektoren induzieren (Kapitel 4).

Biokraftstoff für die Schifffahrt

Eine der Möglichkeiten die THG-Emissionen des Seeverkehrs zu reduzieren ist der Einsatz von Biokraftstoffen. Allerdings ist ungewiss, inwieweit Biokraftstoffe tatsächlich zur Dekarbonisierung beitragen können. Dies hängt unter anderem von der Entwicklung des Biomasseangebots, der Biomassenachfrage sowohl im Seeverkehr als auch in anderen Sektoren, dem THG-Reduktionspotenzial von Biokraftstoffen sowie der Energie- und Umweltpolitik ab. Dieses Papier konzentriert sich auf die potenzielle Biomassenachfrage des Seeverkehrs und anderer Sektoren innerhalb der EU.

Die Analyse zeigt, dass die potenzielle Verfügbarkeit nachhaltiger Biomasse in der EU im Jahr 2050 in den Bereich von 7 bis 20 EJ/Jahr fällt. Der aktuelle EU-Biomasseverbrauch für Materialien und Energie wird auf 10 bis 12 EJ/Jahr geschätzt. Dies deutet darauf hin, dass es wahrscheinlich wenig Spielraum für die Zunahme der Biomassenutzung in der EU gibt, es sei denn, Biomasse/Biokraftstoff wird in großem Umfang importiert. Das Importpotenzial für nachhaltige Biomasse aus dem Rest der Welt ist jedoch sehr ungewiss, da es von Biomasseangebot und Nachfrageentwicklungen in anderen Weltregionen abhängt. Es ist möglich, aber unwahrscheinlich, dass langfristig eine hinreichende Menge nachhaltiger Biomasse für die Produktion von Biokraftstoffen für den EU-Seeverkehr verfügbar sein wird. Politische Instrumente, die die Nutzung von Biomasse im Seeverkehr attraktiver machen und innovative Produktionspfade können dieses Bild jedoch verändern (Kapitel 5).

Fazit

Im Rahmen des Vorhabens wurden BMU und UBA umfangreich und zeitnah zu vielen Fragen im Kontext Treibhausgasminderung im internationalen Luft- und Seeverkehr unterstützt. Die Unterstützung reichte von der quantitativen Analyse von aktuellen Vorschlägen für Politiken oder Instrumente über die Ad-hoc-Unterstützung bei und zwischen den Verhandlungen internationaler Gremien (ICAO, IMO, EU, etc.) bis hin zur Weiterentwicklung bestehender Instrumente oder Entwicklung eigener Politikvorschläge.

Die Diskussion um Treibhausgasminderungen im Luft- und Seeverkehr konnte während der Laufzeit dieses Vorhabens ein Stück weit in Richtung des mit dem Übereinkommen von Paris kompatiblen Minderungspfades vorangetrieben werden. Das Vorhaben hat dazu eigene Beiträge geleistet und somit seine ursprüngliche Zielsetzung erfüllt. Gleichwohl sind der Internationale Luft- und Seeverkehr noch weit vom Paris-kompatiblen Minderungspfad entfernt. Insofern dürfen die Anstrengungen, internationale Vereinbarungen mit ambitionierten Zielen und Instrumenten abzuschließen, nicht nachlassen.

Literatur

- CAT - Climate Action Tracker (2020). International Shipping/Aviation Assessment, June 2020 Release. Climate Action Tracker, 2020. Online verfügbar unter <https://climateactiontracker.org/press/international-shipping-and-aviation-emissions-goals-both-critically-insufficient/>, zuletzt geprüft am 04.10.2021.
- CAT - Climate Action Tracker (2021): Glasgow's 2030 credibility gap: net zero's lip service to climate action, Climate Action Tracker. Online verfügbar unter https://climateactiontracker.org/documents/997/CAT_2021-11-09_Briefing_Global-Update_Glasgow2030CredibilityGap.pdf.
- CE Delft; UMAS - University Maritime Advisory Services; LR - Lloyd's Register; Öko-Institut (2019). Study on methods and considerations for the determination of greenhouse gas emission reduction targets for international shipping. CE Delft; University Maritime Advisory Services; Lloyd's Register; Öko-Institut, 2019. Online verfügbar unter <https://www.cedelft.eu/en/publications/download/2735>.
- CEU - Council of the European Union (2020). Submission to the UNFCCC on behalf of the European Union and its Member States on the update of the nationally determined contribution of the European Union and its Member States. Council of the European Union, 2020. Online verfügbar unter <https://www.consilium.europa.eu/media/47652/st14222-re01-en20.pdf>, zuletzt geprüft am 21.08.2022.
- EASA - European Union Aviation Safety Agency (2020). Updated analysis of the non-CO2 climate impacts of aviation and potential policy measures pursuant to the EU Emissions Trading System Directive Article 30(4), Report from the European Commission to the European Parliament and the Council (COM(2020)747final). European Union Aviation Safety Agency, 2020. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/clima/news/updated-analysis-non-co2-effects-aviation_en, zuletzt geprüft am 02.12.2020.
- ICAO - International Civil Aviation Organization (2021a): Update to Scenario Based Analyses of Potential Impacts of Covid19 on CORSIA, Council 223rd session, Presentation of the Executive Summary by CAEP. Unter Mitarbeit von CAEP, International Civil Aviation Organization. Online verfügbar unter https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CAEP_Update%20COVID-19%20impact%20analyses.pdf, zuletzt geprüft am 29.07.2021.
- ICAO - International Civil Aviation Organization (2018). ICAO long-term traffic forecasts. Passenger and cargo. International Civil Aviation Organization, 2018. Online verfügbar unter https://www.icao.int/sustainability/documents/ltf_charts-results_2018edition.pdf, zuletzt geprüft am 16.10.2020.
- ICAO - International Civil Aviation Organization (2021b): Effects of novel Coronavirus (Covid-19) on civil aviation: Economic impact analysis, International Civil Aviation Organization. Online verfügbar unter https://www.icao.int/sustainability/Documents/COVID-19/ICAO_Coronavirus_Econ_Impact.pdf, zuletzt geprüft am 01.06.2021.
- IEA - International Energy Agency (2020): CO2 Emissions from Fuel Combustion: Overview, International Energy Agency. Online verfügbar unter <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-from-fuel-combustion-overview>, zuletzt geprüft am 09.06.2021.
- IEA - International Energy Agency (2022): CO2 Emissions from Fuel Combustion Statistics: OECD Publishing.
- IMO - International Maritime Organization (2016). Data collection system for fuel oil consumption of ships, MEPC 70/18/Add.1. International Maritime Organization, 2016. Online verfügbar unter [https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/278\(70\).pdf](https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/278(70).pdf), zuletzt geprüft am 21.08.2022.
- IMO - International Maritime Organization (2018). Adoption of the initial IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships and existing IMO activity related to reducing GHG emissions in the shipping sector, Note by the International Maritime Organization to the UNFCCC Talanoa Dialogue - Resolution MEPC.304(72). International Maritime Organization, 13.04.2018. Online verfügbar unter

- https://unfccc.int/sites/default/files/resource/250_IMO%20submission_Talanoa%20Dialogue_April%202018.pdf, zuletzt geprüft am 14.06.2019.
- IMO - International Maritime Organization (2020). Fourth IMO Greenhouse Gas Study 2020, Reduction of GHG Emissions from Ships (MEPC 75/7/15). International Maritime Organization. London, 2020. Online verfügbar unter <https://docs.imo.org/Shared/Download.aspx?did=125134>, zuletzt geprüft am 24.10.2020.
- Lee, D. S.; Fahey, D. W.; Skowron, A.; Allen, M. R.; Burkhardt, U.; Chen, Q.; Doherty, S. J.; Freeman, S.; Forster, P. M.; Fuglestedt, J.; Gettelman, A.; León, R. R. de; Lim, L. L. et al. (2021): The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment* 244, S. 117834. DOI: 10.1016/J.ATMOSENV.2020.117834.
- Öko-Institut (2015): Cames, M.; Graichen, J.; Siemons, A.; Cook, V. Emission reduction targets for international aviation and shipping. Öko-Institut. European Parliament (Hg.), 2015. Online verfügbar unter [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/569964/IPOL_STU\(2015\)569964_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/569964/IPOL_STU(2015)569964_EN.pdf), zuletzt geprüft am 11.11.2019.
- Traut, M.; Larkin, A.; Anderson, K.; McGlade, C.; Sharmina, M.; Smith, T. (2018): CO 2 abatement goals for international shipping. In: *Climate Policy* 18 (8), S. 1066–1075. DOI: 10.1080/14693062.2018.1461059.
- UBA - Umweltbundesamt (2019a). Umweltschonender Luftverkehr, lokal-national-international (UBA Texte, 130/2019). Umweltbundesamt, 2019. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltschonender-luftverkehr>, zuletzt geprüft am 13.12.2019.
- UBA - Umweltbundesamt (2019b): Jeffery, L.; Siemons, A.; Förster, H.; Hermwille, L. Tackling the Challenges of Assessing Collective Progress for an Effective Global Stocktake, *Climate Change* 04/2019. Umweltbundesamt, 2019. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/global-stocktake-summary>, zuletzt geprüft am 21.03.2021.
- UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change (1998). Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. United Nations Framework Convention on Climate Change, 1998. Online verfügbar unter <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>, zuletzt geprüft am 31.08.2021.
- UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change (2015). Paris Agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change, 2015. Online verfügbar unter http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf, zuletzt geprüft am 31.08.2021.
- WRI - World Resources Institute (2020): Dagnet, Y.; Leprince-Ringuet, N.; Mendoza, J. M.; Thwaites, J. A Vision for a Robust Global Stocktake, Part of the iGST Designing a Robust Stocktake Discussion Series (Designing a robust stocktake discussion series). World Resources Institute, 2020. Online verfügbar unter <https://www.wri.org/publication/independent-global-stocktake>, zuletzt geprüft am 15.03.2021.
- Wuppertal Institut (2020): Beuermann, C.; Obergassel, W.; Wang-Helmreich, H. Design options for the global stocktake: lessons from other review processes, Part of the iGST Designing a Robust Stocktake Discussion Series. Wuppertal Institut, 2020. Online verfügbar unter https://www.climateworks.org/wp-content/uploads/2020/05/Design-Options-for-the-Global-Stocktake_iGST_Wuppertal.pdf, zuletzt geprüft am 23.03.2021.

1 Luftverkehr und Klimaschutz – erheblicher Handlungsbedarf

29 August 2019

1.1 Ausgangslage

Der Luftverkehr ist national und vor allem global ein schnell wachsender Sektor. Die klimarelevanten Emissionen wachsen deshalb, obwohl durch technisch und operativ bedingte Maßnahmen die Effizienz in den letzten Jahrzehnten ständig gestiegen ist. Darüber hinaus trägt der Luftverkehr durch nicht-CO₂-Wirkungen zum Klimawandel bei, die die Wirkungen des CO₂ im globalen Durchschnitt um den Faktor 2-4 übertreffen.

Deshalb besteht vor allem aus Klimaschutzgründen erheblicher Handlungsbedarf. Die vorhandenen Klimaschutzinstrumente im Luftverkehr reichen nicht aus, um die klimarelevanten Emissionen national oder global zu reduzieren.

Der Luftverkehr hat im Vergleich zu anderen Verkehrsmitteln eine Sonderstellung. Dies trifft insbesondere für den steuerlichen Bereich zu. Für Kerosin im gewerblichen Flugverkehr existiert eine Ausnahmeregelung, so dass der reguläre Satz nach Energiesteuergesetz von derzeit 65,45 Cent/Liter nicht erhoben wird. Dies entspricht aktuell entgangenen Steuereinnahmen in Höhe von mehr als 8 Mrd. Euro/Jahr – allein für Inlandsflüge betragen die entgangenen Steuereinnahmen rund 0,5 Mrd. Euro/Jahr. Zudem wird die Mehrwertsteuer (MwSt.) derzeit nur auf Inlandsflügen erhoben, grenzüberschreitende Flüge im gewerblichen Luftverkehr sind von der MwSt. befreit. Dies entspricht zusätzlichen entgangenen Steuereinnahmen von rund 5 Mrd. Euro/Jahr. Allerdings wird im Luftverkehr seit 2011 eine Luftverkehrssteuer erhoben, die an Abflüge in Deutschland gebunden und in drei Stufen nach Zielland gestaffelt erhoben wird. In 2018 wurden 1,2 Mrd. EUR eingenommen, was rund 10% der Subvention durch die Befreiung von Energie- und Mehrwertsteuer entspricht. Im landgebundenen Verkehr sind beide Steuern fällig.

Mit einer Einführung einer CO₂-Bepreisung der Kraftstoffe im landgebundenen Verkehr würde diese Ungleichbehandlung weiter vergrößert. Dies ist klimapolitisch nicht zu rechtfertigen. Deshalb sollten im Klimakabinett parallel zu den Beschlüssen zum CO₂-Preis und zum Maßnahmenpaket für den (landgebundenen) Verkehr zusätzliche Maßnahmen zum Luftverkehr beschlossen werden.

1.2 Handlungsbedarf

Um zum einen eine Gleichbehandlung der verschiedenen Verkehrsmittel zu erreichen und zum anderen die Anreize zur Reduzierung der klimarelevanten Emissionen deutlich zu erhöhen, schlagen wir folgende Schritte vor:

Das Klimakabinett/Bundesregierung beschließt im September

1. konkrete nationale Maßnahmen für den Luftverkehr
2. weitere Maßnahmen, für deren Umsetzung sich die Bundesregierung mit Nachdruck parallel auf europäischer und globaler Ebene einsetzt.

Die Bundesregierung beschließt folgende Maßnahmen:

1. Nationale Ebene

- a) Die bestehende Luftverkehrssteuer in Deutschland wird geändert (Erweiterung der Erhebungsklassen, Erhöhung der Sätze). Die Kopplung mit dem EU-ETS und damit die

Deckelung der Luftverkehrssteuer auf 1 Mrd. Euro wird aufgehoben. Die Sätze werden so erhöht, dass sie zu Mehreinnahmen in Höhe von ca. 750 Mio. Euro pro Jahr führen.

- b) Es wird in Deutschland eine nationale Kerosinsteuer in Höhe von 33 ct/l entsprechend dem EU-Mindeststeuersatz für Inlandsflüge eingeführt. Diese führt zu Einnahmen in Höhe von ca. 250 Mio. Euro/Jahr.
- c) Die Mehreinnahmen aus Luftverkehrs- und Kerosinsteuer (rund 1 Mrd. Euro) werden in einem parallelen Beschluss zur Förderung der Nutzung von synthetischen Kraftstoffen aus erneuerbaren Energiequellen (PtL) im Luftverkehr und zur Steigerung der Energieeffizienz im Luftverkehr (z.B. für effiziente Flugzeuge) eingesetzt. Hierzu wird richtet die Bundesregierung einen Innovationsfonds ein.
- d) Die Bundesregierung wird Ausschreibungen für die Produktion von PtL-Kerosin durchführen, um die Produktion von PtL-Kerosin anzureizen. Hierzu werden die Gelder des Innovationsfonds verwendet.
- e) In Deutschland wird eine Beimischungsquote für PtL-Treibstoffe eingeführt, die bis 2030 zusätzlich zur Förderung von der PtL-Produktion die Nachfrage nach PtL-Kerosin absichert.
- f) Die Bundesregierung beschließt, das Reisekostenrecht mit dem Ziel ändern, den Schienenverkehr im Vergleich zum Luftverkehr zu begünstigen. Zudem wird geprüft, inwieweit klimabezogene Kompensationen zur Nutzung von PtL-Kerosin stärker als bisher angereizt werden können.

2. Europäische und internationale Ebene

- a) Weiterentwicklung des EU-ETS: Die Bundesregierung setzt sich insbesondere für die Beendigung der freien Zuteilung von Emissionszertifikaten ein (aktuell 85% freie Zuteilung). Weitere Ambitionssteigerung könnte durch eine Verschärfung des Cap, eines sektoralen Mindestpreises sowie einer Begrenzung des Zukaufs von Zertifikaten aus dem stationären ETS erreicht werden.
- b) Die Bundesregierung setzt sich für eine europaweite Einführung einer Kerosinsteuer in Kombination mit einer europaweiten Ticket-Tax ein. Falls kein Konsens in der EU hierzu möglich ist, versucht die Bundesregierung bilaterale Abkommen mit Mitgliedsstaaten abzuschließen, um eine Kerosinsteuer für Flüge zwischen Deutschland und diesen Ländern einzuführen.
- c) Die Bundesregierung schafft europäisch die Voraussetzungen für die europaweite Einführung einer Beimischungsquote für PtL-Kerosin.
- d) Weiterhin setzt sich die Bundesregierung global für die Weiterentwicklung von CORSIA zu einem klimapolitisch möglichst ambitioniertes Instrument ein. Dazu gehört insbesondere auch, dass CORSIA so ausgestaltet und weiterentwickelt wird, dass der Anreiz für den Einsatz von PtL-Kerosin möglichst hoch ist.
- e) Ausschreibung für die Produktion PtL-Kerosin auf europäischer Ebene. Hierfür werden die zusätzlichen Einnahmen aus Erlösten der Versteigerung von Emissionszertifikaten verwendet

1.3 Begründung

Die vorgeschlagenen Maßnahmen tragen dazu bei, die klimarelevanten Emissionen (CO₂ und nicht-CO₂) im Luftverkehr zu reduzieren. Zudem tragen Sie dazu bei, einen Schritt in Richtung steuerliche Gleichbehandlung der Verkehrsmittel zu realisieren, Inlandsflüge auf die Bahn zu verlagern und die Produktion und den Einsatz von PtL-Kerosin maßgeblich zu unterstützen. Damit wird nicht nur ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet, sondern auch zur Luftreinhaltung.

Der Luftverkehr ist eine sehr stark international agierende Branche. Deshalb ist notwendig, Maßnahmen auch auf europäischer und globaler Ebene voranzutreiben. Da dies jedoch häufig

schwierig und damit länger andauernde Verhandlungsprozesse sind, ist es in einem ersten Schritt notwendig, auf nationaler Ebene Maßnahmen zu ergreifen, die klimapolitisch wirksam sind. Damit schafft die Bundesregierung die Voraussetzung, dass es auf europäischer Ebene zu weiteren Maßnahmen im Schulterschluss mit anderen Staaten kommen kann.

Zu den einzelnen Maßnahmen:

- ▶ Erhöhung der Luftverkehrssteuer: Eine Einführung der MwSt. auf internationalen Flügen kann von Deutschland nicht im Alleingang eingeführt werden, eine Einigung darüber selbst in der EU ist nicht absehbar. Die Luftverkehrssteuer kann als dafür als Ersatz angepasst werden. Eine Erhöhung um den Faktor 4-5 wäre notwendig, um die entgangenen Einnahmen der MwSt. auszugleichen.
- ▶ Einführung der Kerosinsteuer: Im nationalen Flugverkehr ist dies sofort möglich. Es wird vorgeschlagen, anfangs nur den Mindestsatz nach EU-Energiesteuerrichtlinie von 33 Cent/Liter zu erheben. Für eine europaweite Einführung wäre ein Konsens aller EU-Mitgliedsstaaten notwendig. Im Rahmen von bilateralen Luftverkehrsabkommen könnte eine Besteuerung aber innerhalb einer Gruppe interessierter Länder eingeführt werden.
- ▶ Weiterentwicklung des ETS: Freie Zuteilung wird im stationären ETS nur solchen Sektoren gewährt, die von Carbon Leakage betroffen sein könnten (Abwanderung der Produktion ins Ausland ohne CO₂-Bepreisung). Diese Gefahr besteht im Luftverkehr nicht, da nur Intra-EEA Flüge im ETS erfasst sind.

2 Power-to-Liquids (PTL): Sustainable Fuels for Aviation

10 September 2019

The information paper for ICAO's 40th Assembly presented below was drafted and consolidated by the members of the project team.⁹



International Civil Aviation Organization

WORKING PAPER

A40-WP/526
EX/222
10/9/19
(Information paper)
English only

ASSEMBLY — 40TH SESSION

EXECUTIVE COMMITTEE

Agenda Item 16: Environmental Protection – International Aviation and Climate Change — Policy and Standardization

POWER-TO-LIQUIDS (PTL): SUSTAINABLE FUELS FOR AVIATION

(Presented by Germany)

EXECUTIVE SUMMARY

The ICAO basket of CO₂ mitigation measures includes aircraft technology, operational improvements, sustainable aviation fuels and the Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), in order to achieve ICAO's global aspirational goals with regard to environmental protection and climate change for international aviation. Sustainable fuels have the potential to become a major element for achieving absolute emissions reductions in aviation. Also, the 2015 Paris Agreement under the United Nations Framework Convention on Climate Change requires massive reductions of climate relevant emissions in all sectors by mid-century to pave the way for a global temperature rise limitation in the second half of this century.

This Information Paper provides a current overview of the concept of producing sustainable jet fuel using additional renewable electricity, so-called Power-to-Liquids (PtL). Production pathways and jet fuel drop-in capability are explained. Compared to biofuels, PtL do not raise the demand for arable land and require lower water input. Produced from renewable electricity, PtL have the potential to become almost CO₂-neutral in the longer-term. PtL can make a major contribution to a climate friendly air transport sector.

<i>Strategic Objectives:</i>	This working paper relates to Strategic Objective E – Environmental Protection.
<i>Financial implications:</i>	
<i>References:</i>	

1. INTRODUCTION

1.1 The ICAO basket of CO₂ mitigation measures includes aircraft technology, operational improvements, sustainable aviation fuels and the Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), in order to achieve ICAO's global aspirational goals with regard to environmental protection and climate change for international aviation. Sustainable fuels have the

⁹ The original of the information paper is available at: https://www.icao.int/Meetings/a40/Documents/WP/wp_526_en.pdf.

A40-WP/526
EX/222

- 2 -

potential to become a major element for achieving absolute emissions reductions in aviation. Also, in the Paris Agreement under the United Nations Framework Convention on Climate Change of 2015, the signatories declared to keep the global temperature rise well below 2 °C, and to drive efforts to limit the temperature increase even further to 1.5 °C above pre-industrial levels. This agreement requires a substantial reduction of all climate relevant emissions and efforts from all sectors and fields of application - including air transport - to achieve temperature neutrality in the second half of this century. ICAO's long-term traffic forecasts of 2018, which cover the coming two decades, expect global aviation to grow by 4.1 % on average annually. Efficiency measures in the air transport sector are essential and must be significantly reinforced. However, in the past, annual efficiency improvements did not exceed 2 %, leading to a net increase of climate relevant emissions. One essential option to achieve ambitious emissions reductions are sustainable fuels which allow a minimization of climate relevant emissions and which are based on renewable energies, thus avoiding depletion of natural resources. The ICAO Basket of Measures highlights the importance of reductions of climate relevant emissions by the use of sustainable aviation fuels as an important pillar. Accordingly, CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation), adopted by the ICAO Member States in October 2016, and the ICAO Vision on Sustainable Aviation Alternative Fuels should comprise PtL as a measure to substantially reduce climate relevant emissions from aviation. Earlier input on PtL was presented by Germany at the CAEP Steering Group meeting 2016 and by Germany's technical experts at the ICAO 'Conference on Aviation and Alternative Fuels', which took place in October 2017 in Mexico City.

