

Impressum

Zitiervorschlag

Niels Jungbluth;Maresa Bussa;Martin Ulrich;Christoph Meili (2024) Umweltbelastungen von Schiffstransporten: Fact Sheet zur öffentlichen Diskussion. ESU-services GmbH im Auftrag von Gebana AG, Schaffhausen, Schweiz, <https://www.esu-services.ch/de/publications/>

ESU-services GmbH
Vorstadt 10, CH-8200 Schaffhausen

Auftragnehmer

Tel. 0041 44 940 61 32
jungbluth@esu-services.ch
<https://www.esu-services.ch>

Auftraggeber

Gebana AG - Weltweit ab Hof
Adrian Wiedmer
Ausstellungsstrasse 21
CH-8005 Zürich
T +41 (0) 43 366 65 00
a.wiedmer@gebana.com
<https://www.gebana.com/>

Stichwörter

Hochseeschifffahrt;Transport;Ökobilanz;Luftemissionen

Kurztext

In der Studie werden die Umweltbelastungen beim Warentransport mit Containerschiffen untersucht.

Über uns

ESU-services GmbH wurde im Jahre 1998 gegründet. Die Hauptaktivitäten der Firma sind Beratung, Forschung, Review und Ausbildung im Bereich Ökobilanzen. Fairness, Unabhängigkeit und Transparenz sind wesentliche Merkmale unserer Beratungsphilosophie. Wir arbeiten sachbezogen und führen unsere Analysen unvoreingenommen durch. Wir dokumentieren unsere Studien und Arbeiten transparent und nachvollziehbar. Wir bieten eine faire und kompetente Beratung an, die es den Auftraggebern ermöglicht, ihre Umweltperformance zu kontrollieren und kontinuierlich zu verbessern. Zu unseren Kunden zählen verschiedene nationale und internationale Firmen, Verbände und Verwaltungen. In einigen Bereichen wie Entwicklung und Betrieb webbasierter Ökobilanz-Datenbanken oder Umweltauswirkungen von Nahrungsmitteln und Konsummustern konnte unser Team Pionierarbeit leisten.

Urheberrecht

Soweit nicht anders vermerkt bzw. direkt vereinbart sind sämtliche Inhalte in diesem Bericht urheberrechtlich geschützt. Das Kopieren oder Verbreiten des Berichts als Ganzes oder in Auszügen, unverändert oder in veränderter Form ist nicht gestattet und Bedarf der ausdrücklichen Zustimmung von ESU-services GmbH oder des Auftraggebers. Der Bericht wird auf der Website <https://www.esu-services.ch> und/oder derjenigen des Auftraggebers zum Download bereitgestellt. Aus dem Inhalt dieses Berichtes hervorgehende Veröffentlichungen, welche Resultate und Schlussfolgerungen daraus nur teilweise und nicht im Sinne des Gesamtberichtes darstellen, sind nicht erlaubt. Insbesondere dürfen solche Veröffentlichungen diesen Bericht nicht als Quelle angeben oder es darf nicht anderweitig eine Verbindung mit diesem Bericht oder dem Auftragnehmer hergestellt werden können. Für Forderungen ausserhalb des oben genannten Rahmens lehnen wir jegliche Verantwortung gegenüber dem Auftraggeber sowie Dritten ab. Es ist nicht gestattet, den Bericht oder Teile davon auf anderen Websites bereitzustellen. In veränderter Form bedarf die Weiterverbreitung der Inhalte der ausdrücklichen Genehmigung durch ESU-services GmbH. Zitate, welche sich auf diesen Bericht oder Aussagen der Autoren beziehen, sollen den Autoren vorgängig zur Verifizierung vorgelegt werden.

Haftungsausschluss

Die Informationen und Schlussfolgerungen in diesem Bericht wurden auf Grundlage von als verlässlich eingeschätzten Quellen erhoben. Die Erstellung erfolgte im Rahmen der vertraglichen Abmachung mit dem Auftraggeber unter Berücksichtigung der Vereinbarung bezüglich eingesetzter Ressourcen. ESU-services GmbH und die Autoren geben keine Garantie bezüglich Eignung, oder Vollständigkeit der im Bericht dargestellten Informationen. ESU-services GmbH und die Autoren lehnen jede rechtliche Haftung für jede Art von direkten, indirekten, zufälligen oder Folge-Schäden oder welche Schäden auch immer, ausdrücklich ab.

Inhaltliche Verantwortung

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die AutorInnen dieses Berichts verantwortlich.

Version

05.06.20 09:50

https://esuservices-my.sharepoint.com/personal/mitarbeiter1_esuservices_onmicrosoft_com/Documents/570Gebana/jungbluth-2020-FactSheet-Hochseetransporte-v1.0.docx

Inhalt

INHALT	II
1 AUSGANGSLAGE UND FRAGESTELLUNG	1
2 GLOBALE PROBLEME DER HOCHSEETRANSPORTE	2
2.1 Hauptschadstoffe	2
2.2 Anteil an globalen Belastungen	2
2.2.1 Treibhausgase	2
2.2.2 Stickoxide und Schwefeldioxide	3
2.2.3 Feinstaub und Russ	4
2.2.4 Artenvielfalt	4
3 ÖKOBILANZ FÜR DEN TRANSPORT VON FAIR-TRADE PRODUKTEN	5
3.1 Vergleich verschiedener Transportmittel	5
3.2 Beitrag des Hochseetransports	8
4 POLITISCHE VORGABEN UND RICHTLINIEN	10
5 SCHLUSSFOLGERUNGEN	11
6 LITERATUR	13
7 ANHANG	14
7.1 Bewertung der Sachbilanzergebnisse	14
7.1.1 Klimaänderungspotenzial	15
7.1.2 Methode der ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte) (2013)	16