2. WHAT ARE "POWER-TO-LIQUIDS"?

2.1 PtL stands for "Power-to-Liquids" comprising synthetically produced liquid hydrocarbon fuels for combustion engines in aviation - and possibly for other transport modes like shipping and heavy duty haulage. The main energy source and feedstocks for the production of Power-to-Liquids are renewable electricity, water and carbon dioxide (CO₂).

2.2 Typically, PtL production comprises three main steps:

- 1) Hydrogen production from renewable electricity using the electrolysis of water;
- 2) Provision of climate neutral CO₂¹ and conversion; and
- 3) Synthesis to liquid hydrocarbons with subsequent upgrading/conversion to refined fuels.

2.3 Different synthesis methods to produce renewable PtL jet fuel are available, e.g. the Fischer-Tropsch (FT) synthesis, or the methanol (MeOH) synthesis. The Fischer-Tropsch synthesis process produces a mixture of various long-chain hydrocarbons which must undergo further processing to get jet fuel, gasoline, diesel, and other basic chemicals. According to current jet fuel standards, blending with conventional kerosene is possible up to 50 %. Methanol synthesis results in products of very high purity, subsequently processed to long-chain hydrocarbons.

2.4 Other production technologies for renewable liquid fuels of non-biogenic origin are currently under research and development. The "Sun to Liquid" process funded by the EU's H2020 research program is one current example for current R&D activities to push PtL production processes.²

¹ Non-fossil CO₂ can be extracted from the air or derived from biogenic sources of existing installations.

3. WHY PTL FUELS?

3.1 As long-haul aviation will very likely be depending on liquid fuels in the coming decades, it is necessary to encourage the production and use of climate-neutral liquid fuels to contribute to the global climate goals.

3.2 In comparison to biofuels, PtL achieves higher area-related yields when energy is derived from renewable energy sources such as photovoltaic and wind energy. The water requirement for PtL production is also significantly lower compared to the production of biofuels. Therefore, PtL can be seen as a key technology to enable a fully regenerative, sustainable, post-fossil fuel supply of aviation in the longer run, while avoiding the potential risks and adverse side effects through the energetic use of cultivated biomass and in land-use.

3.3 In the medium-term, it is essential to bring forward synthetic fuels like PtL. As the synthesis of PtL requires large amounts of renewable energy, their use should be focused on sectors in which electricity cannot be used directly, such as existing aircraft and engine technologies. This comprises pilot and demonstration projects for the production of PtL, which aim to reduce production costs by economies of scale, enable market launch and contribute to ensure sufficient capacity of this technology in the long-term.

3.4 Like biofuels, PtL is a hydrocarbon which means that non-CO₂ effects of emissions at high altitude (e.g. coming from change of natural cloudiness resp. nitrogen oxides, sulphur oxides, water vapour, and aerosols like soot and partially NO_x) would remain. Through the ‘design’ of PtL, these effects may be downscaled but cannot be avoided entirely. Unless a technological breakthrough towards electrical propulsion on long-haul flight can be achieved, such effects on high altitudes can only be addressed by significant efficiency improvements, climate friendly routing, traffic reduction and finally offsetting by negative emissions elsewhere.

4. CRITERIA FOR SUSTAINABLE POWER-TO-LIQUIDS

4.1 To ensure that PtL contributes to global GHG reduction and does not harm sustainable development, three general criteria must be fulfilled:

- 1) Production from additional renewable energy,
- 2) Use of required CO₂ from non-fossil sources, and
- 3) Production regions provide for sustainable, socially and environmentally responsible production, e.g. water and territory for renewable electricity generation must not be scarce or already at their limits.

4.2 Provided that PtL is derived from additional renewable electricity and non-fossil CO₂, it could reduce aviation’s CO₂ emissions significantly. However, to achieve this, PtL production plants

² See WP by EU on European Views and Support for the Development and Use of Sustainable Alternative Aviation Fuels [CAAF2/17-WP/14]: Horizon 2020 project SUN-to-LIQUID and <http://www.sun-to-liquid.eu/>.

A40-WP/526
EX/222

- 4 -

would have to obtain their power only from additional renewable energy sources and must not cause additional fossil electricity generation, since otherwise global CO₂ emissions could even increase.³

5. TECHNOLOGY READINESS LEVEL

5.1 PtL can be produced from concentrated renewable CO₂ sources using established industrial processes with relatively high technology readiness levels.⁴ While individual processes have been applied on a large-scale, PtL full system integration is recently progressing due to demonstration plants in Iceland, Finland, Germany, Spain⁵, Switzerland⁶ and Norway. A demonstration plant for PtL jet fuel will be built in Stade (Germany) by 2021/2022.⁷ Improved processes for carbon capture from air and high-temperature electrolysis, which are at industrial scale demonstration level in Canada and Norway currently, could increase the production potential and efficiency, respectively.⁸

5.2 PtL jet fuel is drop-in capable. The ASTM jet fuel standard allows for a 50% blend of Fischer-Tropsch synthetic fuel. A further increase of the blending quota is technologically possible. PtL via the methanol pathway is not yet approved.

6. ECONOMICS AND SCALABILITY

6.1 A crucial aspect for a large scale use of PtL is the economic feasibility. The main constraints for the short-term deployment of PtL synthesis and use are production costs compared to conventional jet fuel. Under current conditions, costs for PtL jet fuel are expected to be 3 to 5 times higher than costs for conventional fuel⁹. However, significant cost reductions can be achieved through decreasing renewable electricity costs (wind, solar), increasing efficiencies through improved PtL production processes (e.g. high-temperature electrolysis, CO₂ extraction, etc.), learning effects through increased deployment, and economies of scale. Learning curves can be quite steep under favourable conditions as the development of wind power and photovoltaics cost has shown in the past.

6.2 The development of PtL could take advantage of the high renewable power generation potentials in regions where the potential exceeds domestic energy demand. PtL thus entails increased energy safety, locally added value, and a sustainable business perspective for regions with abundant renewable energy potential.

6.3 PtL is not merely a technology for aviation's fuel demand. PtL production via the Fischer-Tropsch synthesis pathway gives rise to a multitude of hydrocarbons as intermediate products. Hence, to further facilitate the deployment of the technology up to market maturity, the sectors should

³ Öko-Institut (2019): Kein Selbstläufer: Klimaschutz und Nachhaltigkeit durch PtL. https://www.oeko.de/fileadmin/oeko_doc/Impulspapier-soz-pek-Kriterien-e-fuels.pdf

⁴ While this approach does not result in a closed loop recycling of CO₂ emissions, carbon could at least be used twice – first for the industrial process and second as a component of the synthetic fuel. As long as the capture of carbon from the air is too costly, this could be a viable way for the development of the synthetic fuel industry.

⁵ https://www.dlr.de/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151_read-35119/##gallery/35513

⁶ <https://www.iwr.de/news.php?id=36104>

⁷ <https://www.airliners.de/synthetische-treibstoffe-ruft-luftfahrt-klimabilanz/50510>

⁸ See 'The Carbon Capture & Storage Association (CCSA)' (2019) International CCS projects, <http://www.ccsassociation.org/why-ccs/ccs-projects/international-projects/>.

⁹ See Albrecht, F. G. Maier, S.; Dietrich, R.-U. (2017): Power-to-X for the future fuels supply, Techno economic evaluation and system analysis, presentation held 18 Oct 2017, <https://elib.dlr.de/116674/> and Schmidt, P. et al. (2018), Power-to-Liquids as Renewable Fuel Option for Aviation: A Review, *Chemie Ingenieur Technik*, Vol. 90, No 1-2, pp 127-140, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cite.201700129>.

cooperate in a common effort to achieve synergies, e.g. with long-haul international shipping and the chemical industry.

7. PTL SUPPORTING ACTIVITIES IN GERMANY AND EUROPE

7.1 The further development of PtL especially for aviation is being actively supported in Germany and Europe. For instance, the Aviation Initiative for Renewable Energy in Germany 'aireg' is committed to the increased production and use of regenerative aviation fuels in Germany (www.aireg.de). In 2011, aireg was founded by airlines, airports, research institutes, companies of the aviation industry and companies in the provision and processing of raw materials. At the National Aviation Conference on August, 21st 2019, the Federal Ministry of Economics and Energy, the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure, the Federal States, Trade Unions and the Aviation Industry jointly signed a statement of their goals for a national aviation strategy. One goal is to strengthen research and development for PtL in order to make air traffic more climate-friendly in the medium-term. The German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety and the German Environment Agency are funding a research project for developing a roadmap for climate protection in aviation and maritime transport focussing on synthetic fuels from renewable energy as one important mitigation option. This research project is conducted by Oeko-Institut, DLR and CE Delft. The EU funded SUN-to-LIQUID project started in 2016 and will design, fabricate, and experimentally validate a large-scale, complete solar fuel production plant. The field validation will integrate for the first time the whole production chain from sunlight, H₂O and CO₂ to liquid hydrocarbon fuels.¹⁰ Furthermore, the German Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure (BMVI) has implemented a comprehensive international research and demonstration project regarding the use of renewable jet fuel at airport Leipzig/Halle (DEMO-SPK). The main objective of the DEMO-SPK project is to examine the behaviour of different multi-blends of fossil and renewable jet fuels under realistic conditions within the general fuel supply infrastructure of an airport. Impacts on the reliable and safe operation of the airport infrastructure as well as determination of necessary technical adjustments are of great interest. Various renewable jet fuels are used and tested from different manufacturing processes. Results of the project will be presented by the end of 2019.¹¹

7.2 All these activities are very important for triggering the learning processes which are essential to further develop PtL production and deployment in the medium and long-term.

— END —

¹⁰ <http://www.sun-to-liquid.eu/>.

¹¹ <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/MKS/demo-spk.html>.

3 Luftverkehr der Zukunft

3 March 2020

3.1 Erster Tag (6. November 2019)

3.1.1 Heute unser morgen besser machen

Moderation: Carla Schönfelder, team ewen

- ▶ Britta Steffen, Sportlerin, Moderatorin

Zusammenfassung

- ▶ Im Sommer 2019 beschließt die 35-jährige Olympia Schwimmerin nicht mehr zu fliegen.
- ▶ Die Bevölkerung sollte sich nicht an die katastrophalen Umstände gewöhnen, sondern hat die Möglichkeit zu handeln; Flugverzicht liegt für alle im Bereich des Möglichen, bei Geschäftsreisen bietet sich eine Videokonferenz oder Zugreise an.
- ▶ Genuss im Verzicht – man kann auch nahe gelegene Orte noch entdecken und genießen.
- ▶ Wichtig ist nicht, zu gewinnen oder 100% zu erreichen, sondern sich wacker geschlagen zu haben und so viel getan zu haben, wie man kann.

Britta Steffen hat Umwelt und Nachhaltigkeit studiert, an unzähligen Schwimmwettkämpfen teilgenommen und stets versucht, so umweltfreundlich wie möglich zu leben. Nachdem sie Greta Thunbergs Buch gelesen hatte, begann sie, sich mehr mit dem Thema Nachhaltigkeit und Klimawandel auseinanderzusetzen. Meist wird das eigene Nichthandeln damit entschuldigt, dass die Auswirkungen des Individuums auf das Klima verschwindend klein sein und der Staat mehr regulieren sollte.

Aus diesem Gefühl der Machtlosigkeit entwickelt sich bei der 35-Jährigen eine Sinnkrise. Eine ähnliche hatte sie bereits vor 15 Jahren, als sie als ewiges Schwimmtalent galt und doch merkte, dass ihr etwas fehlte. Damals begann sie mithilfe ihrer Freunde und Therapeuten einen alternativen Trainingsweg einzuschlagen. Nun sollte nicht nur der Körper, sondern auch der Geist trainiert werden. Es ging nicht mehr darum, die Beste Schwimmerin zu werden, sondern darum die beste Britta zu sein, qualitativ besser zu werden und nicht nur quantitativ zu liefern.

Durch ihre bereits im Kindesalter beginnende Karriere ändert sich der Lebensstil der Familie. Wenn es früher noch mit dem Auto an die Ostsee ging, fliegt die junge Britta mit ihren Eltern zum Trainingslager nach Teneriffa und später dann zu den ersten „Nachhaltigkeitsspielen“ in London. Zwischen 2017 und 2019 sei sie mindestens 50-mal geflogen sagt die Schwimmerin. Das entspricht etwa 175 t CO₂ in 2 Jahren. Obwohl sie bereits im Studium gelernt hatte, dass ein Mensch etwa 2 t CO₂ pro Jahr emittieren sollte, hat sie sich erst jetzt mit dem Thema auseinandergesetzt.

Den Beschluss, nicht mehr zu fliegen, fällt Britta Steffen als sie nach Amerika eingeladen wird um dort in die Hall of Fame aufgenommen zu werden. Sie entscheidet sich, nicht nach Amerika zu fliegen. Für zwei Tage nach Amerika zu fliegen, hat sich nicht richtig angefühlt. Zur gleichen Zeit wird Britta Steffen auch nach Afrika eingeladen, um dort eine Schule einzuweihen. Sie schlägt vor das Geld, das für das Ticket aufgewendet wird, anstatt in Bücher oder Stifte für die Schulkinder zu investieren. Letztendlich wird Britta ausgeladen. Auf dem Weg zum Green Teck Award liest Britta Steffen das Buch von Greta Thunberg fertig und beschließt nicht nur länger im Stillen für mehr Klimaschutz zu stehen, sondern aktiver zu werden. In einem Interview antwortet sie auf die Frage „was tun sie für mehr Klimaschutz“ damit, dass sie in Zukunft nicht mehr das

Flugzeug benutzen würde, auch nicht für Business Angelegenheiten, wie beispielsweise die Olympischen Spiele in Tokyo.

Der Mensch, so Britta Steffen, gewöhne sich an dramatische Zustände, die man auf keinen Fall akzeptieren sollte. Hier dienen als Beispiel Chlor in Schwimmbädern oder auch der Smog über japanischen Metropolen. Diese Anpassungsfähigkeit sei tödlich. Doch läge das Problem mit dem Fliegen auch daran, dass der Alltag wenig Pausen erlaube. Der Bürger hänge sich von Urlaub zu Urlaub und fügt sich der allgemeinen Behauptung, richtige Entspannung finde man nur in ferneren Gebieten. Der Schlüssel zu diesem Problem läge einerseits im sogenannten „Genuss im Verzicht“ und auch in einer Veränderung der alltäglichen Umstände.

So freut sich Britta Steffen beispielsweise darauf, ihre Heimat zu entdecken und alle Facetten zu entdecken. Das Argument, dass Emissionen entstanden durch den Flugverkehr relativ klein im Vergleich zu den Emissionen entstanden durch die Landwirtschaft und Tierhaltung sind, entgegnet Britta Steffen, dass nichtdestotrotz eine Flugreise nach Tokyo beispielsweise die eigene CO₂-Bilanz drastisch verändert und sie ihren eigenen CO₂-Fußabdruck so klein wie möglich halten wolle.

Das Motto soll sein, nicht der/die Beste sein zu wollen oder gar kein CO₂ mehr auszustoßen, sondern sich im Kampf gegen den Klimawandel wacker geschlagen zu haben. Auf die Frage ob es unverzichtbare Flüge gäbe, meint Britta Steffen, dass es auf jeden Fall Situationen gibt, in denen Flüge „entschuldigbar“ sind. Hier nennt sie Entwicklungsarbeit als Beispiel. Alternative Kraftstoffe oder Kompensation von Flügen betitelt die Schwimmerin als modernen Ablasshandel, der für sie im Moment nicht in Frage käme und das Verzicht für sie die derzeit beste Handlungsmöglichkeit ist.

3.1.2 Auf dem Weg zum nachhaltigen Luftverkehr: Herausforderungen und Lösungen

Moderation: Carla Schönfelder, team ewen

- ▶ Prof. Stefan Gössling, Professor am Department of Service Management and Service Studies der Universität Lund sowie der School of Business and Economics der Linnaeus-Universität

Zusammenfassung

- ▶ USA tritt aus dem Pariser Klimaabkommen aus, CORSIA und die ICAO versagen.
- ▶ 3% der Weltbevölkerung fliegt international, Einzelpersonen haben eine große Auswirkung auf die durch den Luftverkehr entstehenden Emissionen.
- ▶ Die Notwendigkeit von Flugreisen kann in vielen Fällen in Frage gestellt werden.
- ▶ Klimafreundlicher Treibstoff bleibt ein Mythos.
- ▶ Soziale Ungerechtigkeit ist ein zentraler Kritikpunkt beim Luftverkehr.

Der Austritt der USA aus dem Pariser Klimaabkommen dramatisiert die internationale Klimapolitik zunehmend. Der weltweite Flugverkehr und dessen Emissionen scheinen ein unlösbares Problem zu sein. Jedoch nur 3% der Weltbevölkerung fliegt international, in Deutschland fliegen weniger als die Hälfte der Bürger einmal pro Jahr. Und trotzdem sind die Auswirkungen dramatisch. Vor allem Einzelpersonen, wie beispielsweise Bill Gates, verursachen das bis zu 1.000-fache der Durchschnittsemissionen im Flugverkehr. Diese ungleiche Verteilung von Flugreisen, die sich in den entwickelten Ländern konzentriert, sich aber auf den gesamten Planeten negativ auswirkt, ist auch eine Klimagerechtigkeitsfrage.

Wir brauchen eine Debatte, die hinterfragt, welche Flugreisen wirklich notwendig sind und welche vermeidbar oder gar überflüssig sind. Hinzu kommt, dass internationale Abkommen und

Vereinbarungen wie CORSIA unter der ICAO in ihren Vorhaben gescheitert sind, den Flugverkehr klimafreundlich umzugestalten und auf supranationaler Ebene Regelungen einzuführen. Auch die Nutzung von Biokraftstoffen oder Effizienzsteigerungen seien unzureichend, da die Gesamtemissionen denn stetig steigen. In jeder Nation wird auf unterschiedliche alternative Kraftstoffe gesetzt: In Deutschland ist es vielleicht PtL, aber in Schweden dann Biokraftstoffe, in England hybridelektrische Antriebe und Norwegen denkt über batterieelektrische Antriebe nach – daher kann man auf einen geeinigten Beschluss noch lange warten. Diese technologischen Mythen bleiben seit 20 Jahren Mythen, deren Chance umgesetzt zu werden letztendlich gering ist.

Auch fällt einem die Konfrontation von unterschiedlichen „Influencern“ in den sozialen Medien auf. So verschieben sich die Normen der Gesellschaft je nach Idol oder sozialem Status. Jennifer Lopez hat auf Instagram 104 Mio. Follower, die ihrem Vielflieger Lebensstil nacheifern, während Greta Thunberg über etwa ein Zehntel dieses Publikums verfügt. Somit stehen sich unterschiedliche Normen gegenüber an denen sich auch die Gesellschaft im gewissen Maße spaltet.

Das wohl Wichtigste bei der Debatte um Flugverkehr und die damit verbundenen Klimafolgen ist vor allem die soziale Ungerechtigkeit, die dieser Transport mit sich bringt. Weniger als die Hälfte der Weltbevölkerung entscheidet das Schicksal für alle und die unmittelbaren Folgen tragen die, die nicht privilegiert genug sind, um selber einmal geflogen zu sein. Einzelpersonen entscheiden die Zukunft von Milliarden von Menschen und da fragt man sich dann doch wohin sich das ganze entwickelt.

Eine Option zu Minderung des Flugverkehrs wäre es beispielsweise, durch Subventionen die Profitabilität von Airlines zu senken. Bezüglich der Profitabilität kann man feststellen, dass diese beispielsweise bei der Airline CONDOR sich bereits im Abstieg befindet.

3.1.3 Workshops

Klimaschutz – Kurs auf Paris nehmen

Moderation: Dr. Jürgen Landgrebe, UBA

- ▶ Dr. Brigitte Knopf, Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change
- ▶ Prof. Dr. Robert Sausen, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
- ▶ Dr. Olaf Hölzer-Schopohl, UBA

Zusammenfassung

- ▶ Die Zeit drängt! Bei einem „Weiter so“ ist das CO₂-Budget für das 1,5°C-Ziel in acht Jahren aufgebraucht.
- ▶ Nicht-CO₂-Effekte sind sehr relevant und ließen sich bei nur leichter Kostensteigerung durch geänderte Flugführung sofort um bis zu 50% reduzieren.
- ▶ Eine Beimischquote für nachhaltiges PtL würde für eine gesicherte Nachfrage (auch bei höheren Kosten) und damit für Investitionssicherheit sorgen

Im Gegensatz zur Erkenntnis, dass die CO₂-Emissionen schnell und drastisch gesenkt werden müssen, ist weltweit eine weitere Zunahme zu beobachten. Selbst bei Einhaltung der aktuellen NDCs steuert die Welt auf eine Erwärmung von 2,9 - 3,4°C zu. Für die Erreichung des 1,5°C-Ziels wäre die Verfünffachung der NDC-Zusagen erforderlich. Und jedes Zehntelgrad ist wichtig, denn: bei 1,5°C wären ca. 1 Mrd. Menschen von extremen Hitzewellen betroffen, bei 2°C ca. 2,7 Mrd. Menschen.

Dazu kommen die Nicht-CO₂-Effekte, welche in Reiseflughöhe auftreten. Diese liegen hinsichtlich der Klimawirkung von der Größenordnung¹⁰ im Bereich des vom Luftverkehr emittierten CO₂ und fallen selbst dann noch an, wenn fossiles Kerosin durch nachhaltige Treibstoffe ersetzt wird. Es muss also sowohl auf die Reduktion von CO₂ als auch auf die Vermeidung von Nicht-CO₂-Effekten hingewirkt werden.

CO₂ als auch Nicht-CO₂-Effekte müssen (stärker) bepreist werden. CO₂ kann vermieden werden, sofern es durch nachhaltige Treibstoffe ersetzt wird. Dies kann durch PtL geschehen. Auch hier müssen zeitnah Weichen gestellt werden, denn der Anlagenbau kostet Zeit. Zu kurz kommt derzeit die Diskussion über den Einsatz von Wasserstoff und Brennstoffzelle. Hinsichtlich des PtL wird die Frage aufgeworfen, woher die benötigten Mengen kommen sollen, insbesondere wenn verschiedene Sektoren in Konkurrenz treten. Nicht-CO₂-Effekte müssen in das EU-EHS einbezogen werden, um ausreichend Anreize für die Optimierung von Flugtrajektorien zu setzen, denn dadurch ließen sie sich bei nur leichter Kostensteigerung substantiell reduzieren. Eine kurzfristige teilweise Lösung wäre also möglich.

Fluglärm effektiv reduzieren

Moderation: Team Ewen

- ▶ Thomas Myck, Umweltbundesamt, UBA
- ▶ Uta-Maria Pfeifer, Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft, BDL
- ▶ Thomas Jühe, Arbeitsgemeinschaft Deutscher Fluglärmkommissionen, ADF

Zusammenfassung

- ▶ Ohne ambitionierte gesetzlich-obligatorische Lärminderungsziele ist in Zukunft keine erhebliche Minderung der Fluglärmbelastung mehr zu erwarten.
- ▶ Es sollte eine gesamtgesellschaftliche Debatte über die Notwendigkeit und Optimierungspotential vor allem des nächtlichen Luftverkehr geführt werden.
- ▶ Als Konsens werden kurz-/mittelfristige Verbesserungen der gesetzlichen Regelungen zur fluglärmbezogenen Siedlungssteuerung gesehen.

Die UBA-Empfehlungen der Fluglärmschutzziele für den Tageszeitraum in Wohngebieten von 63 dB(A) bis 2030 und 58 dB(A) bis 2050 werden von den Impulsgebern und dem Publikum erwartungsgemäß diametral unterschiedlich bewertet: die „Luftverkehrsseite“ hält diese - sowie die vorgeschlagenen Ziele für die Emissionsanforderungen bei der Zulassung neuer Luftfahrzeugtypen – für zu ambitioniert, die „Umweltseite“ für zu wenig ambitioniert, als mittelfristiges Ziel wären doch die WHO-Umgebungsärmziele anzustreben. Das UBA sieht diese als Langfristziele an.

In der Diskussion wird deutlich, dass die Lärminderungserfolge in der Luftfahrt durchaus anerkannt werden müssen (v.a. bezüglich leiserer Luftfahrzeugtypen); die Fluglärmbelastung hat in der Vergangenheit nicht in dem Maße zugenommen, wie das Passagier- und Frachtaufkommen. Insbesondere für die Zukunft ist aber für Fluglärmbelastung keine erhebliche Verbesserung mehr absehbar. Diese liege vor allem daran, dass es hierfür (d.h. den aktiven Schallschutz) keine gesetzlichen Zielvorgaben gibt. Herr Jühe spricht sich darum für die Regelung des Fluglärm im BImSchG oder zumindest die Aufnahme analoger Inhalte im Luftverkehrsrecht insbesondere ein allgemeines Minimierungsgebot, auf Außenpegel bezogenen Lärmgrenzwerte

¹⁰ Persönliche Nachfrage bei Prof. Sausen ergab, dass damit kein Verhältnis von ca. 1:1 gemeint ist, sondern dieses z.B. auch 1:2 sein kann. Es wird jedoch nicht 1:10 sein.

(etwas unterhalb der UBA-Vorschläge) und eine dynamische Betreiberpflicht ähnlich wie bei BImSchG-Anlagen aus. Er plädiert für eine zielgerichtete gesellschaftliche Debatte (zwischen Flughafenbetreibern, Politik, Umweltverbänden...) vor allem zu der Frage wieviel Nachtflugbetrieb mittelfristig notwendig ist und wie bzw. wo dieser abgewickelt werden sollte. Für den entsprechenden Umbau der Verkehrsinfrastruktur sei sicher der Horizont 2050 realistisch.

Von der „Luftverkehrsseite“ wird unter anderem darauf hingewiesen, dass eine Verlagerung von Luftverkehr auf peripher gelegene Flughäfen (z.B. Frankfurt/Hahn, Schwerin/Parchim) auch zu mehr Zuliefer-/Zufahrtsverkehr führen kann. Auch eine Verlagerung von Luftverkehr ins Ausland sei in bestimmten Fällen absehbar.

Luftqualität: Im Flughafenumfeld für saubere Luft sorgen

Moderation: Marcel Langner, UBA

- ▶ Ute Dauert, UBA
- ▶ Barbara Schreiber, Fraport AG
- ▶ Barbara Hoffmann, Universitätsklinikum Düsseldorf, Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin

Zusammenfassung

- ▶ Ein erweitertes Monitoring von UFP ist unerlässlich, um die Datengrundlage zur Bewertung von Maßnahmen und zur Quantifizierung von Wirkungen zu verbessern.
- ▶ Die Mechanismen der Partikelbildung und deren genaue Quellen (z. B. als direkt emittierte Partikel oder als sekundäre Bildung von Vorläufersubstanzen) müssen noch genauer erforscht werden, um zielgerichtete Maßnahmen ableiten zu können (z. B. Reduzierung des Schwefelgehaltes im Kerosin, da schwefelhaltige Verbindungen möglicherweise eine wichtige Quelle zur sekundären UFP-Bildung sind).
- ▶ Es wurde insbesondere die Frage diskutiert, ob erst die Verhältnismäßigkeit von Maßnahmen bestimmbar sein oder ob bereits jetzt aus Sicht der Vorsorge gehandelt werden muss.

Im interaktiven Workshop „Luftqualität: Im Flughafenumfeld für saubere Luft sorgen“ ergaben sich aus den Inputs folgende wichtige Botschaften:

- ▶ Inhalte der drei Vorträge:
 - Die gesetzlichen Grundlagen der Beurteilung der Luftqualität in Deutschland (Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG bzw. 39. BImSchV) und deren Anwendung im Flughafenumfeld
 - Ergebnisse von Messungen und Modellierungen von Luftschadstoffen im Umfeld des Flughafens Frankfurt am Main
 - Wirkungen von Luftschadstoffen aus dem Flugverkehr auf die menschliche Gesundheit
- ▶ In den Vorträgen wurde deutlich, dass UFP (Ultrafeine Partikel), d. h. Partikel mit einem Durchmesser kleiner 100 nm, das größte Problem der Luftreinhaltung im Umfeld von Flughäfen darstellen, für die allerdings derzeit keine Grenzwerte existieren.
- ▶ Aus Messungen und Modellierungen ergaben sich keine flugverkehrsbedingten Grenzwertüberschreitungen im Umfeld der Flughäfen, für die klassische Luftschadstoffe PM (Partikelmasse) und Stickoxide sind sowohl die Flugbewegungen als auch der Verkehr auf dem Flughafen und im Umfeld des Flughafens relevant.

- ▶ UFP haben negative Effekte auf die menschliche Gesundheit (stärkste Evidenz für akute Effekte auf die Lungengesundheit und Herz-Kreislauf-Wirkungen), es bestehen aber deutliche Kenntnislücken (bisher z. B. nur eine Studie zu Wirkungen von UFP im Flughafenumfeld) und die Studienlage ist noch sehr heterogen.

Suffizienz: Alternativen zum Fliegen stärken

Moderation: Kora Kristof, UBA

- ▶ Daniel Eichhorn, UBA
- ▶ Dr. Heike van Hoorn, Deutsches Verkehrsforum
- ▶ Martina von Münchhausen, WWF Deutschland

Im Rahmen der Impulse und der anschließenden Diskussion wurde deutlich, dass bei der Gestaltung von Maßnahmen zur Minderung der Umweltauswirkungen des Luftverkehrs Suffizienz als dritter Baustein neben den Bausteinen der Effizienz und der Konsistenz besteht. Suffizienz wird hierbei verstanden als absolute Reduktion der Anzahl der Flugbewegungen. Während Effizienz klare physikalische Grenzen hat, bestehen bei der Konsistenz bspw. noch technische Hürden (z.B. elektrisches Fliegen, umfangreiches PtL-Angebot). Gleichwohl wurde der mögliche Beitrag der Suffizienz zur Minderung der Umweltauswirkungen des Luftverkehrs durchaus kontrovers diskutiert.

Als ein grundsätzliches Problem wurde das starke Wachstum des Luftverkehrs anerkannt, das Effizienzgewinne relativiert. Weitgehende Einigkeit bestand auch darin, dass preisgestaltende, marktwirtschaftliche Instrumente eine wichtige Rolle spielen können, um Anreize zu setzen weniger zu Fliegen. Gleichzeitig sind aber auch Aufklärung und Appelle über die Auswirkungen des Fliegens notwendig, und jeder und jede sollte sich fragen, was er/sie zu einem nachhaltigeren Reise- und Mobilitätsverhalten beitragen kann. Dies umfasst bspw. auf privater Ebene ein bewussteres Nachdenken über Flugreisen mit kurzer Reisedauer (z.B. Wochenendtrips) bzw. über das Urlaubsziel (ob z. B. näher liegende Urlaubsziele die Urlaubsbedürfnisse in gleichem Maße erfüllen können wie weit entfernte Urlaubsziele). Hier wäre es wünschenswert, einen Kulturwandel bei den Konsumenten und Konsumentinnen anzustoßen.

3.1.4 Wie oft, wohin und überhaupt: Ist Fliegen in Zukunft ökologisch noch vertretbar

Moderation: Dr. Christoph Ewen, team ewen

- ▶ Luisa Neubauer, Fridays for Future
- ▶ Dr. Harry Lehmann, UBA
- ▶ Dr. Henrik Pontzen, Union Investment
- ▶ Gero Rueter, Deutsche Welle

Zusammenfassung

- ▶ Jede Verzögerung effektiver Klimaschutzmaßnahmen führt zu höheren Kosten.
- ▶ Die Kosten der ökologischen Transformation können vor dem Hintergrund der Kosten der Klimakrise nicht als Argument gegen effektive Maßnahmen gelten.
- ▶ Zur Erreichung der Klimaschutzziele muss in allen Sektoren inkl. des Luftverkehrs parallel und sofort gehandelt werden.

Trotz Flugscham, einer gestiegenen Aufmerksamkeit für die Klimawirkung des Luftverkehrs und einzelnen Vorbildern wächst der Luftverkehr ungebrochen. Dies liegt u.a. an praktischen

Problemen, z.B. den Regelungen für Dienstreisen und fehlender Expertise für Bahnreisen in vielen Reisebüros.

Unwiderrspochen blieb die Aussage zu drei vertanen Jahrzehnten in der Klimapolitik. Die Wissenschaft hat im Wesentlichen die Wege zur Transformation dargestellt, auch wenn die Kommunikation in der Vergangenheit zu sehr auf Unsicherheiten und Details fokussiert hat. Auch wenn der Einfluss von Fridays4Future auf die Debatte zweifelsohne positiv war, mangelt es weiterhin an ambitionierten Maßnahmen.

Zur Frage der Kosten und sozialen Folgen der notwendigen Diskussion bestand Einigkeit, dass jede weitere Verzögerung zu insgesamt höheren Kosten führen würde, wenn die Ziele des Pariser Abkommens erreicht werden sollen. Es wurde auch in Frage gestellt, ob Kosten ein relevantes Kriterium vor dem Hintergrund der Folgen des Klimawandels sind – es ginge um das „Überleben unserer Zivilisation“. Trotzdem müssten natürlich die eingesetzten Ressourcen möglichst effektiv verwendet werden und auch mögliche negative soziale Folgen abgedeckt werden. Vor dem Hintergrund wurden die umweltschädlichen Subventionen in Höhe von 60 Mrd. EUR/Jahr kritisiert. Alleine die entgangenen Steuereinnahmen aus der Mehrwertsteuer und Kerosinsteuer im Luftverkehr betragen ca. 12 Mrd. EUR/Jahr.

3.2 Zweiter Tag (7. November 2019)

3.2.1 Chancen nutzen, Hürden überwinden: Auf dem Weg zum umwelt- und klimaschonenden Luftverkehr

Moderation: Carla Schönfelder, team ewen

Wurde absprachegemäß nicht dokumentiert.

3.2.2 Fishbowls

Wie reduzieren wir lokale Umweltwirkungen

Moderation: Dr. René Weinandy, Dr. Marcel Langner, UBA

- ▶ Regine Barth, Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen
- ▶ Emanuel Fleuti, Flughafen Zürich AG
- ▶ Dr. Kai Johannsen, Flughafen Berlin Brandenburg

Zusammenfassung

- ▶ Herr Dr. Johannsen gab einen kurzen Abriss zur Entwicklung von lärmabhängigen Landeentgelten in Deutschland und einen Einblick in die geplante Neugestaltung der Entgelte an den Flughäfen BER und TXL.
- ▶ Frau Barth ging explizit auf die notwendigen Änderungen der Gesetzgebung auf EU- als auch nationaler Ebene ein, um die standortspezifischen Randbedingungen der Flughäfen effizient zu berücksichtigen. Dabei solle vor allem ein Mix aus gesetzlichen Regelungen und freiwilligen Maßnahmen des Flughafens.
- ▶ Herr Fleuti berichtet vom Umsetzungsprozess umweltschonender Maßnahmen am Flughafen Zürich und mit welchen Mittel dies einerseits dem Flughafen, andererseits der Bevölkerung vermittelt wurde. Dies geschah unter anderem durch Druck aus der Regierung und auch über die Einsicht, Maßnahmen zu entwickeln, die dem Betreiber ein Wahl ließen Alternativen zu verwenden.

Diskussionspunkte

- ▶ Flugbetriebsverfahren
- ▶ Siedlungsteuerung
- ▶ Emissionsabhängige Entgelte

In der Diskussion zu Flugbetriebsverfahren wurde herausgestellt, dass hier um keine allgemeingültigen Verfahrensanweisungen für alle Flughäfen geben könne. Es muss auf jeden Fall Standortspezifisch entschieden werden welche AN- und Abflugverfahren verwendet werden. Es wurde das große Potential betont, die neue Techniken, wie GBAS, haben werden, die hier die lateralen Verläufe noch besser der Örtlichkeit angepasst werden kann. Es wurde weiter diskutiert, wie eine bessere gesetzliche Regelung aussehen müsste, um eine optimale Siedlungssteuerung zu erreichen. Zu den emissionsabhängigen Entgelten wurden auch bereits bestehende System in Europa angesprochen

Wie optimieren wir das Flughafensystem ökologisch?

Moderation: Dr. Christoph Ewen, team ewen

- ▶ Prof. Dr. Christian Calliess (Sachverständigenrat für Umweltfragen)
- ▶ Dr. Franziska Heß, Baumann Rechtsanwälte Partnergemeinschaft
- ▶ Martin Bunkowski, Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen
- ▶ Arne Fellermann, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland

Zusammenfassung

- ▶ Die „Umweltseite“ unterstützt den Ansatz des UBA für eine bundesweite ökologisch- orientierte Optimierung der Flughafeninfrastruktur. Die „Luftverkehrsseite“ lehnt diesen ab, mit der Ausnahme: kein weiterer Bau/Ausbau von subventionierungsbedürftigen Regionalflughäfen.
- ▶ Konsens: Der innerdeutsche Flugverkehr sollte auf die Schiene verlagert werden.
- ▶ Optimal wäre eine ökologisch orientierte bundesweite Verkehrsgesamtstrategie und Ausbauplanung zur Erfüllung von Klima- und Umweltschutzziele, die alle Verkehrsarten berücksichtigt.

Im interaktiven Workshop zur ökologischen Optimierung des Flughafensystems ergaben sich aus den Inputs folgende wichtige Botschaften:

- ▶ Eine bundesweite Flughafenplanung würde eine gesamtstaatliche Steuerung des Flughafensystems anhand übergeordneter Kriterien des Gemeinwohls ermöglichen. Damit könnte „Wildwuchs“ vermieden werden und alle vorhandenen Potenziale zur Reduzierung von negativen Umwelt- und Gesundheitsfolgen des Luftverkehrs ausgeschöpft werden.
- ▶ Die Ermächtigung nach §17(2) des ROG bietet zwar einen grundlegenden Ansatzpunkt, allerdings wäre für eine so tiefgreifenden Bundeseingriff wohl eine Ergänzung oder Neuausrichtung des §17(2) erforderlich oder auch ein neues Gesetz zur Zentralisierung der Flughafenplanung auf Bundesebene
- ▶ Aus ökologischer und ökonomischer Perspektive ist eine bundesweite Verkehrsgesamtstrategie erforderlich, die alle Verkehrsträger berücksichtigt. Nur ein integrierter Ansatz kann beispielsweise konkurrierende Doppelförderungen zur Verbesserung der Anbindung bestimmter Verkehrsrelationen für Flug-, Schienen- und ggf. noch Straßenverkehr verhindern.

Diskussionspunkte

- ▶ In der Diskussion wurde der Aspekt einer zentralen Steuerung der Flughafeninfrastruktur auf Bundesebene kritisch hinterfragt, da die Länder, die bisher allein für die Zulassung und Erweiterung von Flughäfen zuständig sind, den besseren Einblick in die räumlichen Strukturen haben und da Flughäfen keine Einrichtungen der öffentlichen Daseinsvorsorge sind, sondern sich im Wettbewerb behaupten müssen. Dem wurde entgegengehalten, dass von den derzeit 22 Flughafenstandorten nur 8 Standorte Gewinne erwirtschaften, die übrigen also defizitär sind. Daher wäre eine übergeordnete Steuerung und arbeitsteilige Ausrichtung umso wichtiger.
- ▶ Die Diskutanten waren sich einig, dass grundsätzlich eine Koordination und Abstimmung zwischen Bund und Ländern gut sei. Bedarf wurde insbesondere gesehen für eine engere Vernetzung der Verkehrsträger sowie auch für eine bundesweite Bedarfsplanung, die jedoch zwischen Bund und Ländern abgestimmt sein müsste. Uneinigkeit bestand bei der Frage, ob der Bund eine stärkere Steuerungsfunktion übernehmen sollte.
- ▶ Als weiteres Ergebnis des Workshops konnte unter den Teilnehmern Konsens hergestellt werden, dass sich für eine Beschleunigung der Verfahren die Flugverkehrswirtschaft und die Umweltverbände künftig frühzeitig an einen Tisch zusammensetzen sollten und die Planungsgrundlagen (vor allem die Wachstums- bzw. Bedarfsprognosen) gemeinsam beauftragen und anerkennen sollten

Wie bringen wir PtL in den Markt

Moderation: Martin Schmied, UBA

- ▶ Uwe Brendle, BMU
- ▶ Arno Klare, MdB
- ▶ David Bothe, Frontier Economics
- ▶ Siegfried Knecht, aireg
- ▶ Stephan Schmidt, Chemieanlagenbau Chemnitz

Zusammenfassung

Im interaktiven Workshop ergaben sich aus den Inputs folgende wichtige Botschaften:

- ▶ Große Einigkeit, dass PtL langfristig das Mittel der Wahl ist, dass aber die Einführung kein Selbstläufer wird.
- ▶ Die Technologien werden marktreif. Die Hersteller sind bereit für den Hochlauf und erwarten ein Signal der Politik.
- ▶ Die Technik eröffnet dem Wirtschaftsstandort D große Möglichkeiten. Technologieexport. Geschäftsmodelle gesucht.
- ▶ Erste industrielle Anlagen in Norwegen? Langfristig könnten Standorte außerhalb Europas günstiger sein (wg. Energiekosten, Volllaststunden).
- ▶ Der Haushaltsausschuss des Bundestages will ein Förderprogramm für alternative Kraftstoffe im Luftverkehr beschließen (2020 und 21 je 100 Mio. €). Am 14.11. geschehen.
- ▶ BMU stellt sein PtX-Aktionsprogramm vor. Bekannt seit Sommer 2019.
- ▶ Das Klimaschutzprogramm der Bundesregierung sieht einen Prüfauftrag für eine PtL-Quote vor.

- ▶ D sollte zur Ratspräsidentschaft (2020, 2. Halbjahr) das Thema auf die Agenda setzen um europäische Lösungen anzustreben. Koalition der Willigen organisieren.

Diskussionspunkte

- ▶ Sollte zu Beginn CO₂ aus industriellen Quellen genutzt werden zur Herstellung von PtL? Man sollte konzentrierte CO₂-Quellen nutzen, solange sie existieren <-> Fossile Industrien dürfen dadurch nicht länger in Betrieb bleiben (Bsp. Kohlekraftwerke).
- ▶ Die Bundesvereinigung gegen Fluglärm bleibt skeptisch ggü. PtL, setzt auf el. Fliegen.
- ▶ Auf welcher Ebene sollten Instrumente wie etwa eine Quote eingeführt werden? BDL ist vehement gegen eine nationale Quote, aber europäisch wäre ok.
- ▶ Quote trifft ansonsten auf Zustimmung unter den Anwesenden. Aber eine zu starke Belastung für die Airlines soll vermieden werden.
- ▶ Mehrere europäische Länder wollen Quoten einführen (teils aber mit Schwerpunkt Biokraftstoffe bzw. Kraftstoffe aus Siedlungsmüll).
- ▶ Teilweise Zustimmung, auch biogene Kraftstoffe zu nutzen.
- ▶ Abnahmegarantie für Hersteller bzw. direkte Förderung der Anlage als weitere Instrumente.
- ▶ Für die Produktion in D gibt es erhebliche ökonomische Hindernisse. Letztverbraucherabgabe auf Strom, ca. 15 ct./kWh!
- ▶ PtL muss nachhaltig sein.

Wie setzen wir ökonomische Anreize richtig?