1 Ausgangslage und Fragestellung

Der Naturschutzbund Deutschland kritisiert, dass die Containerschifffahrt aufgrund ihrer vergleichsweise geringen CO₂ Emissionen pro Transportkilometer und Tonne als umweltfreundlich gilt, der Ausstoss anderer Luftschadstoffe jedoch in der Diskussion vernachlässigt wird. Aufgrund der weniger strengen Richtlinien für Schiffstreibstoff emittieren die Hochseeschiffe mehr Stick- und Schwefeloxide sowie Feinstaub und Russ als andere Transportmittel und verursachen dadurch Umwelt- und Gesundheitsschäden.¹ Dies führt dazu, dass der Transport von Produkten mit Containerschiffen von den Kunden Gebanas kritisch hinterfragt wird.

Ziel dieser Studie ist die Analyse der von der Schifffahrt verursachten Umweltbelastungen, sowohl auf globaler als auch auf Produktebene.

Eine Kurzbeschreibung des Projektes wird in Tab. 1.1 gezeigt.

Tab. 1.1 Übersicht zum Projekt

Titel	Umweltbelastungen von Schiffstransporten: Fact Sheet zur öffentlichen Diskussion
Auftraggeber	Gebana AG
Untersuchte Produkte	Transport von Waren aus Übersee
Funktionelle Einheit	1 kg Produkt aus Übersee
Fragestellung	Folgende Fragen sollen mit der Studie beantwortet werden: Wie hoch ist der Anteil der Hochseeschifffahrt an den globalen Belastungen? Wie hoch ist der Anteil der Hochseeschifffahrt an den Umweltbelastungen einzelner Produkte?
Bilanzraum	Folgende Schritte des Lebenszyklus werden berücksichtigt: Anbau der Rohstoffe Verarbeitung inkl. Verpackung Transport Distribution
Software	SimaPro 9.0
Datenbanken	ESU 2020; Jungbluth et al. 2020a
Umweltbewertung	Methode der ökologischen Knappheit (UBP) 2013 (Frischknecht et al. 2013) Carbon Footprint (IPCC 2013) inklusive zusätzlicher Einflüsse von Flugtransporten (Jungbluth & Meili 2019)
Standards	ISO 14040 (International Organization for Standardization (ISO) 2006a, b)
Vergleichende Studie	Ja.
Publikation	Auf Grundlage des Fact Sheets wird der Auftraggeber eine eigene Stellungnahme ausarbeiten. Eine Veröffentlichung des Fact-Sheet auf der Webpage von ESU-services ist nach Absprache möglich.
Dokumentation	Schlussbericht (Deutsch)
Kritische Prüfung	Interne Validierung durch Niels Jungbluth und Martin Ulrich

¹ <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/verkehr/schifffahrt/containerschifffahrt/16646.html>

2 Globale Probleme der Hochseetransporte

2.1 Hauptschadstoffe

Hauptschadstoffe der Hochseetransporte, die den anthropogenen Klimawandel verstärken, sind Kohlenstoffdioxid, Methan, Distickstoffmonoxid und Fluorkohlenwasserstoffe (IMO 2015).

Der Ausstoss von Stick- und Schwefeloxiden schädigt die menschlichen Atemwege sofern diese Luftschadstoffe tatsächlich bis ans Land gelangen. Ausserdem beeinträchtigt diese Gase das Pflanzenwachstum sowie aquatische Ökosysteme durch sauren Regen und Eutrophierung.

Des Weiteren trägt der Hochseetransport aufgrund seiner Feinstaubemissionen zu einer schlechteren Luftqualität und Atemwegserkrankungen in Küstennähe bei.

Viele der an Board verwendeten Chemikalien, beispielweise als Antifoulingmittel, Kühlmittel, Maschinenöle oder Reinigungsmittel, sind toxisch und können sich in der Nahrungskette ablagern (Clean Shipping Index 2020).

Neben den Luftschadstoffe und Chemikalien trägt die Schifffahrt auch durch die Einführung invasiver Arten zu den Umweltbelastungen bei. Verantwortlich dafür sind der Bewuchs des Rumpfes und das Ballastwasser, welches zur Stabilisierung der Schiffe verwendet wird. Um Gewichtsänderungen durch Be- und Entladen oder den Treibstoff- und Wasserverbrauch zu kompensieren, wird der Füllstand der Ballastwassertanks angepasst. Durch das Füllen und Entleeren der Tanks gelangen marine Arten in entfernte Regionen und können die dort heimischen Arten gefährden.²

2.2 Anteil an globalen Belastungen

Luftschadstoffe entstehen bei den Schiffen vor allem bei der Verbrennung des Treibstoffs. Häufig wird sogenanntes Bunkeröl eingesetzt das relativ hohen Schwefel- und Aschegehalte hat, welches zu relativ hohen Belastungen im Vergleich zur Verbrennung z.B. von Diesel bei landgebunden Transporten führt.

2.2.1 Treibhausgase

Die Schifffahrt hat in den Jahren 2007 bis 2012 jährlich ungefähr 1 Milliarde Tonnen CO₂-Äquivalente emittiert. Knapp 90% der Emissionen werden von der internationalen Schifffahrt verursacht. Die Containerschifffahrt ist für ein gutes Viertel der Treibhausgasemissionen der Schifffahrt verantwortlich (IMO 2015). Insgesamt trug die internationale Schifffahrt 2012 mit 2.0% zu den weltweiten Treibhausgasemissionen bei (siehe Tab. 2.1). Würde man die Schifffahrt als Land betrachten, so wäre sie das Land mit dem neunthöchsten Treibhausgasausstoss. Die jährlichen Emissionen der internationalen Schifffahrt entsprachen 2012 ungefähr den Emissionen Deutschlands. Die gemeinsame Forschungsstelle der Europäischen Kommission (EC-JRC) berechnet jährlich die Schadstoffemissionen weltweit basierend auf sektorspezifischen Daten³. Neben den einzelnen Ländern werden dabei auch der internationale Schiffs- und Flugverkehr berücksichtigt. Für 2012, kommt die EC-JRC für die internationale Schifffahrt auf einen Treibhausgasausstoss von 0.6 Milliarden Tonnen. Dies entspräche einem Beitrag von 1.3% an den globalen Treibhausgasemissionen und Rang 15 in der Liste der grössten Emittenten. Da diese Leistungen der Schifffahrt sich auf alle Länder und konsumierten Produkte verteilen ist der Beitrag zu einzelnen Produktionsketten in der Regel sehr klein. Dies zeigen auch Ökobilanz-Fallstudien für viele einzelne Produkte.

² <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Pages/Default.aspx>

³ <https://edgar.jrc.ec.europa.eu/>

Tab. 2.1 Übersicht über die grössten CO₂-eq Emittenten 2012

Land	CO ₂ -eq Ausstoss in Milliarden Tonnen	Anteil an globaler Belastung
Internationale Schifffahrt	0.9	2.0%
China	12.5	26.1%
USA	6.4	13.4%
EU-28	4.7	9.9%
Indien	3.0	6.3%
Russland	2.3	4.8%
Japan	1.4	3.0%
Brasilien	1.2	2.4%
Deutschland	0.9	2.0%

2.2.2 Stickoxide und Schwefeldioide

Im selben Zeitraum wurden jährlich ungefähr 20.9 Millionen Tonnen Stickoxide (NO_x in NO₂) und 11.3 Millionen Tonnen Schwefeloxide (SO_x in SO₂) durch die Schifffahrt emittiert. Die internationale Schifffahrt verursachte mit 18.6 Millionen Tonnen NO_x und 10.6 Millionen Tonnen SO_x den Großteil der Emissionen (IMO 2015). Die IMO schätzt, dass die Schifffahrt 13% der globalen NO_x-Emissionen und 12% der SO_x-Emissionen ausstösst. Andere Studien beziffern den Anteil der Schifffahrt 15% an den NO_x-Emissionen und auf 4-9% an den SO_x-Emissionen (Eyring et al. 2010, van der Loeff et al. 2018). Für 2015, berechnet das EC-JRC für den internationalen Schiffsverkehr NO_x-Emissionen von 14.3 Millionen Tonnen. Dies entspricht einem Anteil von 11.8% an den globalen NO_x-Emissionen. Lediglich China emittiert mehr Stickoxide (siehe Tab. 2.2). Bei den Schwefeloxiden bilanziert das EC-JRC nur Schwefeldioxid, welches den grössten Anteil der Schwefeloxide ausmacht. Für 2015, ergeben die Berechnungen einen SO₂-Ausstoss der internationalen Schifffahrt von 9.4 Millionen Tonnen bzw. einem Anteil von 9% an den globalen SO₂-Emissionen. (siehe Tab. 2.3)

Bezüglich dieser beiden Schadstoffe ist der Anteil der Schifffahrt also deutlich relevanter als beim CO₂. Hier kommen die schlechteren Treibstoffqualitäten und Emissionsstandards zum Tragen. Die Emissionen auf hoher See verursachen allerdings geringere Schäden als vergleichbare Emissionen an Land, da z.B. nicht so viele Menschen direkt mit den Abgasen belastet werden. Insbesondere in Küstennähe wäre aber eine deutliche Reduktion der Schadstofflasten möglich und nötig.

Tab. 2.2 Übersicht über die grössten NO_x Emittenten 2015

Land	NO _x -Ausstoss in Millionen Tonnen	Anteil an globaler Belastung
Internationale Schifffahrt	15.6	12.5%
China	26.4	21.1%
USA	13.9	11.1%
Indien	10.4	8.4%
EU-28	7.5	6.0%

Tab. 2.3 Übersicht über die grössten SO₂ Emittenten 2015

Land	SO ₂ -Ausstoss in Millionen Tonnen	Anteil an globaler Belastung
Internationale Schifffahrt	9.4	9.0%
China	30.9	29.4%
Indien	11.5	10.9%
USA	8.6	8.1%
EU-28	4.6	4.4%

2.2.3 Feinstaub und Russ

Im Jahr 2015 trug die internationale Schifffahrt mit 2.5% und 4.1% zu den globalen Feinstaub (PM10) bei, dargestellt in Tab. 2.4, und Feinstaub (PM2.5) Emissionen, dargestellt in Tab. 2.5. Auch hier ist der Beitrag der Schifffahrt zu den global verursachten Umweltbelastungen und damit auch bei den Belastungen einzelner Produkte eher gering. Aber auch hier wären Reduktionen insbesondere in Küstennähe technisch möglich und aus Sicht des Gesundheitsschutzes wichtig.