Moderation: Dr. Olaf Hölzer-Schopohl (V 3.6)

- ▶ Dr. Martin Cames, Öko-Institut
- ▶ Daniela Kluckert, MdB, FDP
- ▶ Tilman Morata-Liebert, Europäische Kommission
- ▶ Norbert Lübben, Bundesverband der deutschen Luftverkehrswirtschaft

Zusammenfassung

- ▶ Eine zentrale Herausforderung sind die Nicht-CO₂-Effekte, diese können u.a. über den EU-ETS adressiert werden.
- ▶ Die Einführung von PtL ist wesentlich, adressiert aber nur die CO₂-Effekte. Hier braucht es weitere Maßnahmen, die Kostenanreize über den EU-ETS sind zu gering.
- ▶ Dennoch: Der EU-ETS ist ein Schlüsselinstrument im ökonomischen Instrumentenbündel

Die Moderation führte zunächst in die Ergebnisse des Referenz-Workshops vom Vortag ein („Klimaschutz: Kurs auf Paris“). Hier bestand Konsens, dass nur noch wenig Zeit zur Erfüllung der Pariser Klimaschutzziele verbleibt. Eine zentrale Herausforderung im Luftverkehr sind dabei die nicht-CO₂-Effekte. Deren Wirkung ist signifikant, aber noch nicht abschließend quantifizierbar. Ein wesentlicher Baustein für eine reduzierte Klimawirkung des Luftverkehrs sind nachhaltig produzierte synthetische Treibstoffe (PtL). Diese können allerdings nur die CO₂-Effekte adressieren und sind keine Lösung für die nicht-CO₂-Effekte. Ziel des vorliegenden Workshops war die Diskussion eines ökonomischen Instrumentenbündels, das diese Herausforderungen lösen kann. Die entscheidende Rolle von PtL wurde bestätigt, genauso wie die Signifikanz der Nicht-CO₂-Effekte. Deren Adressierung über den Europäischen Emissionshandel (EU-ETS) wurde als ein geeigneter Weg identifiziert. Konsens bestand in der Einschätzung, dass der EU-ETS ein Schlüsselinstrument ist. Dissens bestand darin, ob und wann weitere fiskalische Instrumente in

Deutschland und Europa erforderlich sind. Viele Teilnehmer plädierten für ein deutsches oder europäisches Voranschreiten durch Anhebung bzw. Einführung von Ticket- und Kerosinsteuer. Andere Teilnehmer verwiesen auf die Wahrung gleichwertiger Wettbewerbsbedingungen im internationalen Luftverkehrsmarkt, die nur bei globalen oder mindestens europäischen Ansätzen garantiert seien. Konsens bestand in der Einschätzung, dass die zusätzlichen Einnahmen aus den ökonomischen Instrumenten mindestens anteilig für Minderungsmaßnahmen im Luftverkehrsbereich (PtL-Demonstrationsanlagen, Effizienzforschung) genutzt werden sollen.

Wie machen wir weniger Fliegen möglich?

Moderation: Dr. Katrin Dziekan, UBA

- ▶ Norbert Dierks, BMW Group
- ▶ Bernd Räth, Verein ökologischer Tourismus in Europa e.V.
- ▶ Petra Thomas, forum anders reisen e.V.
- ▶ Marcus Wagner, SAP

Zusammenfassung

- ▶ Breit verankerte Transparenz und Aufklärung sind zentrale Elemente
- ▶ Anreize für nachhaltiges Handeln zu setzen ist wichtiger als Verbote
- ▶ Die Wirtschaft ist in Sachen Klimaschutz teilweise deutlich weiter als die Politik

Im interaktiven Workshop-Format der „Fishbowl“ sollten erste Schritte und gute Ideen zu mehr Suffizienz im Flugverkehr erörtert werden. Die vier Impulsgebenden aus Wirtschaft und Umweltverbänden sollten erläutern, auf welche Weise sie bereits „weniger Fliegen“ ermöglichen. Es wurde deutlich, dass eine höhere Transparenz und Aufklärung bei der Kommunikation der Klimawirkung helfen können, das Bewusstsein der einzelnen Akteure in ihrer Reiseentscheidung zu schärfen – sei es durch das Ausweisen der THG-Emissionen bei der Buchung einer Urlaubsreise, die Konzern-interne Bepreisung der THG-Emissionen bei Geschäftsreisen oder die Einführung einer von der Umweltperformance des Unternehmens abhängigen Vorstandsvergütung. Zentrale Themen der Diskussion waren:

- ▶ Das Stärken und bessere Kommunizieren der Alternativen zum Fliegen (Kombinierter Verkehr, Schienenpersonenfernverkehr, europäische Nachtzüge, aber auch Videokonferenztechnik und Nah-Urlaub) ist notwendig
- ▶ THG-Kompensation muss klarer kommuniziert und einheitlicher geregelt werden, z. B. irritieren unterschiedliche Berechnungsstandards bei Atmosfair und Lufthansa
- ▶ Die Chancen der Digitalisierung überwiegen die Risiken (Transparenz, bessere Auslastung, verbesserte Datenlage)
- ▶ „Suchtfaktor Fliegen“: Vielflieger-Programme fördern das Fliegen Geschäftsreisender extrem, teilweise werden zum Statuserhalt extra Umweg-Flüge gebucht

3.2.3 Klima- und Lärmschutz im Luftverkehr: Die Zukunft des Fliegens

Moderation: Carla Schönfelder, team ewen

- ▶ Grazia Vittadini, Airbus Chief Technology Officer und Mitglied im Airbus Executive Committee

Zusammenfassung

- ▶ Es gibt nicht eine optimale Strategie, sondern ein Bündel von Ansatzpunkten, um den Luftverkehr klimafreundlicher zu gestalten.
- ▶ Es ist wichtig, baldmöglichst mit der Implementierung zu beginnen, da die Prozesse sehr zeitintensiv sind.

In der Diskussion wurden zunächst die **Nicht-CO₂-Effekte** mit Wirkung auf das Klima des Luftverkehrs angesprochen, die im Vortrag nicht erwähnt worden waren. Hier sieht Airbus große Einsparpotentiale durch NO_x-ärmere Triebwerke sowie durch klimaoptimierte Flugrouten (tiefer fliegen, langsamer fliegen).

PTL wurde in der Diskussion ebenfalls angesprochen. Eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Implementierung der synthetischen Kraftstoffe wäre die aktive Einbindung der Raffinerien, ölproduzierenden Unternehmen sowie der Energiebranche in eine PTL-Strategie.

Mithilfe von **elektrischen Antrieben** oder **Hybrid-Antrieben** hält Airbus hält emissionsfreie Flüge im Regionalverkehr (Entfernungen bis zu 1000 Meilen) innerhalb der nächsten 10 Jahre für möglich. Für Mittelstrecken- und Langstreckenflüge sind elektrische Antriebe hingegen keine realistische Option. Auf die Frage nach den Ladezeiten der Batterien im Regionalverkehr wurde von Airbus eingeräumt, dass diese zurzeit noch so lang sind, dass ein Austausch der Batterien an den jeweiligen Flughäfen vorzuziehen sei.

CORSIA ist aus Sicht von Airbus eine Zwischenlösung bis geeignete Technologien zur Verfügung stehen.

3.2.4 Umweltschonender Luftverkehr 2050: Was wir heute schon tun können

Moderation: Dr. Christoph Ewen, team ewen

- ▶ Tarek Al-Wazir, Hessischer Minister für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen
- ▶ Ralph Beisel, Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen
- ▶ Arne Fellermann, BUND
- ▶ Jochen Flasbarth, Staatssekretär im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
- ▶ Magdalena Heuwieser, stay grounded
- ▶ Matthias von Randow, Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft e.V.

Zusammenfassung

- ▶ Es besteht weitgehende Einigkeit, dass wir PTL für den Flugverkehr brauchen und dies zügig angehen müssen.
- ▶ Einheitliche Meinung aller Teilnehmenden war zudem, dass bei innerdeutschen Reisen ein Modal Shift vom Flugzeug auf die Bahn erfolgen sollte, hierzu die Bahn aber ihr Angebot weiter verbessern und deutlich ausbauen (können) muss.
- ▶ Beim Ansatz der Suffizienz, der ein Teil der Lösung sein muss, sind wir in den vergangenen 20 Jahren faktisch leider nicht wesentlich weitergekommen.

Die Vertreter*innen von Politik und Zivilgesellschaft betonten, dass es gelte, Verkehr zu vermeiden, wo möglich. Auch seien Preissignale wie z.B. die erhöhte Luftverkehrsabgabe wichtig. Hierzu bestand allerdings keine Einigkeit unter den Beteiligten: Die Branchenvertreter kritisieren deren Höhe, stellen ihre Lenkungswirkung in Frage und sehen eine Benachteiligung für

deutsche Unternehmen. Sie verweisen zudem auf CORSIA mit dem die Branche sich ja bereits ein ökonomisches Instrument gegeben habe. Die Zivilgesellschaft fordert hingegen weitere Instrumente wie die Einführung einer Kerosinsteuer oder -abgabe, der Mehrwertsteuer und einer Vielflieger-Abgabe, die höher ausfällt je mehr man fliegt. Unumstritten war, dass die Bahn für eine Verlagerung des innerdeutschen Flugverkehrs auf die Schiene ihr Angebot verbessern und ausbauen muss. Problem hierbei sind nicht unbedingt nur die oft die Diskussion dominierenden Planungsverfahren. Vielmehr gilt es, Bahnprojekte von strategischer Bedeutung für den Netzausbau zu priorisieren. Für den Flugverkehr auf Langstrecken bedarf es nichtsdestotrotz einer Alternative für die fossilen Kraftstoffe. Angesichts der Limitationen biogener synthetischer Kraftstoffe wird hier PTL als Zukunftstechnologie gesehen. Deren Markthochlauf bedarf aber staatlicher Förderung. Diesbezüglich besteht Einigkeit. Es wird aber auch deutlich, dass PTL weitere Herausforderungen neben der preislichen mit sich bringt. Erwähnt werden der enorme Bedarf an erneuerbarer Energie und auch dafür nötiger Ressourcen und die Notwendigkeit, hierzu in Kooperation mit anderen Ländern zu gehen. Ebenso wird kritisch angemerkt, dass man sich mit PTL weiter im Kohlenstoffkreislauf bewegt ohne sicher sein zu können, dass dieser klimaneutral ausgestaltet wird und das Risiko, dass andere Branchen als die Luftfahrt in die PTL Nutzung mit einsteigen.

4 Climate targets for aviation and shipping in context of the EU's 'Fit for 55'-package

12 November 2021

4.1 Introduction

Greenhouse gas (GHG) emissions from aviation and shipping have been increasing over the last decades. Total CO₂ emissions from aviation and maritime transport were about 2 GtCO₂ in 2019 with about two thirds of these emissions coming from international voyages (UNEP 2020). Especially for aviation, the climate impact not only results from CO₂ emissions but also from so-called non-CO₂-effects – or short-lived climate forcers – like emissions of nitrous oxide (NO_x) and water vapor or the formation of contrails (EASA 2020; UBA 2019). The impact of these non-CO₂-effects makes up approximately two thirds of the overall climate impact of aviation (Lee et al. 2021). It is projected that emissions from aviation and shipping will increase. Business-as-usual (BAU) scenarios from the IMO (2020) show that emissions from shipping could increase by up to 50% in 2050. Calculations by CAT (2020) for international aviation also project that CO₂ emissions might more than double until 2050.

Significant emissions reductions in all sectors, including international aviation and maritime transport, are needed to keep the global temperature increase to 2°C or 1.5°C (IPCC 2021). According to UNEP (2020), a gap of 29 to 32 GtCO₂eq in 2030 remains between pledged emission reductions in the nationally determined contributions of states and the necessary emission reductions for keeping global warming at 1.5°C.

As part of the Green Deal, the EU set a new climate target of reducing emissions by at least 55% until 2030 compared to 1990 while achieving climate-neutrality by 2050. Mid-2021, the European Commission made several legislative proposals, the so-called Fit-for-55 package, to deliver on the Green Deal. These proposals plan to increase the pressure on aviation and shipping to reduce emissions by strengthening existing policies and adopting new ones. It is proposed to extend the EU emission trading system (ETS) to maritime transport and strengthen the ETS for aviation. The uptake of low and zero-carbon fuels should be supported by the ReFuelEU Aviation and the FuelEU Maritime initiatives. Furthermore, amendments to the Energy Taxation Directive and the Regulation on Infrastructure for Alternative Fuels should set incentives to decarbonize the sectors. In this paper, we investigate climate targets for international shipping to derive recommendations for the ambition of these legislative proposals by the European Commission.

This paper first outlines ambitions of political bodies in the aviation and shipping sector as well as industry stakeholders and explores potential climate targets for the sectors which are compatible with the goals of the Paris Agreement. The paper focuses on long-term targets such as the percentage of reduction to be achieved in 2050 or the year when decarbonization is achieved. For the implementation and monitoring of policies, aiming at achieving these targets, interim targets are equally important. However, these interim targets depend on the long-term targets and are thus not subject of this paper.

4.2 Target terminology

It is at first important to be clear on the terminology of climate targets as in the literature and the public (industrial and political) sphere various terms are used without further definition. There is no globally accepted definition for all of the terms, but we try to classify the terms within the frame of this short paper.

According to the latest IPCC report (IPCC 2021, glossary) neutrality targets, e.g. CO₂/carbon or GHG neutrality, and net zero (CO₂/carbon/GHG) emission targets are overlapping concepts. “net zero CO₂ emissions” is defined as the “[c]ondition in which anthropogenic carbon dioxide (CO₂) emissions associated with a subject are balanced by anthropogenic CO₂ removals over a specified period. [...] Carbon neutrality is often assessed over the life cycle including indirect (“scope 3”) emissions, but can also be limited to the emissions and removals, over a specified period, for which the subject has direct control[.]” (IPCC 2021, 18, 49). Carbon neutrality (or the synonym CO₂ neutrality) and net zero CO₂ emissions are considered equivalent at the global scale by IPCC (2021). However, at sub-global scale, “net zero CO₂ emissions is generally applied to emissions and removals under direct control or territorial responsibility of the reporting entity, while carbon neutrality generally includes emissions and removals within and beyond the direct control or territorial responsibility of the reporting entity” (IPCC 2021, S. 18). It also indicated that carbon neutrality might include the use of offsets to balance out emissions.

The same definitions can be applied to “net zero GHG emissions” and “GHG neutrality” which are thus also overlapping concepts. These concepts are more ambitious as they also include other GHG as CO₂, such as methane (CH₄) and nitrous dioxide (N₂O). To quantify emission in this case, GHGs need to be weighed according to a chosen metric to compare emissions and removals as well as the time horizon.

The term climate neutrality or climate-neutral however goes beyond the beforementioned GHG emissions. Climate neutrality also considers any other impacts/emissions which have an impact on climate, such as soot or non-CO₂-effects from aviation. It is however a vague term which is hitherto not clearly defined.

For aviation and shipping, the balance between emissions and removals implied by the “net targets” can mean that not all emission reductions will take place within the sector. For example, a net zero CO₂ emissions target could mean that 95% of CO₂ emissions are reduced in the sector by an increase of energy efficiency and the use of alternative fuels. The remaining 5% might be compensated by investing in projects which remove CO₂ from the atmosphere (offsetting). The use of carbon-based e-fuels, such as synthetic methanol or kerosene, are here considered as in-sector emission reductions because these fuels are treated as having a significant lower emission factor or even an emission factor of zero.

4.3 Aviation

4.3.1 Ambition and policies at international level

The ICAO adopted two ‘global aspirational goals’ (ICAO 2019b):

- ▶ improve the fuel efficiency of international aviation by 2% annually until 2050 and
- ▶ carbon neutral growth (CNG) from 2020 onwards (as a medium-term goal).¹¹

At the 40th session of the ICAO assembly in 2019, it was stated that ICAO wants “[.] to explore a long-term global aspirational goal for international aviation in light of the 2 °C and 1.5 °C temperature goals of the Paris Agreement” (ICAO 2019b, S. 1). Studies on the feasibility and impact of any proposed long-term goals should be conducted and presented at the 41st session in 2022.

¹¹ Actually, CORSIA means (almost) carbon-neutral growth from 2027 only rather than from 2020 as several key countries (Brazil, China, Russia, India, Ethiopia, Vietnam, etc.) have so far not committed to join the scheme in the voluntary phases. In addition, countries whose global international RTK shares are below 0.5% will generally remain exempt from CORSIA. Based on 2018 RTKs, this would allow countries like Colombia, Chile, Panama, Egypt, Peru, South Africa, Sri Lanka and many others to stay out of the scheme also from 2027.

Until then, workshops, stakeholder consultation and analysis take place guided by the Committee on Aviation Environmental Protection (CAEP) of the ICAO.

ICAO pursues a so-called ‘basket of measures’ to achieve its goals which includes aircraft technology and operational improvements, the use of sustainable aviation fuels (SAFs) as well as market-based measures (MBMs). The wording ‘market-based measures’ is misleading though as it encompasses (technical) measures to reduce GHG emissions, like design improvements or the use of zero- or low-carbon fuels, and also market-based measures which are typically policies which incentivize GHG emission reductions through carbon pricing. Until today, the ICAO has focused on informational work on the different measures and no mandatory GHG reduction policy has been adopted except for a design standard for airplanes and one market-based policy. The latter is the Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), adopted by ICAO in 2016 and starting in 2021. The scheme started in 2021 and is so far scheduled until 2035. The aim of the policy is to compensate for any CO₂ emissions above a baseline of the average CO₂ emissions from the years 2019 and 2020. For its pilot phase (2021 to 2023), the baseline was changed to the year 2019 in response to the decline in 2020 emissions due to the COVID-19 pandemic. The scheme covers flights on international routes between participating countries. Participation will be voluntary until the end of 2026. Current participation in CORSIA covers approx. 50% of CO₂ emissions from international aviation. From 2027 onwards, it is expected that its coverage will then be around 80%. (Öko-Institut 2021). Participants can meet their obligations by technical and operational measures to reduce kerosene consumption, the use of sustainable aviation fuels and the purchase of CO₂ offsets. CORSIA has room for improvements in the following areas: the lack of ambition of its goal of ‘carbon-neutral growth’, the coverage of CO₂ emissions only, the limited participation in the voluntary phase, the quality of the eligible carbon credits, and its weaknesses in terms of ensuring compliance and enforceability (EC 2020; UBA 2020; Öko-Institut 2021).

4.3.2 Aviation targets at political level and of industry stakeholders

There is a range of target figures both from political bodies and from industry stakeholders. They vary in scope and/or coverage and certainly in terms of ambition.

The United Kingdom recently decided to include international aviation emissions in its carbon budget and likely in respective climate targets (Table 1). The EU target of climate neutrality in 2050 applies to the whole EU economy. Although international aviation is not explicitly mentioned, the EU climate law states that “[a]chieving climate neutrality should require a contribution from all economic sectors for which emissions or removals of greenhouse gases are regulated in Union law” (EP; EC 2021, S. 3) - thereby including intra-EU aviation, already covered by EU law such as the ETS, and prospectively also parts of international aviation based on the Fit-for-55 proposals.

Table 1 Climate-related targets of public and global entities in the aviation sector

Entity	Target 2050	Scope	Coverage	Comment
ICAO	None	CO ₂	International aviation	Carbon neutral growth from 2019/20 levels only until 2035
United Kingdom ¹²	Net zero	GHG	Economy incl. International aviation	

¹² <https://www.gov.uk/government/news/uk-enshrines-new-target-in-law-to-slash-emissions-by-78-by-2035>.

Entity	Target 2050	Scope	Coverage	Comment
EU ¹³	Climate neutrality	GHG	Min. intra-EU aviation	Compared to 1990 levels

Source: Own compilation.

Table 2 Climate-related targets of the aviation industry (non-exhaustive list)

Entity	Target 2050	Scope	Coverage	Comment
A4E, ACI, ASD, CANSO, ERA ¹⁴	Net zero	CO ₂	European flights, incl. UK	Airlines, airports
IATA ¹⁵	Net zero	CO ₂	Global air transport industry	IATA has 290 member airlines
ACI Europe ¹⁶	Net zero	CO ₂	European airports	At airport level
A4A ¹⁷	Net zero	CO ₂	US airlines	
ATAG ¹⁸	-50%	CO ₂	global aviation	Compared to 2005

Source: Own compilation, wording for 2050 targets represents original pledges by industry entities.

Most pledges from the aviation industry in Table 2 set net zero CO₂ emission targets indicating that not all emission reductions might take place in the sector but might partially be offset in other sectors. Offsetting in the aviation sector is already foreseen through CORSIA (section 4.3.1). An initiative called ‘Destination2050’ from European airlines, ports and other actors has committed to net zero CO₂ emissions in 2050. The International Air Transport Association with 290 airline members announced the same goal. Many individual industry actors, for example ACI Europe, also committed to net zero CO₂ emissions in 2050 or have joined initiatives or global commitments like ‘Destination2050’. The Air Transport Action Group (ATAG) commits to reducing CO₂ emissions by 50% in 2050. However, ATAG lately indicate that their ambition might be raised in line with the flood of net zero pledges globally.¹⁹ It is thus apparent that the aviation industry has recognized the need for long-term goals and has moved ahead of ICAO in terms of ambition. Despite the recognized climate impact of non-CO₂ effects (section 4.1), all climate targets from the ICAO, public and private entities in the aviation sector consider CO₂ emissions only, though.

4.4 Shipping

4.4.1 Ambition and policies at international level

The IMO adopted an initial GHG strategy in 2018 (IMO 2018). With the strategy, the IMO wants to contribute to global efforts of reducing GHG emissions, also referring to the Paris Agreement. In 2023, a revised version of the GHG strategy should be adopted. The strategy includes global GHG emission reduction targets for international maritime transport. The so-called ‘levels of

¹³ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119&from=EN>.

¹⁴ <https://www.destination2050.eu/>.

¹⁵ <https://www.iata.org/en/pressroom/2021-releases/2021-10-04-03/>.

¹⁶ <https://www.aci-europe.org/downloads/resources/ACI%20EUROPE%20Position%20Paper%20on%20Aviation%20and%20Climate%20Action%20Market-Based%20Mechanisms.pdf>.

¹⁷ <https://www.airlines.org/news/major-u-s-airlines-commit-to-net-zero-carbon-emissions-by-2050/>.

¹⁸ <https://www.atag.org/our-activities/climate-change.html>.

¹⁹ <https://runwaygirlnetwork.com/2021/09/29/airline-industry-ups-climate-ambitions-icao-goal/>.

ambition' can be divided into carbon intensity and absolute reduction targets. Hereby, carbon intensity refers to CO₂ emissions per transport work. The IMO member states agreed to reduce:

- ▶ the average carbon intensity by at least 40% by 2030 compared to 2008,
- ▶ the average carbon intensity by 70% by 2050 compared to 2008 levels and
- ▶ annual GHG emissions by at least 50% by 2050 compared to 2008.

The strategy states that GHG emissions from international shipping should peak as soon as possible, the absolute GHG reduction target of -50% by 2050 is set “*while pursuing efforts towards phasing them out [...] as a point on a pathway of CO₂ emissions reduction consistent with Paris Agreement temperature goals*” (IMO 2018, S. 6).