Tab. 2.4 Übersicht über die grössten PM₁₀ Emittenten 2015

Land	PM ₁₀ -Ausstoss in Millionen Tonnen	Anteil an globaler Belastung
Internationale Schifffahrt	1.6	2.5%
China	16.0	26.0%
Indien	9.6	15.7%
Nigeria	3.4	5.5%
Brasilien	2.7	4.3%
Indonesien	2.5	4.1%
USA	2.2	3.6%
EU-28	2.2	3.6%
Äthopien	1.7	2.7%

Tab. 2.5 Übersicht über die grössten PM_{2.5} Emittenten 2015

Land	PM _{2.5} -Ausstoss in Millionen Tonnen	Anteil an globaler Belastung
Internationale Schifffahrt	1.6	4.1%
China	11.1	28.9%
Indien	6.2	16.1%
Brasilien	1.7	4.5%
Nigeria	1.6	4.3%
Indonesien	1.6	4.1%
USA	1.5	3.8%
EU-28	1.4	3.6%

Im selben Jahr verursachte die international Schifffahrt 6.1% der weltweiten Russ-Emissionen (Tab. 2.6). Auch hier werden die technischen Möglichkeiten, beispielsweise durch Russpartikelfilter, noch nicht genutzt und die Emissionen könnten deutlich reduziert werden.

Tab. 2.6 Übersicht über die grössten Russ Emittenten 2015

Land	Russ-Ausstoss in Millionen Tonnen	Anteil an globaler Belastung
Internationale Schifffahrt	0.31	6.1%
China	1.31	25.7%
Indien	0.79	15.6%
Brasilien	0.25	4.9%
Nigeria	0.22	4.3%
Indonesien	0.20	4.0%
USA	0.20	3.9%
EU-28	0.19	3.8%

2.2.4 Artenvielfalt

Nichtheimische Arten können über mehrere Transportwege in neue marine Ökosysteme eingeführt werden. Es ist auch möglich, dass dieselbe Art über verschiedene Transportwege eingeführt wurde. 69% der bekannten marinen nichtheimischen Arten sind teilweise durch den Schiffsverkehr eingeführt worden. Die nächsthäufigsten Gründe sind Aquakulturen (41%) und Kanalbauarbeiten (17%).

39% der Arten, die über den Schiffsverkehr eingeführt wurden, sind über den Bewuchs des Schiffsrumpfes eingeführt worden, 31% über Ballastwasser. Für die restlichen Arten sind keine genaueren Informationen bekannt (Molnar et al. 2008).

3 Ökobilanz für den Transport von Fair-Trade Produkten

3.1 Vergleich verschiedener Transportmittel

Für eine bessere Einordnung der durch die Hochseeschifffahrt verursachten Emissionen ist zu berücksichtigen, dass ihr Anteil am globalen Transport 80-90% ausmacht (van der Loeff et al. 2018, UNFCCC 2014). Im Jahr 2012 wurden ca. 69 Billionen Tonnen-Kilometer (tkm) Waren transportiert, 2015 waren es bereits 74.5 Billionen tkm (UNCTAD 2019).

Tab. 3.1 zeigt die Aufschlüsselung von zwei Szenarien für den Transport von einem Kilogramm Produkt aus Übersee auf die Verkehrswege Strasse, Schiene, Luft und Wasser. Beide Szenarien enthalten auch den Transport vom Produzenten zum Flughafen bzw. Seehafen in Übersee sowie den Transport vom Flug-/Seehafen zum Geschäft in Europa. Insgesamt ist die zurückgelegte Entfernung im Szenario mit Flugzeug kürzer, da hier annähernd die Luftlinie geflogen werden kann. Zudem ist die Entfernung vom Flughafen in ein Schweizer Geschäft kürzer als vom Containerhafen.

Diese beiden Szenarien werden in einer Ökobilanz auf Grundlage von aktuellen Sachbilanzdaten verglichen (ESU 2020; Jungbluth et al. 2020b). Dabei werden alle relevanten Einflussgrößen, wie z.B. Bau der Fahrzeuge, Herstellung der Treibstoffe, Emission aller relevanten Schadstoffe berücksichtigt.

Tab. 3.1 Absolute und relative Anteil verschiedener Transportwege an den Szenarien

	mit Flugzeug		mit Containerschiff	
	in km	Anteil	in km	Anteil
Strasse	495	6.60%	935	9.08%
Schiene	0	0.00%	360	3.50%
Luft	7000	93.40%	0	0.00%
Wasser	0	0.00%	9000	87.42%

Fig. 3.1 zeigt eine Analyse Umweltbelastungen einer durchschnittlichen Transportkette aus Übersee mit dem Flugzeug und mit dem Containerschiff. Knapp die Hälfte der Umweltbelastungen des Lufttransports entfallen auf den Beitrag zum Klimawandel. Andere wichtige Wirkungskategorien sind die Luftschadstoffe sowie die Krebserregenden Substanzen. Beim Hochseetransport sind die wichtigsten Wirkungskategorien die Luftschadstoffe und der Klimawandel. Hier zeigen sich also die relativ hohen Luftschadstofffrachten bei der Verbrennung von Treibstoffen in Schiffen. Der höhere Anteil beim Lärm geht auf die grössere Transportentfernung per Lkw zurück.

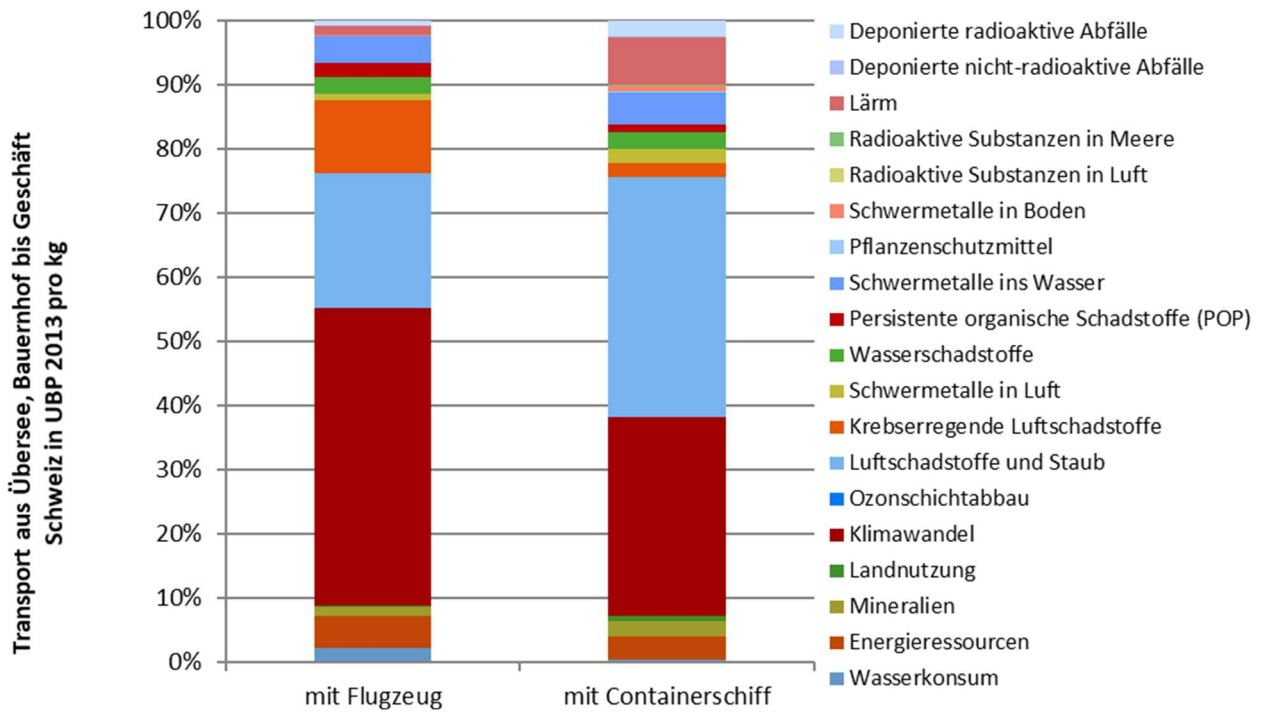


Fig. 3.1 Gegenüberstellung Transport aus Übersee mit Flugzeug und Schiff in Umweltbelastungspunkten pro Wirkungskategorie

In Fig. 3.2 sind die Umweltbelastungen pro Transportweg dargestellt. Der Transport mit dem Flugzeug verursacht 20-mal höhere Umweltbelastungen als der Transport mit dem Schiff. Beim Szenario mit Flugzeug zeigt sich, dass mit dem Flugzeug 93% der Entfernung zurückgelegt wird, dieses jedoch 98% der Umweltbelastungen, und somit überproportional hohe Belastungen, verursacht. Beim Hochseetransport ist das Gegenteil der Fall. 87% der Entfernung wird mit dem Containerschiff zurückgelegt, dadurch werden jedoch lediglich 38% der Gesamtumweltbelastungen verursacht. Den grössten Beitrag weist in diesem Szenario mit 57% der Transport auf der Strasse auf. Die Effizienz eines Transportmittels spielt also eine deutlich wichtigere Rolle für die Umweltbelastungen als die Entfernung.

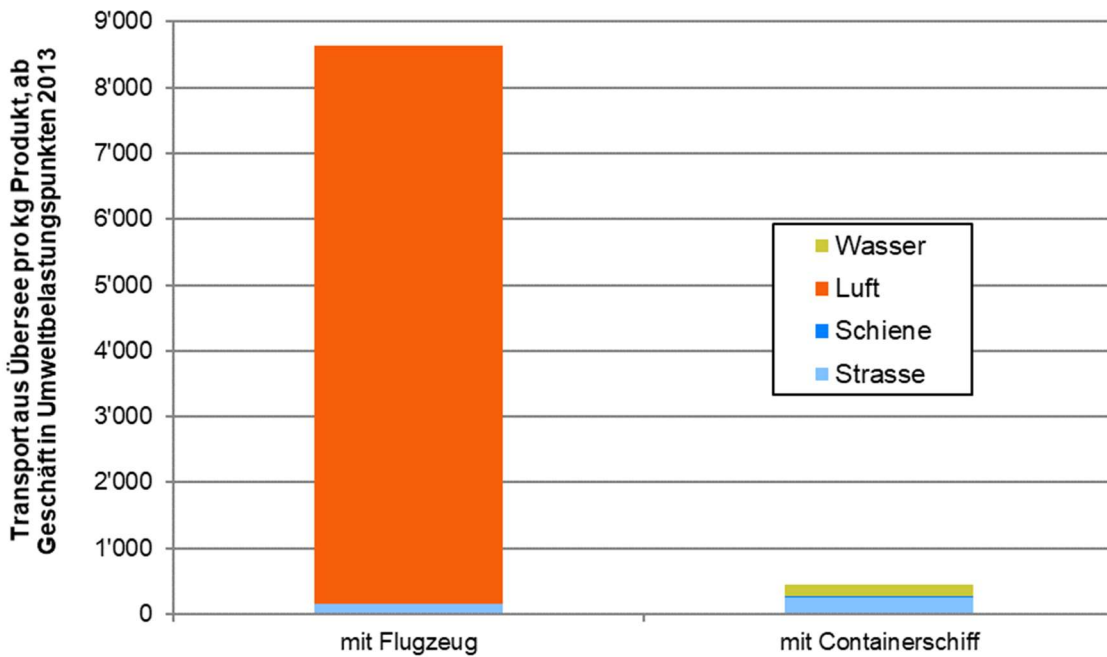


Fig. 3.2 Vergleich Transport aus Übersee mit Flugzeug und Schiff in Umweltbelastungspunkten pro Transportweg und kg

Betrachtet man lediglich den Beitrag zum Klimawandel, dargestellt in Fig. 3.3, dann fallen die Unterschiede noch deutlicher aus. Der Transport aus Übersee mit dem Flugzeug leistet einen 55-mal grösseren Beitrag zum Klimawandel als der Transport mit dem Containerschiff. Mehr als 99% der Treibhausgasemissionen im Luftfrachtszenario werden durch den Transport per Flugzeug verursacht. Der Transport per Containerschiff verursacht hingegen nur 36% des Klimaänderungspotentials des Hochseeschiffahrtsszenarios. Den grössten Beitrag leistet, wie bei den Gesamtumweltbelastungen, der Transport auf der Strasse mit 59%.