There were however proposals for other ‘levels of ambition’. European countries and Pacific Islands suggested a target of 70 to 100% absolute reduction by 2050 whereas a proposal by Japan and other countries suggested a 50% reduction only by 2060 when the IMO target was debated years ago (UCL 2018). The new US government recently committed to “*work with countries in the IMO to adopt the goal of achieving net zero emissions from international shipping by no later than 2050*”.²⁰ With the upcoming adoption of a revised IMO GHG strategy in 2023, new submissions to the IMO call for an increased level of ambition. For example, a submission by Kiribati, the Marshall and Solomon Islands (MEPC77-7-3) calls for the adoption of zero GHG emissions target at 2050 the latest to be compatible with the goals of the Paris Agreement. This was backed-up by a group of European countries (MEPC77-7-20), another group of countries including Iceland and New Zealand (MEPC77-7-27) and IMarEST Also Costa Rica, Norway, the UK and the US also support this and demand setting interim targets. The International Shipping Chamber (ICS) supports only a net-zero CO₂ emissions target in its submission.

The IMO has implemented a monitoring and reporting system (called Data Collection System, DCS) to monitor CO₂ emissions of shipping globally. Moreover, the IMO has adopted policies in the last decade aiming at reducing CO₂ emissions. Two of these policies are mandatory: the Energy Efficiency Design Index (EEDI) and the Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP). The EEDI applies to all new built ships and requires a minimum energy efficiency level (measured in CO₂ emissions per tonne-mile) for different ship sizes and types.²¹ The SEEMP is a management plan for an individual ship to improve its energy efficiency.

The Initial IMO GHG Strategy (IMO 2018) includes a list of candidate policies which are planned to be discussed in the next years, while the actual adoption and implementation date might be much later than the date of agreement at IMO. ‘Short-term measures’ are expected to be agreed by 2023, ‘mid-term measures’ by 2030 and ‘long-term measures’ beyond 2030.

At the 76th meeting of the Marine Environment Protection Committee (MEPC 76) in mid-2021, two goal-based short-term measures were adopted to improve the energy efficiency of ships (Lloyd's Register 2020). The Energy Efficiency Index for Existing Ships (EEXI) will require every operator to improve the technical energy efficiency of existing ships in order to catch up with a new ship of the same type and deadweight in correspondence with the applicable EEDI. The Carbon Intensity Indicator (CII) will require a linear reduction of in-service carbon intensity of a ship (of 5 000 GT or larger) between 2023 and 2030. Discussions on mid- and long-term measures have slowly started. Recent submissions to the MEPC include for example the establishment of a research fund which is financed by a levy of 2 USD/ton of fuel (IMO 2019) and a mandatory levy on GHG emissions of 100 USD/ton of emissions (MEPC 2021).

²⁰ BBC (2021): <https://www.bbc.com/news/business-56835352>.

²¹ IMO – EEDI: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx>.

4.4.2 Shipping targets at political level and of industry stakeholders

Besides the IMO's target to reduce GHG emission by a minimum of 50% in 2050, other public entities have come forward and committed to reduce emissions from the shipping sector (Table 3). The Dutch government pledged together with private entities to reduce CO₂ emissions from the inland and maritime fleet by 70% relative to 2008. The United Kingdom recently decided to include international shipping emissions in its carbon budget and likely in respective climate targets. As for international aviation (section 4.3.2), the EU target of climate neutrality in 2050 applies to all emissions regulated in EU law and thereby includes at least intra-EU shipping.

Table 3 Climate-related targets of public and global entities in the shipping sector

Entity	Target 2050	Scope	Coverage	Comment
IMO	-50%	GHG	International shipping	Minimum -50%
Netherlands - private and public parties ²²	-70%	CO ₂	Dutch maritime fleet	Green Deal on Maritime and Inland Shipping and Ports, compared to 2008 levels
United Kingdom ²³	Net zero	GHG	Economy incl. international shipping	
EU ²⁴	Climate neutrality	GHG	Min. EU shipping	Compared to 1990 levels

Source: Own compilation.

Table 4 shows a non-exhaustive list of climate pledges from the shipping industry. The 2050 targets represent the wording used for the pledges by the individual entities. Column two and three elaborate the pledges based on our interpretation and what information was publicly available. The industry has clearly outpaced the ambition of the IMO. Many shipping companies are even twice as ambitious by aiming to reduce (net) GHG or CO₂ emissions to zero by 2050. Many actors have also committed to interim targets, such as the deployment of zero emission ships (e.g. Stena and AIDA). Interestingly, most of the listed climate targets are net zero emission or neutrality targets indicating that not all emission reductions would take place in the shipping sector but might partially be offset in other sectors. For a definition of “net zero GHG or CO₂ emissions” and “carbon or GHG neutrality” see section 4.2. For example, Maersk announced in 2018 to reduce CO₂ emissions to zero by 2050 without using offsets,²⁵ whereas now the pledge was rephrased to net zero CO₂ emissions not explaining if offsets will be used or not. While some targets from public and private entities cover only CO₂ (Carbon or CO₂ neutrality), there is also a number of entities which committed to GHG neutrality. This is in contrast to the aviation sector (section 4.3.2). Based on public information publicly available, it is impossible to determine which GHG are covered by GHG neutrality pledges and if a tank-to-wake or well-to-wake approach is taken for CO₂ or GHG neutrality. It is furthermore unclear, what climate neutrality will entail.

²² <https://www.greendeals.nl/sites/default/files/2019-11/GD230%20Green%20Deal%20on%20Maritime%20and%20Inland%20shipping%20and%20Ports.pdf>.

²³ <https://www.gov.uk/government/news/uk-enshrines-new-target-in-law-to-slash-emissions-by-78-by-2035>.

²⁴ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119&from=EN>.

²⁵ <https://www.ft.com/content/44b8ba50-f7cf-11e8-af46-2022a0b02a6c>.

Table 4 Climate-related targets of the shipping industry (non-exhaustive list)

Entity	Target 2050	Scope	Coverage	Comment
Getting to Zero Coalition ²⁶	-100%		International shipping	By 2050, industry runs entirely on net-zero energy sources
ICS ²⁷	Net zero	CO ₂	International shipping	
Norwegian shipowner association ²⁸	Climate neutrality	?	Norwegian fleet	Climate-neutral fleet, likely min. GHG emissions
Aida ²⁹	Climate neutrality	?	Own fleet	By 2040 climate-neutral fleet
CMA CGM ³⁰	Carbon neutrality	CO ₂	Own fleet	
MOL ³¹	Net zero	GHG	Own fleet	Offsetting explicitly included
MSC ³²	Net zero	CO ₂	Own fleet	
Maersk ³³	Net zero	CO ₂	Own fleet	
Odfjell ³⁴	Climate neutrality	?	Own fleet	
Stena Bulk ³⁵	Net zero	CO ₂	Own fleet and cargo carried	Operational, indirect and cargo-related emissions; incl. offsetting
TUI Cruises ³⁶	Climate neutrality	?	Own fleet	Incl. offsetting (already today)
Wagenborg ³⁷	-70%	CO ₂	Own fleet	Compared to 2008

Source: Own compilation, wording for 2050 targets represents original pledges by industry entities.

Besides the increasing number of single entities like shipping companies, there are also initiatives in the shipping sector which push for higher climate ambitions. The Getting to Zero Coalition is a coalition of different stakeholders of the shipping industry working together to enable zero-emission vessels by 2030 and who pledged to decarbonize international shipping by 2050 (Table 4). Among the signatories to the 2050 pledge are, besides Maersk, Odfjell, MSC and others already listed in the table, the shipping companies DFDS, Hapag-Lloyd, engine manufacturers and ports. The ICS, representing national shipowner associations, committed to net zero CO₂

²⁶ <https://www.globalmaritimeforum.org/getting-to-zero-coalition/call-to-action>.

²⁷ <https://www.ics-shipping.org/press-release/shipping-industry-sets-out-bold-plan-to-global-regulator-to-deliver-net-zero-by-2050/>.

²⁸ <https://rederi.no/globalassets/dokumenter/alle/rapporter/2020--klimarapport-engelsk.pdf>.

²⁹ https://www.aida.com/v10/fileadmin/user_upload/v8/Presse/AIDA_Roadmap_Zero_Emission_en.pdf.

³⁰ <https://cmacgm-group.com/en/news-media/The-CMA-CGM-Group-heads-towards-carbon-neutrality-by-2050>.

³¹ https://mol.disclosure.site/pdf/en/env-vision/mol_group_environmental_vision_2.1.pdf.

³² <https://splash247.com/soren-toft-vows-msc-will-be-net-zero-by-2050/>.

³³ <https://www.maersk.com/about/sustainability/commitments-2020/decarbonising-logistics>.

³⁴ <https://www.odfjell.com/about/our-stories/odfjell-sets-ambitious-climate-targets/>.

³⁵ <https://www.stenabulk.com/press-and-news/press-releases/stena-bulk-unveils-decarbonisation-plan-become-net-zero-business-2050>.

³⁶ <https://www.dw.com/en/tui-cruises-planning-for-a-carbon-free-future/a-56986548> and <https://www.meinschiff.com/nachhaltigkeit/emissionen>.

³⁷ <https://www.wagenborg.com/sustainability>.

emissions in 2050. Additionally, there are the Poseidon Principles,³⁸ which provide a framework for banks to assess the climate alignment of ship finance portfolios, and the Sea Cargo Charter,³⁹ whose signatories pledged to annually assess the climate alignment of ship chartering activities. Both initiatives adhere to the climate targets of the IMO. Nine international companies, as the initiative Cargo Owners for Zero Emission Vessels, have committed to use only ships powered by zero-emission fuels (on a lifecycle basis) to transport their cargo by 2040.⁴⁰

4.5 Paris-compatible targets for aviation and shipping

GHG reduction targets for (international) aviation and shipping which are compatible with the temperature goals of the Paris Agreement can be derived with different approaches:

- ▶ **Remaining carbon budget (RCB):** estimating the remaining carbon budget (until 2100) for aviation and shipping from the current share of the sectors from global emissions,
- ▶ **Constant share of emissions (CS):** deriving emission levels from IPCC 1.5° and 2°-compatible emission pathway based on constant (relative) shares of the aviation and shipping sectors of global emissions (e.g. 17,964 MtCO₂ in 2050 in SSP1-26 scenario),
- ▶ **Industrial country:** treating aviation and shipping as an industrial country,
- ▶ **Industry ambitions:** deriving a target from the ambition of selected industry stakeholders.

Table 5 and Table 6 show potential climate targets for aviation based on the different approaches above. The targets are shown in absolute terms in MtCO₂ and as a percentage relative to the reference year. For comparison, the IMO target is shown with an absolute emission level for 2050 derived from the emission level in 2008. ICAO has not adopted a target for 2050 (section 4.3.1).

Table 5 Targets for international/EU aviation

Approach	Target 2050 [%]	Target 2050 [MtCO ₂]	Details
ICAO target	None	None	No long-term target agreed
RCB, 50% chance of 1.5°C	> -100	0	Compared to projected 2020 emission levels, zero emissions already in 2040s
RCB, 50% chance of 2°C	-59	370	Compared to projected 2020 emission levels
CS, IPCC 1.5 report, 1.5°C	-95	31	Compared to 2018, top-down data
CS, IPCC 1.5 report, 2°C	-45	274	Compared to 2018, top-down data
Industry ambitions	-100 (net)	Net zero	
Industrialized country	-100 (net)	Climate neutrality	Pathway as EU, compared to 1990

Source: Own compilation

Matthews et al. (2021) refined the remaining carbon budget (RCB) presented in IPCC (2018) showing that the RCB for keeping global warming to 1.5°C or 2°C (with a 50% chance) would result in a global RCB of 440 GtCO₂ or 1,374 GtCO₂ respectively (for 2020-2100). We recognize that

³⁸ Poseidon Principles: <https://www.poseidonprinciples.org/#about>.

³⁹ Sea Cargo Charter: <https://www.seacargocharter.org/>.

⁴⁰ <https://www.ft.com/content/850eee4b-2c2d-4186-99d7-fd8e8131ddd0>.

RCBs are a simplified concept of a complex issues with uncertainties. However, RCBs are widely used and can be used as an additional perspective on climate targets.

Taking the share of international aviation in 2018 of about 1.7%, we can derive respective RCBs for the international aviation sector by attributing a respective share of the global RCB to aviation. Assuming a linear reduction of this aviation budget between 2020 and 2100, we can calculate emission levels for 2050. The 2020 value is based on the ICAO CAEP baseline of 623 Mt CO₂ in 2020 (ICAO 2019a). The RCB for 1.5°C of global warming would require the sector to reduce the CO₂ emissions to zero already in the 2040s, whereas the RCB for 2°C of global warming would leave the sector with CO₂ emissions of 370 Mt. It is also possible to derive a target for international aviation if it is assumed that the sector retains its constant share of global emissions in 2018 (about 1.7%). Following the emission pathways of the SSP1-1.9 and SSP1-2.6 scenario from Riahi et al. (2017) and Rogelj et al. (2018), the sector's 2050 target would be 31 MtCO₂ and 274 MtCO₂ for a 1.5°C- or 2°C-compatible pathway respectively. Considering the industry ambitions in section 4.3.2 the aviation sector would need to achieve net zero CO₂ emissions in 2050. The same target would apply if international aviation would be treated as an industrialized country like the EU. Altogether, a sector target of 95-100% reduction by 2050 would be appropriate for reaching the 1.5°C goal.

Table 6 shows potential climate targets for international shipping derived from the approaches listed above.

Table 6 Targets for international/EU shipping

Approach	Target 2050 [%]	Target 2050 [MtCO ₂]	Details
IMO target	-50	460	Compared to 2008
RCB, 50% chance of 1.5°C	> -100	0	Compared to projected 2020 emission levels, zero emissions already in 2040s
RCB, 50% chance of 2°C	-61	440	Compared to projected 2020 emission levels
CS, IPCC 1.5 report, 1.5°C	-95	38	Compared to 2018, Bottom-up data
CS, IPCC 1.5 report, 2°C	-45.4	336	Compared to 2018, Bottom-up data
Industry ambitions	-100 (net)	Net zero	Compared to 2008
Industrialized country	-100 (net)	Climate neutrality	Pathway as EU, compared to 1990

Source: Own compilation

Taking the share of international shipping in 2018 of 2%, we can derive respective RCBs for international shipping (as described for international aviation above). The RCB for 1.5°C of global warming would require the sector to reduce the CO₂ emissions to zero already in the 2040s, whereas the RCB for 2°C of global warming would leave the sector with CO₂ emissions of 440 Mt. It is also possible to derive a target for international shipping if it is assumed that the sector retains its relative share of global emissions in 2018 (about 2%) until 2050. Following the emission pathways of the SSP1-1.9 and SSP1-2.6 scenario from Riahi et al. (2017) and Rogelj et al. (2018), the sector's 2050 target would be 38 MtCO₂ and 336 MtCO₂ for 1.5°C- or 2°C-compatible pathways respectively. To reach the 1.5°C goal, it would thus be necessary to achieve 95-100% emission reduction between 2040 to 2050. Considering also the industry ambitions of (net) zero

targets in section 4.4.2, it would be appropriate for the international shipping sector as a whole (e.g. through IMO) to adopt a target of (at least) net zero CO₂ emissions in 2050. The same target would apply if international shipping would be treated as an industrialized country like the EU.

Comparing the CO₂ emission levels in 2050, it becomes clear that all approaches lead to higher emissions reductions than the ICAO and IMO targets. To keep global warming to 1.5°C, emissions reductions need to be considerably higher and net zero CO₂ emission pledges are appropriate in this regard.

4.6 Conclusion and recommendations

Our analysis shows that the climate targets set by ICAO and IMO are not compatible with the targets of the Paris Agreement and are also less ambitious than the pledges made by the aviation and shipping industry. Our analysis provides the following insights:

- ▶ Aviation and maritime shipping are well developed industrial sectors with high technological standards. Regarding many aspects (productivity, capital intensity, etc.) they resemble industrialized rather than developing countries. It would thus be appropriate to request the same GHG emission reduction as for industrialized countries, i.e. -100% by 2050.
- ▶ By applying the current share of the sectors in global CO₂ emissions to a 1.5°C or 2°C-compatible pathway developed in context of the latest IPCC reports, the respective share of emissions in 2050 for the sectors can be derived. The resulting CO₂ emissions in 2050 are much lower than the targets adopted at ICAO and IMO so far.
- ▶ Various pledges from the aviation and shipping industry actors are more ambitious than what is adopted at ICAO and IMO until now. Most of those targets aim at net zero CO₂ emissions by 2050. However, in most cases it is not identified to which extent the reduction should be achieved within or beyond the sector through offsetting. Since offset units will be much scarcer by 2050 than today, these targets may have a significant price impact and in this way trigger additional emission reductions within the sectors.

Recommendations regarding the next steps in the EU:

- ▶ The EU should clearly aim at a full decarbonization - including the use of renewable fuels of non-biological origin (RFNBO) - of both sectors by 2050, both for its internal policy targets and in the negotiations at ICAO and IMO.
- ▶ Any potential long-term targets should clearly distinguish between in-sector emission reduction and offsetting emissions in other sectors. Ideally, emission from the use of fossil fuels should be reduced within the sectors including through the use of RFNBO, also called e-fuels.
- ▶ RFNBO are the key fuels to reduce the GHG emissions of both sectors considering the constrained availability of sustainable biofuels. ReFuelEU Aviation and FuelEU Maritime aim at promoting the accelerated uptake of these fuels. However, the shares to be achieved in both dossiers would lead to a decarbonization much later than 2050. The quotas should thus be increased to levels which ensure decarbonization by 2050.
- ▶ Since the non-CO₂ climate impact of aviation can be reduced but from today's perspective not entirely avoided, their impact should be offset through negative emission technologies (NET). To promote the development of these technologies, which would also be required for other sectors (agriculture/food/etc.), the EU should aim at achieving climate neutrality by 2050 - also in the aviation sector.

4.7 References

- CAT - Climate Action Tracker (2020). International Shipping/Aviation Assessment, June 2020 Release. Climate Action Tracker, 2020. Online verfügbar unter <https://climateactiontracker.org/press/international-shiping-and-aviation-emissions-goals-both-critically-insufficient/>, zuletzt geprüft am 04.10.2021.
- EASA - European Union Aviation Safety Agency (2020). Updated analysis of the non-CO2 climate impacts of aviation and potential policy measures pursuant to the EU Emissions Trading System Directive Article 30(4), Report from the European Commission to the European Parliament and the Council (COM(2020)747final). European Union Aviation Safety Agency, 2020. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/clima/news/updated-analysis-non-co2-effects-aviation_en, zuletzt geprüft am 02.12.2020.
- EC - European Commission (Hg.) (2020): ICF Consulting; Air Transportation Analytics; NewClimate Institute; Cambridge Econometrics; HFW; Sven Starckx. Assessment of ICAO's global market-based measure (COR-SIA) pursuant to Article 28b and for studying cost passthrough pursuant to Article 3d of the EU ETS Directive. Brussels, 2020, zuletzt geprüft am 18.03.2021.
- EP - European Parliament; EC - European Council (2021). 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'). European Parliament; European Council. Brussels, 30.06.2021. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119&from=EN>, zuletzt geprüft am 30.04.2022.
- ICAO - International Civil Aviation Organization (2019a). Global Environmental Trends, Present and Future Aircraft Noise And Emissions. International Civil Aviation Organization, 2019. On-line verfügbar unter https://www.icao.int/Meetings/a40/Documents/WP/wp_054_en.pdf, zuletzt geprüft am 23.05.2020.
- ICAO - International Civil Aviation Organization (2019b). Resolution A40-18: Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection - Climate change, 40th session of the ICAO Assembly. International Civil Aviation Organization, 2019. Online verfügbar unter https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Assembly/Resolution_A40-18_Climate_Change.pdf, zuletzt geprüft am 07.04.2021.
- IMO - International Maritime Organization (2018). Adoption of the initial IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships and existing IMO activity related to reducing GHG emissions in the shipping sector, Note by the International Maritime Organization to the UNFCCC Talanoa Dialogue - Resolution MEPC.304(72). International Maritime Organization, 13.04.2018. Online verfügbar unter https://unfccc.int/sites/default/files/resource/250_IMO%20submission_Talanoa%20Dialogue_April%202018.pdf, zuletzt geprüft am 14.06.2019.
- IMO - International Maritime Organization (2019): ICS; BIMCO; CLIA; INTERCARGO; INTER-FERRX; INTERTANKO; IPTA; WSC. Proposal to establish an International Maritime Research and Development Board (IMRB), MEPC 75/5/4 - Reduction of GHG emissions from ships (MEPC 75/7/4). International Maritime Organization. London, 2019.
- IMO - International Maritime Organization (2020). Fourth IMO Greenhouse Gas Study 2020, Reduction of GHG Emissions from Ships (MEPC 75/7/15). International Maritime Organization. London, 2020. Online verfügbar unter <https://docs.imo.org/Shared/Download.aspx?did=125134>, zuletzt geprüft am 24.10.2020.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2018): IPCC. Global warming of 1.5°C, An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, 2018. Online verfügbar unter https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf.

- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2021): Masson-Delmotte, V.; P. Zhai; A. Pira-ni; S. L. Con-nors; C. Péan; S. Berger; N. Caud; Y. Chen; L. Goldfarb; M. I. Gomis; M. Huang; K. Leitzell; E. Lonnoy et al. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assess-ment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press (Hg.), 2021. Online verfügbar unter <https://www.ipcc.ch/re-port/ar6/wg1/>, zuletzt geprüft am 20.08.2021.
- Lee, D. S.; Fahey, D. W.; Skowron, A.; Allen, M. R.; Burkhardt, U.; Chen, Q.; Doherty, S. J.; Freeman, S.; Forster, P. M.; Fuglestedt, J.; Gettelman, A.; León, R. R. de; Lim, L. L. et al. (2021): The con-tribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment* 244, S. 117834. DOI: 10.1016/J.ATMOENV.2020.117834.
- Lloyd's Register (2020): Lloyd's Register. Summary Report - IMO Marine Environment Protec-tion Committee Seventy-Fifth Session (MEPC 75), Briefin Note. Lloyd's Register, 2020, zuletzt geprüft am 29.01.2021.
- Matthews, D. H.; Tokarska, K. B.; Rogelj, J.; Smith, C. J.; MacDougall, A. H.; Haustein, K.; Mengis, N.; Sippel, S.; Forster, P. M.; Knutti, R. (2021): An integrated approach to quantifying uncertainties in the remaining carbon budget. In: *Commun Earth Environ* 2 (1), S. 1–11. DOI: 10.1038/s43247-020-00064-9.
- MEPC (2021). MEPC 76/7/12; REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS - Proposal for IMO to establish a universal mandatory greenhouse gas levy, Submitted by the Marshall Islands and Solomon Islands (MEPC76). MEPC, 2021.
- Öko-Institut (2021): Siemons, A.; Schneider, L.; Wissner, N.; Keimeyer, F.; Gores, S.; Graichen, J. Options for reg-ulating the climate impacts of aviation. Öko-Institut. Stiftung Klimaneutralität (Hg.), 2021. Online ver-fügbbar unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Options-for-regulating-the-climate-impacts-of-aviation.pdf>, zuletzt geprüft am 01.06.2021.
- Riahi, K.; van Vuuren, D. P.; Kriegler, E.; Edmonds, J.; O'Neill, B. C.; Fujimori, S.; Bauer, N.; Calvin, K.; Dellink, R.; Fricko, O.; Lutz, W.; Popp, A.; Cuaresma, J. C. et al. (2017): The Shared Socioeco-nomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications, An overview. In: *Global Environmen-tal Change* 42, S. 153–168. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009.
- Rogelj, J.; Popp, A.; Calvin, K. V.; Luderer, G.; Emmerling, J.; Gernaat, D.; Fujimori, S.; Strefler, J.; Hasegawa, T.; Marangoni, G.; Krey, V.; Kriegler, E.; Riahi, K. et al. (2018): Scenarios towards li-miting global mean tem-perature increase below 1.5 °C. In: *Nat. Clim. Chang.* 8 (4), S. 325–332. DOI: 10.1038/s41558-018-0091-3.
- UBA - Umweltbundesamt (2019). Umweltschonender Luftverkehr, lokal-national-international (UBA Texte, 130/2019). Umweltbundesamt, 2019. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/pub-likationen/umweltschonender-luftverkehr>, zuletzt geprüft am 13.12.2019.
- UBA - Umweltbundesamt (2020): Broekhoff, D.; Schneider, L.; Tewari, R.; Fearnough, H.; Warnecke, C. Op-tions for Improving the Emission Unit Eligibility Criteria under the Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation, 36/2020. Umweltbundesamt. Berlin, 2020, zuletzt geprüft am 10.06.2021.
- UCL (2018): Smith, T. The IMO's 2018 climate agreement explained. UCL, 2018. Online verfügbar unter <https://gmn.imo.org/wp-content/uploads/2018/05/IMOs-2018-climate-agreement-explained-a-UCL-document.pdf>, zuletzt geprüft am 25.03.2021.
- UNEP (2020): Emissions Gap Report 2020. Nairobi, 2020. Online verfügbar unter <https://www.unep.org/emis-sions-gap-report-2020>, zuletzt geprüft am 04.10.2021.

5 Biofuel for shipping

10 March 2022

5.1 Introduction

The European maritime shipping sector is, like all other sectors, faced with the challenge that it has to phase out its greenhouse gas (GHG) emissions. One of the ways to reduce the maritime shipping sector's GHG emissions is to use biofuels instead of the currently used fossil fuels, such as heavy fuel oil or marine diesel oil. Biofuels are fuels made from biomass (plant or animal material). For maritime shipping relevant biofuels are for example biodiesel, biomethanol or liquefied biomethane. However, it is still uncertain to what extent biofuels actually will be able to contribute to the sectors' decarbonisation. This depends, among other things, on the development of biomass supply, biomass demand in both the shipping sector and in other sectors, the GHG reduction potential of biofuels, as well as energy and environmental policies. In this short paper, we present a concise description and discussion of the current state of knowledge on biomass and its potential role for the EU maritime transport sector.

This paper focuses on the potential biomass demand from maritime shipping and other sectors within the EU. On the supply side, we consider the availability of sustainable biomass within the EU in 2030 and 2050⁴¹. On the demand side, we compare estimations from literature of biomass demand in EU maritime shipping with demand in other sectors such as aviation and the chemical industry in 2050 and discuss the availability of biomass for maritime shipping by considering willingness to pay for biomass in different sectors and the available sustainable biomass supply. In this introductory section, we shortly describe the variety of biomass feedstocks that exist (5.1.1), discuss different conversion routes for the production of different biofuels from these feedstocks that can be used in maritime vessels (5.1.2), and discuss the sustainability of biomass and marine biofuels (5.1.3). In section 5.2, we present an overview of the current use of biomass in the European Union. This is followed by a short literature study of the potential availability of sustainable biomass in the EU in section 5.3. Finally, we discuss the extent to which the EU maritime sector can expect to acquire a share of the available sustainable biomass in the pursuit of its climate goals in section 5.4. A short conclusion is given in section 5.5.

5.1.1 Biomass feedstocks

There is a high number of different biomass streams/feedstock types, which are classified in various ways. For high-level biomass availability studies, it is useful to distinguish between production streams on the one hand, and primary, secondary and tertiary residues on the other hand.

Production streams require land or water surface area for the growth of biomass crops or trees. Their cultivation for the purpose of the production of, for example, biofuels may directly or indirectly interact with the production of food and feed and may result in environmentally damaging land use change (see section 5.1.3).

Primary, secondary and tertiary residues are 'produced' at different points in the supply chain. The use of residues for biofuels production is considered more sustainable, although negative market displacement effects cannot be ruled out.

Another basis for distinction between feedstocks is by sector of origin: agriculture, forestry, aquaculture, and other sectors. For each of these sectors, the distinction between production

⁴¹ The potential import of sustainable biomass from the rest of the world is very uncertain, as it depends on biomass supply and demand developments in other world regions. For this reason, the biomass import potential has hardly been estimated in literature. However, a literature study by Hoefnagels et al. (2018) indicates that the potential biomass import volume in 2050 is smaller than the available supply within the EU.

streams and residues can be made. The resulting classification is shown in Table 7. The feedstocks that can be grouped in each of the ‘cells’ of this classification are subject to similar biomass collection challenges and sustainability risks, which makes this classification a meaningful tool in the exploration of biomass supply and demand.

Table 7 Classification of biomass feedstocks and examples per category

	Agriculture	Forestry	Aquaculture	Other
Production stream	Corn, sugar beets, soy, rapeseed, grasses	Roundwood	Algae*	Roadside grass, waste from landscape management
Primary residues	Corn stover, straw, manure	Thinnings, branches, bark		
Secondary residues	Beet pulp, slaughterhouse waste	Sawdust	Residues from algae processing	
Tertiary residues	Sewage sludge, organic waste, used oils and fats	Waste wood, paper and cardboard waste	Organic waste from algae-based products	

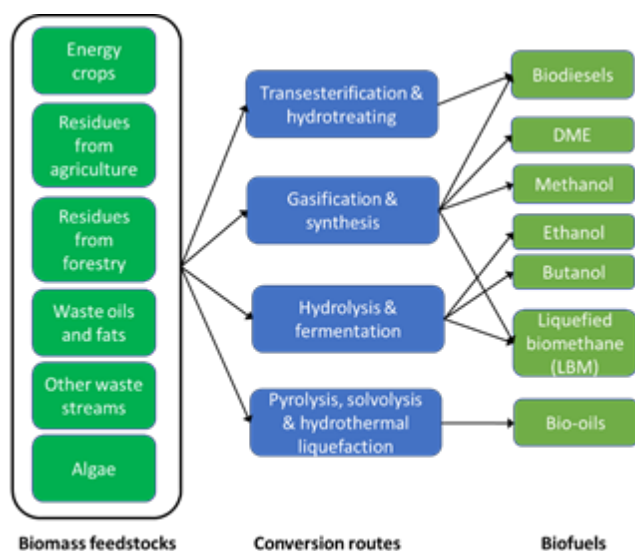
Source: Based on CE Delft and RH DHV (2020).

* This includes both macroalgae production at sea and land-based microalgae production.

5.1.2 Conversion routes and biofuels

There is not only a high number of different biomass feedstocks, but also a high number of biomass conversion technologies, which are connected to different marine fuels. The biomass feedstocks cannot be grouped per technology, because most feedstocks can be converted by most technologies. However, some conversion technologies are more logical to use for some feedstocks than others, because fewer process steps are required. Because most conversion technologies are still under development, a definitive overview of technically and economically feasible biomass-to-biofuel conversion routes cannot be given. Figure 3 presents a high-level overview of main existing conversion routes, using the study of IEA Bioenergy (2017) as a starting point.

Figure 3 Biofuel conversion routes for maritime shipping fuels



Adapted from IEA Bioenergy (2017)

Biodiesels, DME, biomethanol, bioethanol and biobutanol can be used to replace fossil distillate fuels such as marine gasoil (MGO) and marine diesel oil (MDO), whereas bio-oils can replace residual fuels such as heavy fuel oil (HFO). Liquefied biomethane (LBM) can replace LNG. However, because the physical and chemical properties of these biofuels are different from fossil marine fuels, they can only be used in current marine engines by blending them with fossil fuels up to a certain (small) percentage. Only biodiesel, LBM and biomethanol⁴² can potentially replace their fossil counterparts as a 'neat fuel' (for the full 100%). For the other biofuels, engine modifications or replacement are necessary.

We explain the four main conversion routes and corresponding biofuels as depicted in Figure 3 in more detail:

- ▶ **Transesterification & hydrotreating:** Fatty acid methyl ester (FAME) is the most common type of biodiesel currently produced, mainly for road vehicles. It is produced from bio-oil and methanol or ethanol in a transesterification process. Hydrotreated vegetable oil (HVO), which is also called 'renewable diesel' or hydrotreated esters and fatty acids (HEFA), is a biodiesel that is of higher quality than FAME. HVO is a drop-in fuel, which can be used in current diesel infrastructure and engines. It is produced using a two-stage hydrotreatment process. FAME and HVO can be produced from vegetable oils, used cooking oil, animal fats and algal lipids (which can be extracted from algae). Both FAME and HVO are already produced and used, but FAME is more common and cheaper to produce.
- ▶ **Gasification & synthesis:** Gasification is a technology with which solid biomass is broken down to synthesis gas (hydrogen, carbon monoxide and carbon dioxide). In a follow-up (but different) process, the hydrogen could be synthesized to produce Fischer-Tropsch (FT) biodiesel, dimethyl ether (DME) or methanol. Alternatively, the hydrogen could react with CO and CO₂ to form biomethane in a methanation process. Thermal gasification can be used to convert woody biomass, whereas supercritical water gasification can convert all types of wet biomass streams. Currently, only a few biomass gasification plants are in commercial operation due to technical and economic challenges. In the Netherlands, a pilot supercritical gasification plant is being developed.
- ▶ **Hydrolysis & fermentation:** Bioethanol is produced by extraction of carbohydrates from glucose-based feedstocks, hydrolysis (with which glucose is produced), and fermentation of glucose (sugars). Bioethanol is commonly used in road transportation. The bioethanol production plants that produce this bioethanol make use of mostly sugar and starch crops such as corn and sugar cane. Bioethanol can also be produced from lignocellulosic and algal biomass, but more innovative production processes are required for the conversion of these feedstocks. Biobutanol is an alcohol (like ethanol) that can also be produced by fermentation of biomass and can make use of the same feedstocks as used for the production of bioethanol, but there are some differences in the fermentation and distillation process (EAFO, 2021).
- ▶ **Pyrolysis, solvolysis & hydrothermal liquefaction:** Bio-oils (also called bio-crude) represent a range of liquid biofuels that are produced by pyrolysis, solvolysis or hydrothermal liquefaction. In the pyrolysis process, biomass feedstock is heated a high temperature for a few seconds in the absence of oxygen, causing its decomposition into combustible gases and charcoal. Some of the gases condense to form pyrolysis oil. Common feedstocks are lignocellulosic crops and other energy crops. Hydrothermal liquefaction (HTL) is a thermal depolymerisation process, with which wet biomass feedstocks can be converted to a bio-oil.

⁴² It must be noted that the current use of methanol in shipping is negligible, and that conventional diesel engines cannot run on methanol.

Solvolyis is comparable to HTL but uses a different solvent and process temperature range. A main advantage of solvolysis is that lignin-rich biomass feedstocks can be used (IEA Bioenergy, 2017).

5.1.3 Sustainability

The recast of the Renewable Energy Directive (2018/2001, hereafter called the ‘RED II’⁴³) includes the obligation for fuel suppliers to ensure a minimum share of 14% of renewable energy within the final energy consumption in the transport sector by 2030. Although this obligation mainly targets road and rail transport, renewable fuels that are supplied to maritime transport may also count towards this obligation, with a factor of 1.2 times their energy content (EU, 2018). This includes the delivery of biofuels. In the proposed RED II revision, which is part of the European Commission’s Fit for 55 package, the 14% target is replaced by a 13% greenhouse gas (GHG) intensity reduction target for transport for 2030, compared to a liquid fossil fuel reference value. The effect of this is that different biofuels, and biofuels made from different feedstock, will count differently towards the GHG target.

The RED distinguishes between three biofuel categories, based on the specific biomass feedstocks that are used to produce the biofuel and the sustainability of these feedstocks: Food and feed crops-based biofuels, advanced biofuels, and ‘Annex IX Part B biofuels’. Food and feed crops-based biofuels are, as the name indicates, produced from food and feed crops. Advanced biofuels are defined in the RED as liquid or gaseous biofuels made from materials listed in Part A of Annex IX. An overview of the biomass feedstocks per biofuel category is given in Table 8.

Table 8 Biofuel categories in the context of the RED and related biomass feedstocks

Food and feed crops-based biofuels	Advanced biofuels (Annex IX Part A)	Annex IX Part B biofuels
All food crops All feed crops	Algae, cultivated on land Biowaste from households and industry Straw Animal manure, sewage sludge Palm oil mill effluent, empty palm fruit bunches Tall oil pitch, crude glycerine Bagasse Grape marcs, wine lees, nut shells, husks Cobs cleaned of kernels of corn Biowaste from forestry and wood industry Other non-food cellulosic material Other lignocellulosic material (except saw logs and veneer logs)	Used cooking oil (UCO) Animal fats classified as categories 1 and 2 in accordance with Regulation (EC) No 1069/2009

Source: (EU, 2018)

The distinction between the three biofuel categories is based on the overall sustainability of the feedstocks used. The use of food and feed crops for biofuel production competes with the food market and may lead to indirect land use change (see below). Feedstocks used to produce advanced biofuels can be considered sustainable under certain conditions.⁴⁴ The Annex IX Part B feedstocks are non-food feedstocks, but the European Commission is concerned about opportunities for fraud, such as the mixing of used cooking oil with virgin oil (CE Delft, 2020). Therefore, the use of waste oils and fats for meeting the RED obligation is capped.

⁴³ We will use the more generic ‘RED’ to indicate both the current RED II and the proposed RED II revision.

⁴⁴ For example, a certain share of primary residues from agriculture and forestry should remain in order to preserve soil quality and biodiversity.

The RED II includes various rules that aim to stimulate the uptake of advanced biofuels. The proposal for the RED II revision from the Fit for 55 package from July 2021 contains changes that would strengthen the requirements and incentives for the uptake of advanced biofuels. Importantly, this is partly achieved by widening the scope of the RED from road and rail to the entire transport sector, including maritime transport. The main rules and proposed changes are shown in Table 9.

Table 9 Rules in the RED II and in the proposed RED II revision

Rule	RED II	Proposed revision
Scope	Road and rail sector	Entire transport sector, incl. aviation and maritime shipping
Main target for 2030	A minimum share of 14% of renewable energy within final energy consumption	A 13% greenhouse gas intensity reduction target
Application of double-counting	For advanced feedstocks (Annex IX Part A) and Annex IX Part B feedstocks	None
Multiplier for aviation and maritime fuels and coverage	Multiplier of 1.2, which covers all renewable fuels except food- and feed-based biofuels.	Multiplier of 1.2, which does not apply to food-and-feed-based biofuels, waste oil biofuels and recycled carbon fuels.
Cap on share of food and feed crops-based biofuels	Max. 7% (or at 2020 consumption level plus 1%, if this is lower)	<i>No change</i>
Cap on Annex IX Part B feedstocks	Max. 1.7%	<i>No change</i>
Binding target for the use of advanced biofuels in 2030	Min. 3.5%	Min. 2.2%
Interim targets for the use of advanced biofuels	None	0.2% in 2022 0.5% in 2025

Source: (Searle, 2021)

The RED also distinguishes between low ILUC-risk and high ILUC-risk biofuels, with ‘ILUC’ standing for ‘indirect land use change’. Low ILUC-risk biofuels are defined as “*biofuels, the feedstock of which was produced within schemes which avoid displacement effects of food and feed-crop based biofuels through improved agricultural practices as well as through the cultivation of crops on areas which were previously not used for cultivation of crops, and which were produced in accordance with the sustainability criteria for biofuels, bioliquids and biomass fuels laid down in Article 29*” (EU, 2018). In the Delegated Regulation 2019/807⁴⁵, criteria for determining high ILUC-risk feedstock and for certifying low ILUC-risk biofuels are stipulated (EU, 2019). According to the EC’s own assessment, palm oil is the only feedstock that creates a high ILUC risk. The use of high-risk ILUC biofuels for RED goals will be capped at the 2019 level until 2023 and be phased out towards 2030 (Flach, et al., 2021).

In general, biofuels that are used for complying with the renewable energy obligations for transport should comply with the sustainability and greenhouse gas (GHG) emissions saving criteria in Article 29 of the RED II. However, biofuels that are produced from wastes and residues,

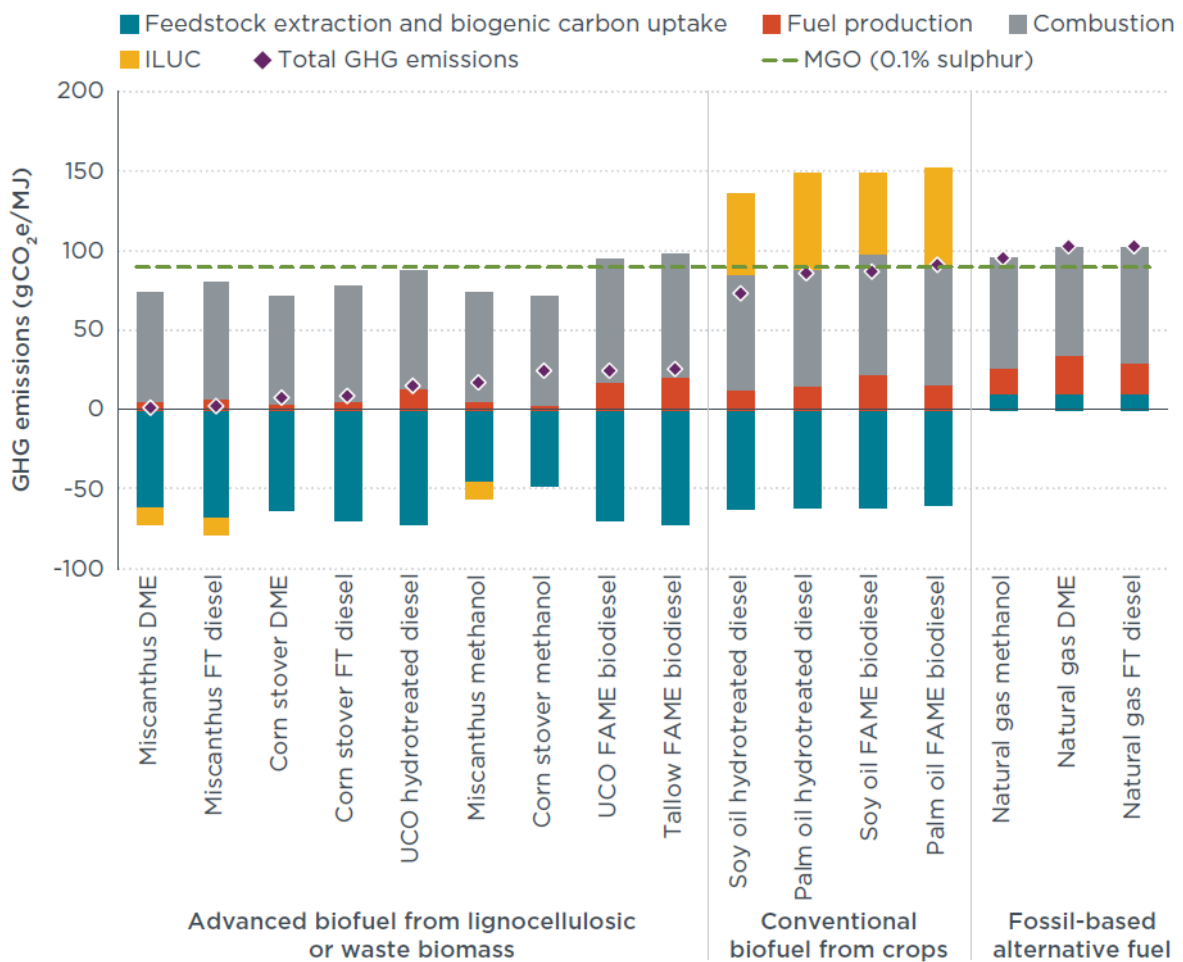
⁴⁵ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0807&from=EN>.

other than agricultural, aquaculture, fisheries and forestry residues, only need to meet the GHG emission saving criteria. The sustainability criteria include general requirements on soil quality, biodiversity protection and conservation of high-carbon content lands. Also, there are criteria specifically for forest biomass, which requires the presence of laws and monitoring and enforcement systems in the countries of origin that should ensure that negative environmental impacts are minimised. The GHG emissions saving criteria require that the use of biofuels in the transport sector lead to emission savings of at least 50 to 65% compared to a fossil reference fuel, depending on the starting date of operation of the biofuel production installation. The RED also provides the methodology that must be used to calculate the emission savings (EU, 2018). The methodology does not include potential GHG emissions related to ILUC.

The International Council on Clean Transportation (ICCT) has performed a life cycle analysis of the net GHG emissions of alternative marine biofuels from a well-to-wake perspective (ICCT, 2020). The results are depicted in Figure 4. In total, thirteen biofuel production routes are included, ordered from lowest to highest net GHG emissions. Included biofuels are DME, Fischer-Tropsch (FT) diesel, methanol, FAME biodiesel, and hydrotreated biodiesel. Included feedstock are miscanthus, corn stover, UCO, tallow, soy oil, and palm oil. For comparison, three fuel production routes based on natural gas are also shown, as well as the net GHG emissions of marine gasoil (MGO). The results show that biofuels made from wastes and lignocellulosic biomass (the first nine routes) create the highest well-to-wake GHG emission reduction: 70% to almost 100% compared to MGO. In contrast, the ILUC emissions caused by the production of biofuels from soy oil and palm oil leads to a net well-to-wake emission similar to that of MGO. It must be noted that the life cycle analysis results assume the use of 100% biofuel (neat fuel), whereas some fuels can only be used in limited quantities (blended with fossil fuel) in current marine diesel engines (ICCT, 2020).