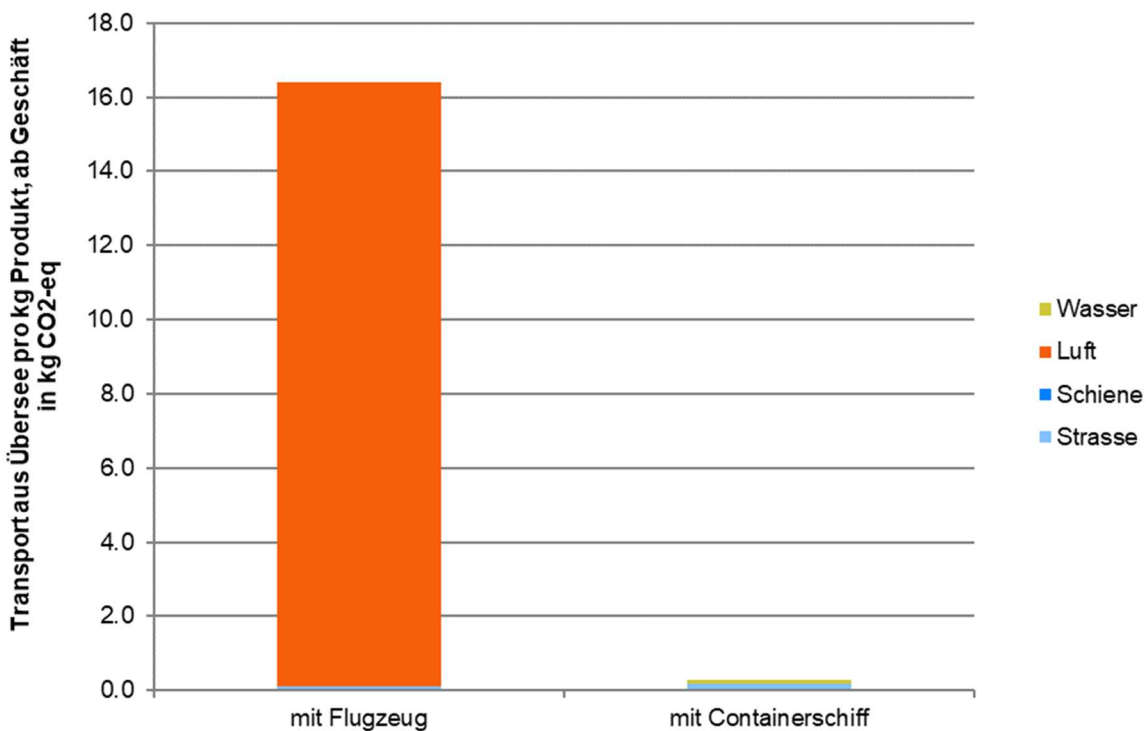


Fig. 3.3 Vergleich Transport aus Übersee mit Flugzeug und Schiff in kg CO₂-eq pro Transportweg

3.2 Beitrag des Hochseetransports

Fig. 3.4 zeigt die Umweltbelastungen verschiedener Orangensaftprodukte aufgeteilt auf Anbau, Verarbeitung, Transport, Verpackung und Verkauf sowie gegebenenfalls Rückverdünnung beim Konzentrat. Bei allen vier Produkten verursacht der Orangenanbau die grössten Umweltbelastungen. Die Transportkette mit Containerschiff weist einen geringeren Beitrag auf als die Verpackung.

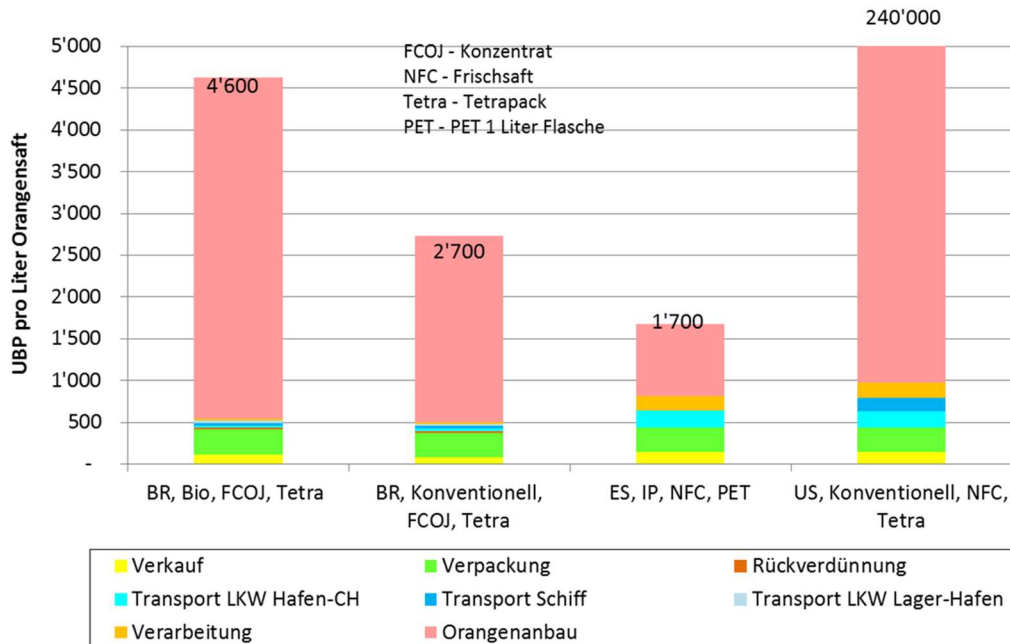


Fig. 3.4 Vergleich verschiedener Orangensaftprodukte in Umweltbelastungspunkte

In Fig. 3.5 sind die Umweltbelastungen typischer Produkte aus Übersee bzw. im Falle der Schokolade mit Hauptzutaten aus Übersee aufgezeigt. Die Umweltbelastungen sind jeweils für den Anbau der Hauptzutat, den Transport mit dem Containerschiff, dem Transport mit anderen Transportmitteln und Sonstiges (weitere Verarbeitung, Verpackung, etc) dargestellt. Bei allen Produkten verursacht der Anbau die grössten Umweltbelastungen. Der Transport mit dem Containerschiff trägt mit 0.4-6.8% zu den Gesamtumweltbelastungen aus. Im Durchschnitt verursacht der Hochseetransport ca. 250 UBP pro kg Produkt. Der Beitrag der anderen Transportmittel ist im Durchschnitt knapp doppelt so gross und macht zwischen 1.3-10.3% der Gesamtumweltbelastungen aus.

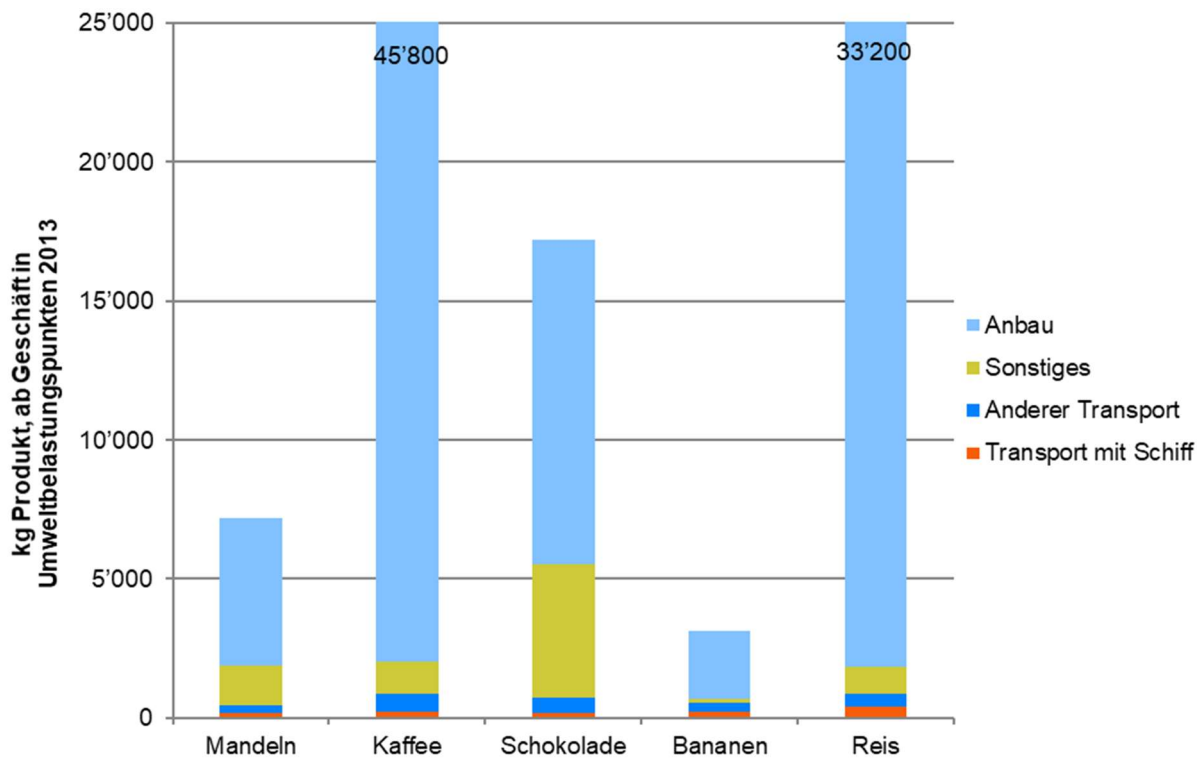


Fig. 3.5 Vergleich typischer Produkte aus Übersee in Umweltbelastungspunkten

Fig. 3.6 zeigt das Klimaänderungspotential der untersuchten Produkte aufgeteilt nach Anbau, Transport mit dem Containerschiff, Transport mit anderen Transportmitteln und Sonstiges. Auch weist der Anbau den grössten Beitrag auf. Ausnahme ist die Schokolade, da in der Milchproduktion hohe Treibhausgasemissionen anfallen. Beim Klimaänderungspotential ist der Beitrag des Hochseetransports mit 2-16% grösser als bei den Gesamtumweltbelastungen. Im Durchschnitt werden pro kg betrachtetes Produkt 0.17 kg CO₂-Äquivalent emittiert. Der Beitrag der anderen Transportmittel ist mit 3-25% auch beim Klimaänderungspotential grösser als der Beitrag der Schiffstransporte.