In addition, ICCT (2020) presents a literature study of downstream air pollutant emissions reductions (SO_x , NO_x and particulate matter) of different biofuels in comparison to fossil fuels in marine shipping. The results are summarised in Table 10. Most biofuels result in a complete removal of downstream SO_x emissions. The NO_x and PM reductions vary much more widely, depending on reference fuel, biofuel, production technology, and probably also the used biomass feedstock (which are not shown in the study).

Figure 4 Life-cycle GHG emissions of alternative liquid marine fuels and feedstocks, by life-cycle stage



Source: (ICCT, 2020)

Note: The negative ILUC emissions shown in the figure may arise due to net soil carbon sequestration when miscanthus is cultivated on abandoned cropland and cropland pasture. However, the concept of negative ILUC emissions is still under discussion and the size of this effect is still highly uncertain (ICCT, 2018).

Table 10 Literature study results of downstream air pollutant emission reductions from using biofuels

Biofuel	Reference fuel	Blend	Emission reduction		
			SO _x	NO _x	PM
FAME biodiesel	LSHFO (1% S)	100%	89%	-13%	75%
	MGO and LSHFO (0.05% S)	100%	99%	0%	38% (MGO); 90% (LSHFO)
	ULSD (0.001% S)	100%	N/A	12 to 29%	N/A
	MGO	100%	100%	0%	38%
HVO biodiesel	MGO (0.05% S)	100%	100%	0 to 20%	-30%
	ULSD	50%	100%	1 to 13%	0 to 38%

Biofuel	Reference fuel	Blend	Emission reduction		
FT biodiesel	MGO (0.05% S)	100%	100%	0%	24%
	MGO (0.05% S)	100%	100%	8 to 20%	-18 to 16%
	MGO	10%	N/A	3 to 11%	4 to 6%
Methanol	LFO	100%	100%	51%	N/A
	HFO	100%	100%	30 to 50%	90%
	MGO (0.05% S)	100%	100%	81%	61%
	LSHFO (1% S)	100%	100%	82%	100%
DME	HFO	20% and 40%	100%	-20 to -26%	23 to 58%

Notes: Based on literature study by (ICCT, 2020). The values are from different sources, which have used different models and measurement methods. A negative value means an increase. The blend percentage is not based on suitability of direct use in conventional marine engines. Downstream emissions are emissions from the point of sale by the fuel producer. DME = dimethyl ether; FAME = fatty acid methyl ester; FT = Fischer-Tropsch; HFO = heavy fuel oil; HVO = hydrotreated vegetable oil; LFO = light fuel oil; LSHFO = low-sulphur heavy fuel oil; MGO = marine gasoil; NO_x = nitrogen oxides; PM = particle matter; SO_x = sulphur oxides; ULSD = ultra-low-sulphur diesel.

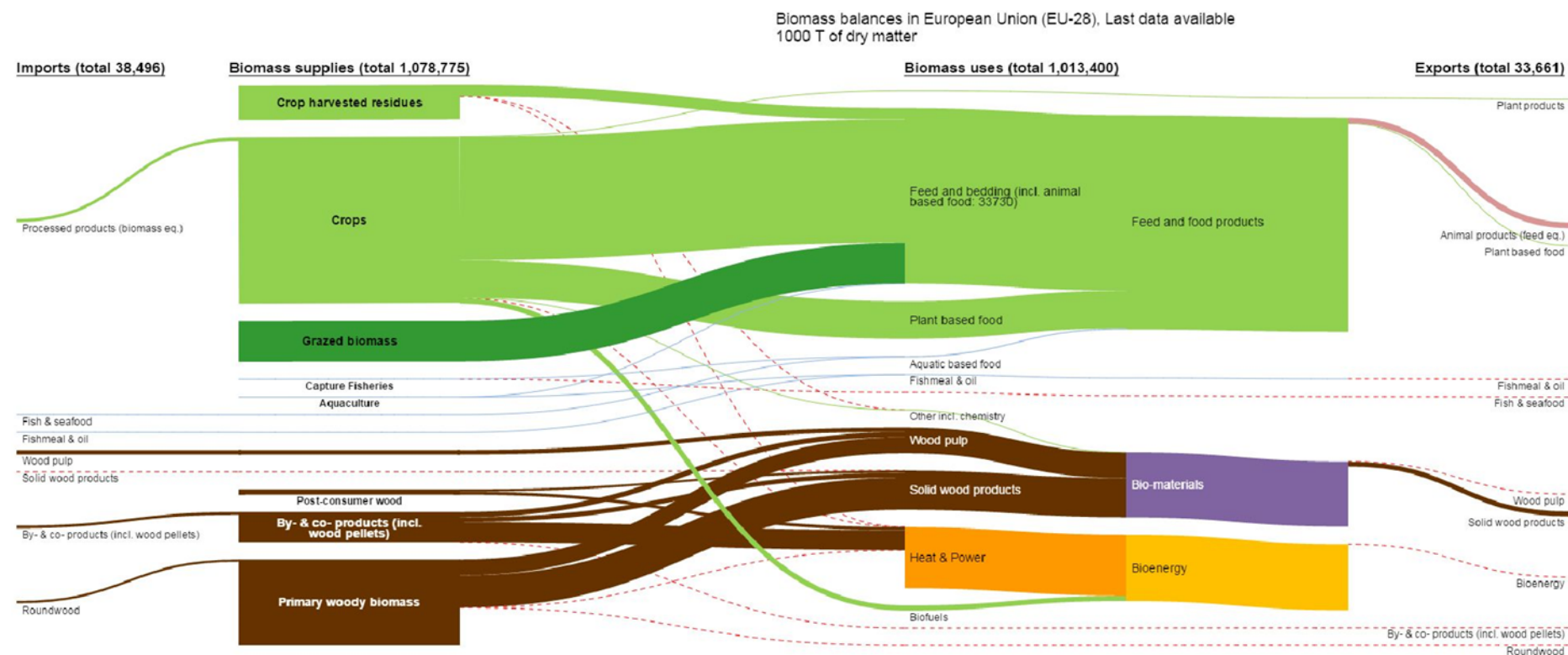
5.2 Current use

The Joint Research Centre (JRC) studies and models biomass flows in the European Union, and collects and integrates data on biomass supply and demand flows to this end. Results of these efforts are shown in Figure 5 and in Table 11. The figure provides an overview of biomass flows in the EU in the form of a Sankey diagram. The table contains supply volumes and total consumption volumes for the EU. Figure and table both give data from around the year 2017 and make a distinction between agricultural and forestry biomass.

Unfortunately, the overview of current biomass use that these data from the JRC provide is incomplete: Large data gaps exist in the field of biomaterial and bioenergy use of agricultural biomass (Camia, et al., 2018). Also, many bioenergy pathways, such as biogas production from biowaste, are not included (Gurría, et al., 2020). This is not only due to missing data, but also due to incorrectly reported data, or data that could not be assigned to a specific category.

The JRC biomass data include the agricultural biomass that is used for the production of food and animal feed, which is not considered to be part of the sustainable biomass potential that is available for material and energy applications. If we add up the current biomass volumes from biomaterials and bioenergy from Gurría et al. (2020), i.e., excluding biomass for food and feed, we obtain a value of 8.0 EJ (primary energy). Including a biomass stream labelled as 'unknown/losses', the value increases to 12.3 EJ. The study by Material Economics (2021) estimates current EU biomass consumption at 10.3 EJ/year (primary energy), which indicates that this value is of the right order of magnitude.

Figure 5 Biomass balance in the EU-28, in 1000 ton of dry matter



Source: data from the BIOMASS project, European Commission – Joint Research Center
Please note: Supply and use figures might not match due to estimation errors, stock changes, waste and/or loss of biomass or differences in the data sources used

Source: (Gurría, et al., 2017)

Note: Known data gaps are shown as dotted red lines. Supply and use figures may not match due to differences in the used data sources, estimation errors, stock changes and/or biomass losses (Camia, et al., 2018).

Table 11 Current biomass supply flows and consumption in EU27+UK, excluding imports, expressed in primary energy of the biomass

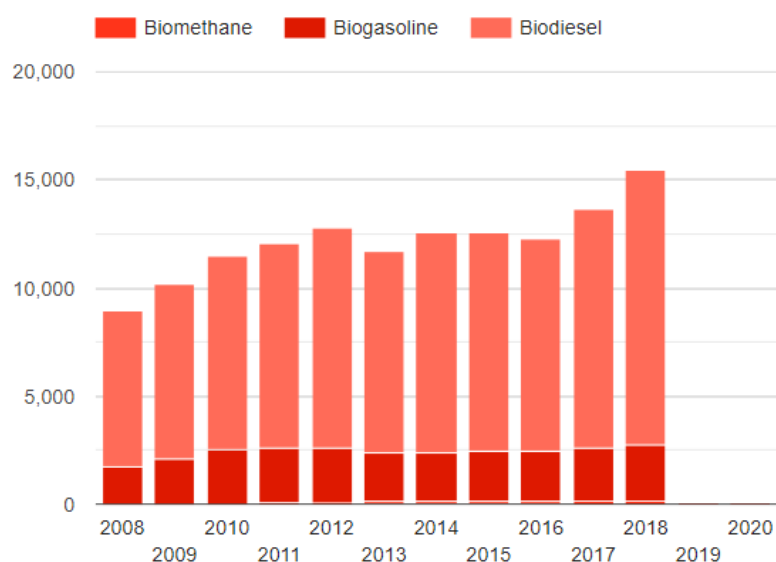
Agriculture (2017)	Volume in kt dry matter	Volume in EJ*
Crop production	568,305	9.7
Grazing	115,657	2.0
Residues	547,973	9.3
Not harvested residues**	440,365	7.5
Total supplied	1,672,300	28
Total consumed***	1,231,935	23
Woody biomass (2015)	Volume in kt dry matter	Volume in EJ*
Primary woody biomass	240,513	4.8
Primary and secondary residues	90,588	1.8
Post consumer wood	16,889	0.3
Total supplied/consumed***	347,990	6.9
Demand categories	Volume in kt dry matter	Volume in EJ
Food & feed	588,456	10.0
Biomaterials	219,691	4.3
Bioenergy	213,430	3.6
Unknown/losses	256,249	4.4
Non-food biomass consumption	689,370	12.3

Source: (Gurría, et al., 2020)

* The agriculture streams have been converted using an average energy content value of 17 MJ/kg; the forestry streams by using a value of 19.8 MJ/kg.; **Is not included in 'total consumed'; ***We assume that the total supply equals the total consumption.

The JRC data do not include a complete account of the use of biomass for the production of biofuels. In Figure 6, consumption data of biofuels in the EU in the period 2008-2018 are presented in ktoe/year, based on data collected by the European Alternative Fuels Observatory (EAFO). The EC's Renewable Energy Progress Report provides a higher value of the total EU biofuels consumption in 2018 (16,597 ktoe, instead of the 15,485 ktoe from the EAFO), but a division between different types of biofuels is not given (EC, 2020c).

Following the EAFO data shown in Figure 6, the EU consumption in 2018 consisted of 0.0064 EJ of biomethane, 0.11 EJ of biogasoline, and 0.53 EJ of biodiesel. In the EU, almost 100% of the biogasoline is bioethanol (EAFO, 2021). In 2020, close to 30% of the used biodiesel was made from used cooking oil and animal fats (Annex IX Part B biofuel). About 4% of the biodiesel produced in the EU in 2020, and 5% of the bioethanol, was an advanced biofuel (see section 5.1.3) (Flach, et al., 2021).

Figure 6 Biofuel consumption in the EU, in ktoe/year

Source: (EAFO, 2021)

5.3 Potential availability

Over the last years, various biomass potential studies have been carried out, in which the potential availability of biomass in Europe has been estimated. Most of these studies consider a limited set of biomass feedstocks. The different studies are rather difficult to compare, because different classifications and levels of aggregation of biomass feedstocks are used. Furthermore, studies differ in the types of biomass potential that they estimate: technical potential, sustainable potential, and/or economic potential. Moreover, for the estimation of sustainable potential, different definitions of 'sustainable' have been used, which have not always been clearly documented. In the Bio-Scope study (CE Delft and RH DHV, 2020), estimations of different studies were compared and compiled into a single overview of sustainable biomass potential in the EU, categorising biomass feedstocks production stream, primary residues, secondary and tertiary residues from agriculture and from forestry (so algae were not considered). An EU sustainable biomass potential of 15 to 30 EJ⁴⁶ in 2030 was found.

A recent and comprehensive estimation of the sustainable biomass potential in Europe has been made by the Joint Research Centre (JRC), the so-called ENSPRESO dataset (JRC, 2020) (Ruiz et al, 2019). They have included a wide range of biomass feedstocks and made estimations for multiple years and scenarios. The JRC scenarios make use of varying sets of assumptions regarding the strictness of the applied sustainability criteria and the productivity of agriculture and forestry. Key parameters that are varied between the different scenarios are (JRC, 2020):

- ▶ Available land for energy crop growth, energy crop productivity cultivation (incl. yield increase), and harvesting techniques;
- ▶ The share of agricultural residues available for energy and feedstock, which depends on competition for alternative use and collection ratios;

⁴⁶ The wide range is caused by different sustainability definitions used among studies, uncertainties about available volumes and different estimation methods, and the inclusion of different sets of detailed biomass feedstock types.

- ▶ Competing use for stemwood and residues from forestry, wood and pulp & paper industries;
- ▶ Collection ratios and competing use of various biomass waste streams.

The ‘Low’ scenario applies the strictest sustainability criteria and is also most conservative in productivity rate increases. Moreover, in the Low scenario it is assumed that fewer policy stimulation measures are in place, leading to lower levels of mobilisation of domestic biomass supply. The sustainability criteria vary between different biomass feedstock types. The detailed sustainability criteria in the Low and High scenario used for the analysis in this paper can be found in the supplementary data of Ruiz et al (2019).

Used cooking oil (UCO) and seaweed (also called macroalgae) were not included in the EN-SPRESO dataset from the JRC. UCO is ‘produced’ by collecting it from the food-processing industry, in restaurants and other catering companies, and households. In (CE Delft, 2020), a literature study of the available potential of UCO is presented, which shows that 0.06 to 0.07 EJ of UCO could be potentially collected in the EU in 2030. Assuming that the consumption of vegetable oils does not change between 2030 and 2050, the potential is the same in 2050.

Because seaweed can be cultivated on the ocean surface, a large surface area is theoretically available. However, offshore seaweed production and harvesting systems are still under development. Coastal and nutrient-rich waters are most suitable for seaweed production at sea. Lehahn et al. (2016) have calculated a theoretical potential of seaweed production concerning ‘the next 50 years’. The modelling results show that without technological or ecological restrictions, macroalgae can be cultivated in approximately 10% of the World Ocean. For Europe, the technical potential would add up to a maximum theoretical global supply potential of 2,052 EJ/year. However, because there are several ecological risks associated with large-scale cultivation, we estimated in a previous study that the maximum global sustainable potential is 750 to 1,500 EJ in 2050, and 50 to 100 EJ in 2030, as it takes time to develop cultivating and harvesting system on a large scale and in a profitable manner (CE Delft, 2020). When we assume that 13% of this potential is based in European waters (based on ocean region data in Lehahn et al. (2016)), we arrive at an indicative estimation of the EU sustainable seaweed potential of 6.6 to 13 EJ in 2030 and 100 to 200 EJ in 2050. However, it is uncertain whether the technical barriers to realising large-scale seaweed cultivation can be overcome before the year 2030. Moreover, a set of sustainability criteria for seaweed aquaculture still needs to be developed, which makes the potential for sustainable seaweed also uncertain at this stage.

Combining the aforementioned estimations, we obtain the comprehensive overview of the EU sustainable biomass potential in 2030 and 2050 presented in Table 12 and Figure 7. In view of the high uncertainty of the estimation of the seaweed potential, it has not been considered for the estimation of the total volume of available sustainable biomass.

Table 12 Estimated sustainable biomass potential in the EU in 2030 and 2050 (EJ)

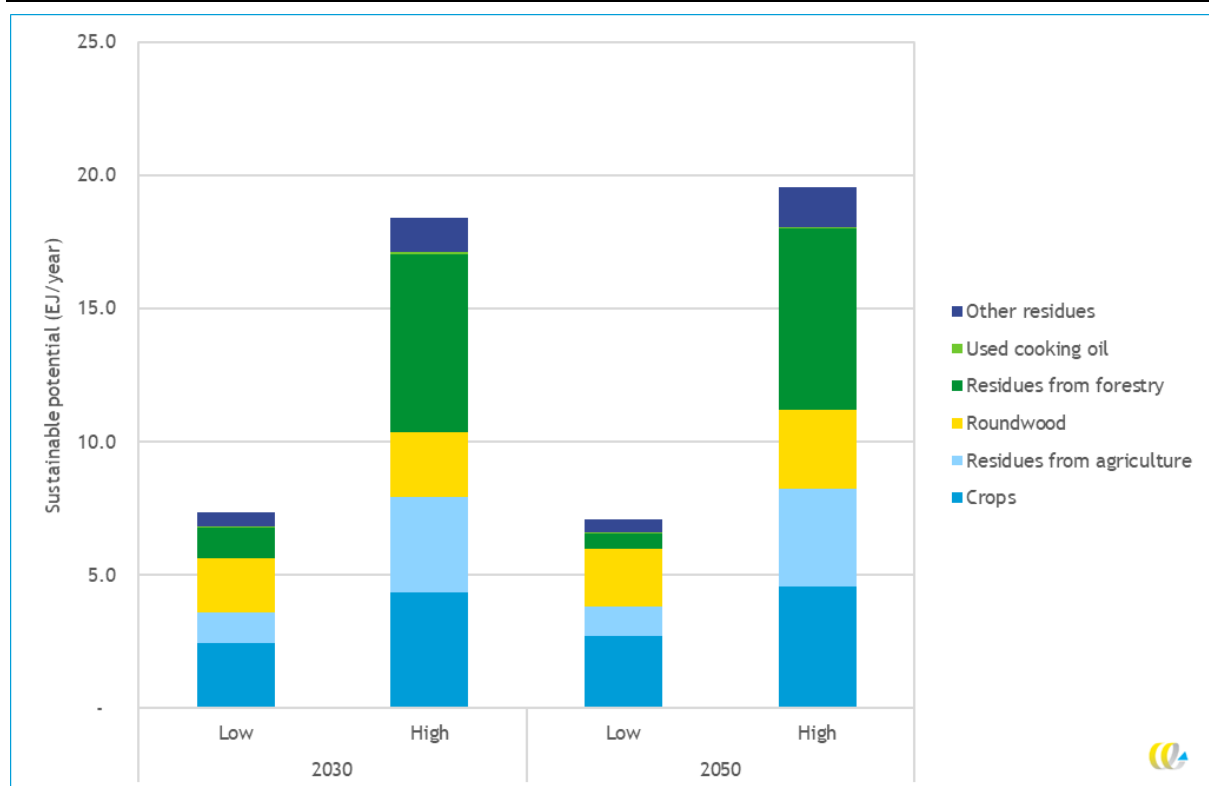
Feedstock	2030		2050	
	Low	High	Low	High
Sugar crops	0.8	0.8	0.9	1.0
Starch crops	0.3	0.3	0.3	0.3
Oil crops	0.1	0.2	0.2	0.2
Lignocellulosic crops	1.4	3.0	1.3	3.0

	2030		2050	
Agricultural residues	0.7	2.0	0.6	2.0
Manure	0.5	1.6	0.6	1.6
Municipal solid waste	0.4	0.6	0.4	0.8
Sewage sludge	0.02	0.04	0.03	0.06
Roundwood	2.0	2.4	2.2	3.0
Primary forestry residues	0.9	5.6	0.5	5.7
Secondary forestry residues	0.2	1.1	0.1	1.0
Landscape care wood	0.1	0.6	0.1	0.6
Used cooking oil	0.06	0.07	0.06	0.07
Total	7.3	18	7.1	20

Source: based on JRC (2020)

Note: Estimations of used cooking oil based on CE Delft (2020), and other feedstocks on JRC (2020).

Figure 7 Sustainable biomass potential in the EU



Source: based on JRC (2020)

The potential availability of sustainable biomass in the EU is estimated at 7.3 to 18 EJ/year in 2030 and 7.1 to 20 EJ/year in 2050.⁴⁷ This indicates that the availability of sustainable biomass is not expected to increase much between 2030 and 2050. On the one hand, the yield of

⁴⁷ The EU sustainable biomass supply estimation of 11 to 13 EJ/year from the study by Material Economics, which is discussed in section 5.4, falls within the range of 7 to 20 EJ/year found in this section (Material Economics, 2021).

sustainable agricultural and forestry biomass may improve due to more efficient and more sustainable management practices, but on the other hand the growing world population (which boosts the demand for food crops), climate change effects and biodiversity concerns could counter this development.

Furthermore, studying the results of the estimations, we find that biomass streams from agriculture and forestry have a similar contribution to the total sustainable biomass potential in Europe, and that the potential in the High scenario is 2.5 to 2.8 times higher than in the Low scenario.

If seaweed was included, the EU sustainable biomass potential could increase significantly. However, although the seaweed production potential is very large, it is also very uncertain if its realisation is technically and economically feasible and compliant with sustainability criteria. The feasible potential is likely to be much lower but has not been estimated yet.

The potentially available biomass volumes in EJ/year (primary energy) are higher than the energy content of the biofuels that can be produced from the biomass (final energy). However, this final energy volume depends on the adopted conversion technologies (including which biofuels are produced) and the used biomass feedstocks. To give an idea: Huang et al. (2011) estimate a biomass-to-fuel energy efficiency of bio-ethanol from corn of 46 to 49%, and an efficiency of FT-biodiesel from lignocellulosic biomass of 41 to 52%. Because many conversion technologies are still under development, data on energy efficiencies are incomplete and outdated. For a rough estimation of the final energy, we could divide the sustainable biomass potential figures by two.

If we could compare the current use of EU biomass with the potential availability, we could get an idea about the remaining, unused potential in the EU. Unfortunately, the overview of current biomass use in the EU (see section 5.2) is not complete and contains data on a high level of aggregation. Moreover, the overview includes biomass used for food and feed and wood used as a material (for construction, furniture, etc.), which are disregarded in the estimation of the sustainable potential of biomass supply. The data from Gurría, et al., (2020) show that about 7.5 EJ/year of agricultural residues are not harvested, while we have estimated the sustainable potential of this biomass category (incl. manure) to be max. 3.6 EJ/year. This illustrates that a large part of these residues cannot be sustainably collected, for example because it is needed to preserve soil quality. Having said that, the estimations of the current EU biomass consumption of 10 to 12 EJ/year and the potential sustainable biomass supply of 7 to 20 EJ/year indicate there may be little room for large-scale biomass use in new applications. We will elaborate on this in the next section.

5.4 Potential demand

In this section, we estimate the potential future biomass demand from the EU maritime transport sector, and then compare this with the potential biomass demand from other sectors in the EU like aviation and the chemical industry, and with the potential supply of sustainable biomass in the EU. This enables us to explore to what extent sustainable biomass can be expected to become available for biofuels production for the EU maritime transport sector. This section draws heavily from the recent study 'EU biomass use in a net-zero economy' by Material Economics, which compares potential biomass demand and supply volumes in the EU⁴⁸, and discusses implications for policy makers and industries (Material Economics, 2021).

⁴⁸ The study explores priorities for biomass by estimating where it has the most economic value, assuming that the whole EU economy achieves net-zero greenhouse gas emissions by 2050. Specific EU policies on the energy transition towards this end goal have not been considered. The authors have integrated analyses and scenarios of all major proposed uses of biomass, including

5.4.1 EU-wide demand and supply

Currently, the EU biomass consumption for purposes other than food and animal feed production is around 10.3 EJ per year, of which 40% is for materials and 60% for energy (Material Economics, 2021).⁴⁹ The analysis by Material Economics shows that this biomass demand could rise to 18 to 19 EJ per year in 2050 (primary energy), of which 6 EJ for materials and 12 to 13 EJ for energy. This is shown in Figure 8.⁵⁰ If the biomass demand estimations for individual sectors originating from sector-specific scenarios are added up, the total volume even exceeds 25 EJ per year in 2050.

On the supply side, the Material Economics study arrives at an available sustainable biomass supply in the EU in 2050 of 11 to 13 EJ. This range falls within our range of available sustainable biomass of 7.1 to 20 EJ in 2050 (see section 5.3). We note that the available EU supply is not much higher than current EU biomass consumption of 10.3 EJ per year.

The comparison of supply and demand shows that there is a mismatch between expected biomass supply and demand in 2050: The sustainable supply falls short by 5 to 8 EJ per year (or even more than 14 EJ per year when following the sum of sector scenarios). This comparison makes clear that biomass is a scarce resource, and that industries are currently overestimating the availability of sustainable biomass for their own sector. If industries aim to move to net-zero emissions by means of a substantial growth in the use of biomass, the sustainable biomass supply needs to grow beyond the estimated volume, large import volumes from outside the EU should be secured (without adverse effects on food markets and the environment), and/or biomass would have to become available by means of large reductions in biomass use in other demand applications (for example in electricity and heat production⁵¹ or in animal feed production⁵²). The potential of each of these options is highly uncertain but will also be subject to environmental and economic limitations.

both material and energy uses of biomass. The authors have calculated the 'break-even biomass cost' for the different applications by estimating the cost of alternative sustainable solutions for each of these applications (see section 5.4.4).

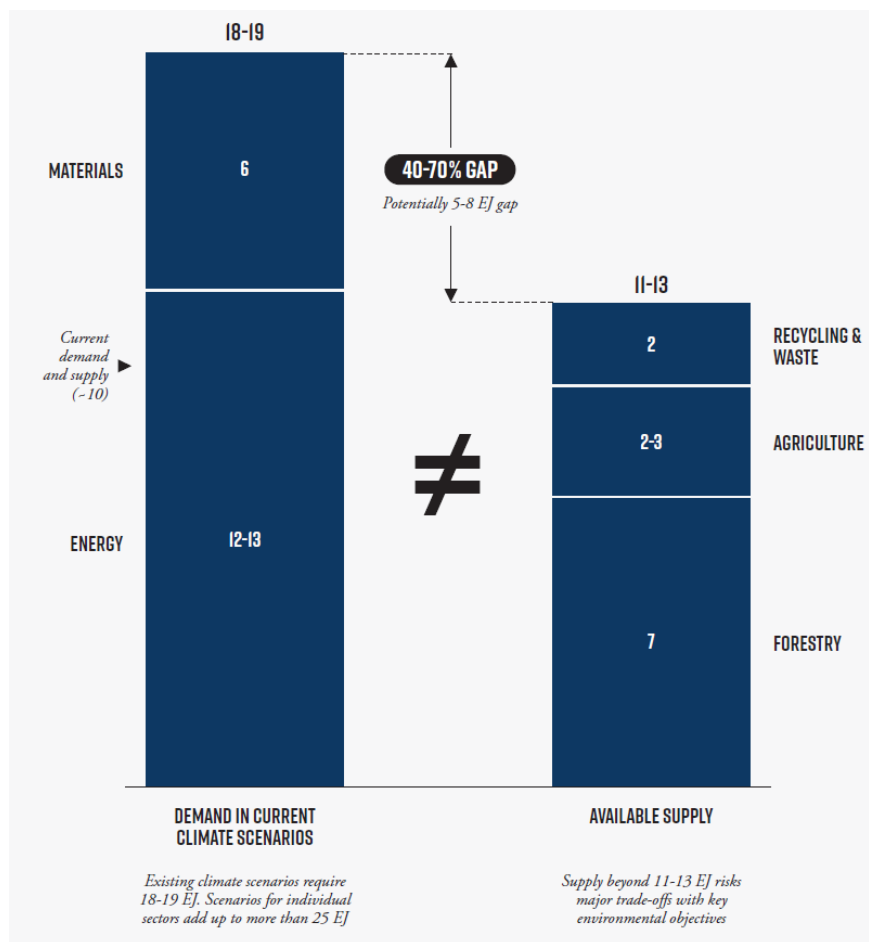
⁴⁹ This estimation is based on JRC data from 2015 and Eurostat data from 2019.

⁵⁰ Shipping is included in this biomass demand estimation, but the Material Economics report does not provide a quantity.

⁵¹ Current biomass use for electricity and heat production adds up to 5.4 EJ, according to the Material Economics study.

⁵² Large reductions in meat and dairy consumption would lead to reduced volumes of livestock and thereby a lower need for energy crops and agricultural residues as animal feed.

Figure 8 2050 biomass supply and demand for materials and energy in the EU (primary energy equivalents in EJ per year)



Source: (Material Economics, 2021)

5.4.2 Demand from maritime shipping

Today, the maritime transport sector relies almost completely on fossil fuels. The FuelEU Maritime proposal, which is part of the European Commission’s Fit for 55 package presented in July 2021, puts forward a common EU regulatory framework to increase the use of renewable and low-carbon fuels in international maritime transport. It includes a target for the maritime transport sector to reduce its greenhouse gas emissions by 75% in 2050 compared to 2020. The FuelEU Maritime proposal gives an estimated biomass demand figure for EU maritime shipping, originating from the EC’s policy scenarios, of 0.2 EJ (primary energy) in 2030 and 1.6 to 1.9 EJ in 2050 (EC, 2021a). Assuming a biomass-to-biofuels conversion efficiency of 50%, this corresponds to an estimated biofuels consumption of 0.1 EJ in 2030 and 0.8 to 0.95 EJ in 2050.⁵³

5.4.3 Demand from other sectors

In Table 13, the estimated realistic biomass demand and the theoretical maximum biomass demand are shown for different sectors in the EU. The latter is the maximum biomass demand that would arise if entire sectors would switch to biomass for material and energy. This can be considered to be a theoretical maximum. It also illustrates the size of different sectors in terms of

⁵³ The current final energy demand from EU maritime shipping is about 2 EJ/year (MKC, TNO and TU Delft, 2020). If we assume that this demand stays the same over time, the biofuel use estimations from the EC translate to a biofuels share in the EU maritime fuel mix of 5% in 2030 and 40% to 48% in 2050.

energy and materials demand. The maximum potential biomass demand share from shipping is relatively low, because the total energy use in shipping is relatively small compared to other sectors. The total estimated realistic biomass demand, which Material Economics (2021) has estimated based on different scenarios and sources, is 4.3 times lower than the total theoretical maximum demand. This indicates that the biomass use in various sectors is expected to grow to an average share of 20 to 25%.

Table 13 Estimated realistic biomass demand and maximum theoretical demand in the EU per sector, in 2050

Sector	Estimated realistic demand (EJ/year)	Theoretical maximum demand (EJ/year)	Sustainable biomass supply (EJ/year)
Building heating	1.6	17	
Pulp and paper	1.7	1.7	
Shipping	2.1	3	
Industrial heating	2.7	8	
Aviation	4.0	5	
Chemicals	4.4	5	
Solid wood products	4.4	4.4	
Road transport	4.9	41	
Power	6.5	53	
Total demand	32	138	
Supply			11 to 13

Source: adapted from Material Economics (2021)

Note: The estimated realistic demand is based on estimations from existing scenarios and sources. The theoretical maximum demand is the biomass volume that a sector would use when switching to biomass entirely.

The comparison in Table 13 shows that the estimated sustainably biomass supply in the EU in 2050 is roughly three times lower than the sum of the estimated realistic demand volumes from the different sectors. This raises the question how likely it is that the maritime transport sector can obtain a part of the available future biomass supply. This question is addressed in the next section.

5.4.4 Biomass availability for maritime shipping

In an international biomass market, the maritime shipping transport sector competes with other sectors for the scarce sustainable biomass resources. The sectors that are willing to pay the highest price for biomass feedstock will be able to obtain a share of these resources. And how much a specific sector is willing to pay, depends on the costs of alternative climate neutral⁵⁴ options for that sector.⁵⁵ Material Economics (2021) has analysed the willingness to pay for

⁵⁴ Biomass is technically not CO₂ neutral, because of fossil fuel use in the cultivation, harvesting and transport processes. For full CO₂ neutrality, some level of bioenergy with carbon capture and storage (BECCS) would be needed, but the capture and storage of CO₂ at ships is still under development.

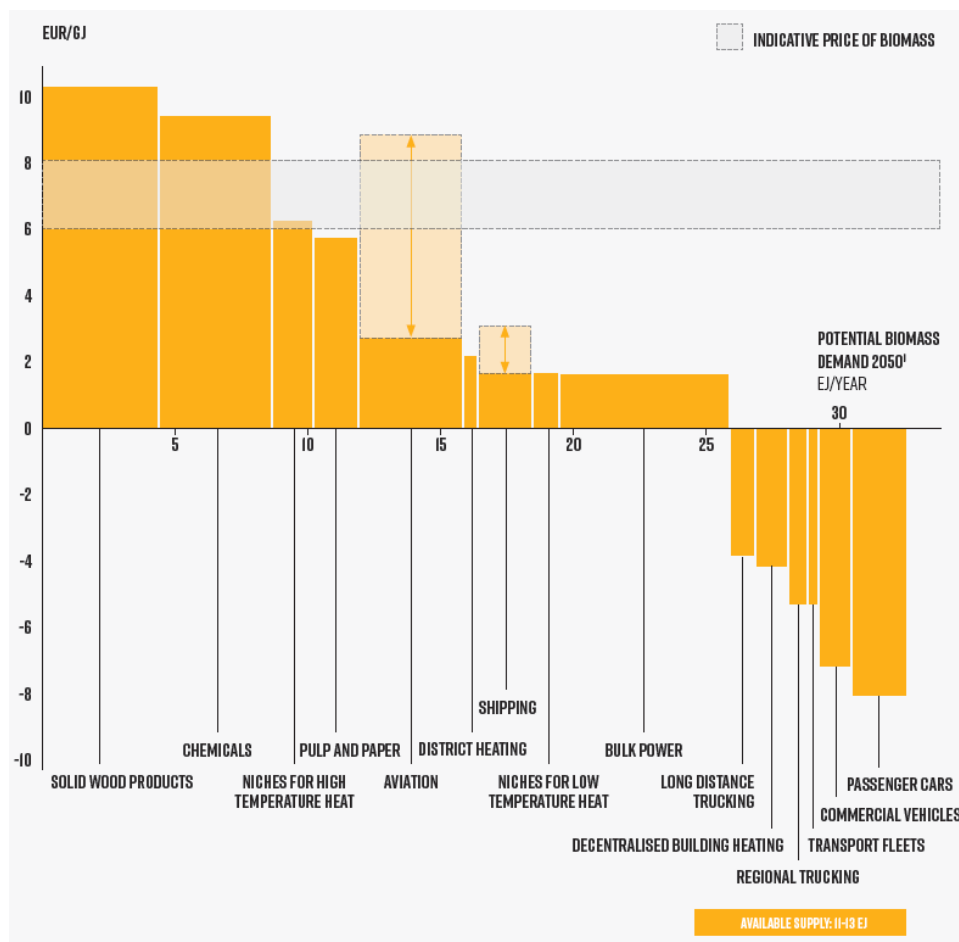
⁵⁵ To be precise, the willingness to pay for biomass feedstock depends on the total levelised cost of the 'biomass option' (per GJ final energy) compared the cheapest alternative carbon-neutral option, which encompasses investment costs, operating costs and energy costs.

biomass in different sectors, which is called ‘break-even biomass price’ in this study. It has created a merit order by ranking the estimated realistic biomass demand volumes from different sectors (which are shown in Table 13) from high to low break-even biomass price (in €/GJ). This merit order is shown in Figure 9.

The figure shows that biomass has the highest economic value when used to produce solid wood products. However, only roundwood is a suitable feedstock for this application. The second-highest value is found in using biomass as a feedstock for the production of chemicals. Together, these two applications could already use 8.8 EJ/year of the available 11 to 13 EJ/year. The next four sectors, niches for high-temperature heat, pulp and paper, aviation and district heating, also attach a higher economic value to biomass than shipping. The estimated biomass volumes from sectors that are willing to pay more for biomass than the shipping sector add up to a sum of 16.5 EJ/year. Considering that the estimated biomass demand from shipping is 2.1 EJ/year, the total biomass supply should be at least 18.6 EJ/year in order to fully satisfy this demand. In comparison, the sustainable biomass availability in the EU estimated by Material Economics is only 11 to 13 EJ/year, and our estimation from section 5.3 amounts 7 to 20 EJ/year. Given these estimations, we conclude that it is possible but unlikely that sufficient biomass will become available for the EU maritime shipping perspective from an economic perspective.

The uncertainty range that is visible in Figure 9 for the break-even biomass price for aviation and shipping has to do with the development, i.e., the speed of reduction, of the production cost of renewable hydrogen made by means of water electrolysis and the production cost of CO₂ from direct air capture, which determine the costs of synthetic fuels (e-fuels) as an alternative to bio-fuels for these two sectors. However, there is no scenario within this uncertainty range where shipping can claim a biomass share from an economic perspective, because these cost factors influence the willingness to pay for biomass in the aviation sector and the shipping sector in the same way. The use of biomass for the production of sustainable aviation fuel is more valuable, as the production process of synthetic kerosene is more energy intensive than that of the production of synthetic marine fuels such as hydrogen and methanol, which are simpler molecules that can be produced in fewer steps.

Figure 9 Break-even biomass prices at which the use of biomass is competitive against an alternative climate-neutral option in different sectors in 2050



Source: (Material Economics, 2021)

Note: The value shown for wood products is the product price expressed in energy-equivalents. The prices have been calculated without carbon capture and storage.

Based on their comparison of available sustainable biomass and biomass demand in the EU, the authors of Material Economics (2021) conclude that biomass is scarce and that decision makers need to “prioritise the uses with the highest economic and societal value”. Next to break-even biomass price as an economic indicator, the analysis also includes an evaluation of biomass applications and net-zero emission alternatives using the indicators of relative feasibility, resource efficiency, and CO₂ savings.⁵⁶ From a CO₂ savings perspective, materials are generally a better end product for biomass than energy carriers or heat, because the CO₂ is stored in the material for a long period of time. Furthermore, the use of biomass in the chemical industry is an efficient way to produce chemicals, as the required carbon input can be extracted from the biomass. The authors conclude that material uses of biomass (wood products, paper and board, chemicals, and novel materials) have the highest economic and societal value, followed by specific high value applications of bioenergy within industrial heat, power systems and aviation.

On the shorter term (2020 to 2040), however, the limited availability of renewable energy from wind, solar and hydropower, which forms the main alternative renewable energy source for the

⁵⁶ This evaluation is not documented in the main rapport, but in the technical annex (Material Economics and ETC, 2021).

production of marine fuels with low or zero GHG emissions, may create a temporary role for biomass in maritime shipping.

The EC's recent Fit for 55 proposal on climate and energy is in line with the message put forward by the Material Economics study. First, the Fit for 55 proposal emphasizes the importance of sustainable biomass use, which will limit the future availability of biomass. For instance, the proposal includes initiatives to enhance the monitoring and control of sustainable management of agriculture and forestry. The EU Forest Strategy aims to improve the quality of EU forests and preserve biodiversity, and sustainability criteria for the use of forestry biomass for bioenergy are strengthened. Secondly, the proposal promotes the use of biomass where it has the highest economic and environmental added value, which it calls 'cascading use'. National support schemes for bioenergy should follow this cascading use principle with regard to the use of woody biomass (EC, 2021b). If these policy proposals become part of European legislation, they will restrict the future availability of sustainable biomass within the EU.

5.5 Conclusions

Our literature study shows that the potential future availability of sustainable biomass in the EU falls in the range of 7 to 20 EJ/year in 2050. In contrast, the current EU biomass consumption for materials and energy is estimated at 10 to 12 EJ/year. This indicates that there is probably little room for the growth of EU biomass use in different sectors to contribute to the realisation of ambitious greenhouse gas emission targets in 2050, unless biomass/biofuel is imported on a large scale⁵⁷. The import potential for sustainable biomass from the rest of the world is however very uncertain, as it depends on biomass supply and demand developments in other world regions.

Compared to other sectors, EU biofuels will probably play a relatively small role in maritime shipping in 2050. The sector's willingness to pay for biomass is estimated to be lower than in several other sectors, where an aggregated biomass demand may develop that exceeds the EU sustainable biomass supply.

Summing up, we conclude that it is possible but unlikely that a substantial sustainable biomass volume becomes available for the production of biofuels for the EU maritime transport sector in the long term. However, policy instruments that make the use of biomass in maritime shipping more attractive and innovative production pathways may alter this picture.

5.6 References

- Camia, A., et al. 2018. Biomass production, supply, uses and flows in the European Union. First results from an integrated assessment. s.l. : Joint Research Centre, 2018.
- CE Delft and RH DHV. 2020. Bio-Scope: Toepassingen en beschikbaarheid van duurzame biomassa. 2020.
- CE Delft. 2020. Availability and costs of liquefied bio- and synthetic methane: The maritime shipping perspective. 2020.
- . 2020. Used Cooking Oil (UCO) as biofuel feedstock in the EU. 2020.
- EAFO. 2021. Generic information on biofuels, website of European Alternative Fuels Observatory, accessed on 19 October 2021. 2021.
- EC. 2020a. Climate Target Plan Impact Assessment Part II. Brussels : European Commission, 2020a.

⁵⁷ With maritime shipping being an internationally mobile sector, marine biofuels can also be 'imported' by bunkering outside the EU.

- 2021b. European Green Deal: Commission proposes transformation of EU economy and society to meet climate ambitions. 2021b.
 - 2020b. Impact assessment accompanying the Document Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions stepping up Europe's 2030 climate ambition: Investing in a. 2020b.
 - 2021a. Regulation of the European Parliament and of the Council on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport and amending Directive 2009/16/EC. 2021a.
 - 2020c. Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Renewable Energy Progress Report. Brussels : European Commission, 2020c. COM(2020) 952 final.
- Ecofys. 2019. Technical assistance in realisation of the 2018 report on biofuels sustainability: Final report. 2019.
- EU. 2019. Commission Delegated Regulation (EU) 2019/807 of 13 March 2019 supplementing Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council. 2019.
- 2018. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (Text with EEA relevance.). 2018. pp. 82-209.
- Flach, B., Lieberz, S. und Bolla, S. 2021. EU Biofuels Annual. 2021.
- GREENEA. 2016. Analysis of the current development of household UCO collection systems in the EU. Coivert (FR) : GREENEA, 2016.
- Gurría, P., et al. 2020. Biomass flows in the European Union: The EU Biomass Flows tool. s.l. : Joint Research Centre, 2020.
- Gurría, P., et al. 2017. Biomass flows in the European Union: The Sankey Biomass diagram- towards a cross-set integration of biomass. s.l. : Joint Research Centre, 2017.
- Hoefnagels, R. und Germer, S. 2018. Supply potential, suitability and status of lignocellulosic feedstocks for advanced biofuels - D2.1 Report on lignocellulosic feedstock availability, market status and suitability for RESfuels. 2018.
- Huang, W.-D. und Zhang, Y.-H. P. 2011. Energy Efficiency Analysis: Biomass-to-Wheel Efficiency Related with Biofuels Production, Fuel Distribution, and Powertrain Systems. 2011.
- ICCT. 2018. A comparison of induced land-use change emissions estimates from energy crops. 2018.
- 2020. The potential of liquid biofuels in reducing ship emissions. 2020.
- IEA Bioenergy. 2017. Biofuels for the marine shipping sector: An overview and analysis of sector infrastructure, fuel technologies and regulations. 2017.
- JRC. 2015. Biofuels from algae: technology options, energy balance and GHG emissions. s.l. : Joint Research Centre, 2015.
- 2020. ENSPRESO - Biomass. [Online] 2020. <https://data.jrc.ec.europa.eu/dataset/74ed5a04-7d74-4807-9eab-b94774309d9f>.
- Lehahn, Y., Ingle, K. N. und Golberg, A. 2016. Global potential of offshore and shallow waters macroalgal biorefineries to provide for food, chemicals and energy: feasibility and sustainability. 2016. S. 150-160.
- Material Economics and ETC. 2021. 'EU Biomass Use in a Net-Zero Economy - A course correction for EU biomass' and 'Bioresources within a Net-Zero Emissions Economy: Making a Sustainable Approach Possible'. 2021.
- Material Economics. 2021. EU Biomass Use In A Net-Zero Economy - A Course Correction for EU Biomass. 2021.

MKC, TNO and TU Delft. 2020. Final Report: Assessment of alternative fuels for seagoing vessels using Heavy Fuel Oil. 2020.

Mustermann, Max. 2017. Musterbuch – Nebentitel. 1. Berlin : Musterverlag, 2017. S. 20-30.

Panoutsou, C., et al. 2021. Advanced biofuels to decarbonise European transport by 2030: Markets, challenges, and policies that impact their successful market uptake. s.l. : Energy Strategy Reviews, 2021.

Ruiz et al. 2019. ENSPRESO-an open, EU-28 wide, transparent and coherent database of wind, solar and biomass energy potentials. 2019.

Searle, S. 2021. Alternative transport fuels elements of the European Union's "Fit for 55" package. s.l. : International Council on Clean Transportation (ICCT), 2021.