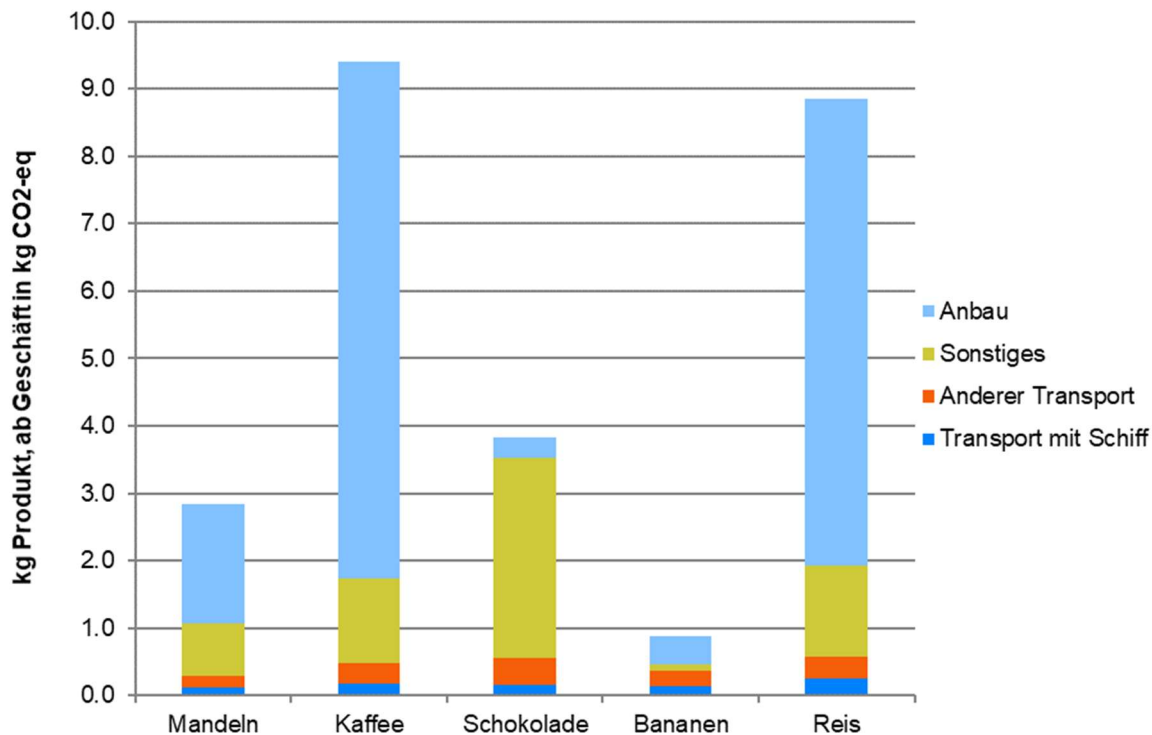


Fig. 3.6 Vergleich typischer Produkte aus Übersee in kg CO₂-eq

4 Politische Vorgaben und Richtlinien

Das Internationale Übereinkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch Schiffe (Marpol) ist ein weltweit gültiges Umweltabkommen für die Schifffahrt und wird regelmäßig überarbeitet. In Anlage VI werden die Luftschadstoffe adressiert und Grenzwerte für Schwefel- und Stickoxide festgelegt. Seit Anfang 2020 darf der Treibstoff nur noch 0.5% Schwefel enthalten, bis Ende 2019 lag der Grenzwert bei 3.5%. In sogenannten Emission Control Areas (ECAs), zu denen die Nord- und Ostsee sowie ein Grossteil der Nordamerikanischen Küste⁴ gehören, liegt der Grenzwert seit 2015 bei 0.1%.⁵ Messungen in Hamburg zeigten, dass im ersten Jahr nach Verschärfung des Grenzwertes 95.4% der untersuchten Schiffe diesen eingehalten haben (Kattner et al. 2015).

Die Stickoxidgrenzwerte richten sich nach Baujahr der Schiffe und Motornendrehzahl. Schiffe, die zwischen Januar 2000 und Januar 2011 fertiggestellt wurden, dürfen je nach Motornendrehzahl zwischen 9.8 und 17.0 g NO_x/kWh ausstossen. Später gebaute Schiffe dürfen zwischen 7.0 und 14.4 g NO_x/kWh emittieren. Für die amerikanischen ECAs gelten für Schiffe mit ab Baujahr 2016 mit 2.0-3.4 NO_x/kWh strengere Grenzwerte. Diese Grenzwerte gelten ab 2021 auch in der Nord- und Ostsee für neue Schiffe.⁶

Diese strengeren Vorgaben wurden in den oben gezeigten Auswertungen mit Ökobilanzen noch nicht berücksichtigt. D.h. dort werden diese Umweltbelastungen eher noch überschätzt.

Die Strategie der IMO zur Reduktion der Treibhausgase im internationalen Schiffsverkehr sieht eine Reduktion der jährlich emittierten THG von mindestens 50% im Jahr 2050 vor (Basisjahr 2008). Das langfristige Ziel ist eine 100% Reduktion der Treibhausgasemissionen. Alle Schiffe müssen einen Betriebsplan zum Energieeffizienzmanagement erstellen. Mit dessen Hilfe soll über eine optimierte

⁴ <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Emission-Control-Areas-%28ECAs%29-designated-under-regulation-13-of-MARPOL-Annex-VI-%28NOx-emission-control%29.aspx>

⁵ <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Air-Pollution.aspx>

⁶ <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-%28NOx%29-%E2%80%93-Regulation-13.aspx>

Geschwindigkeit, Berücksichtigung von Wetter und Strömungsverhältnissen der Treibstoffverbrauch reduziert werden. Die IMO schätzt, dass dadurch die Treibhausgasemissionen um 10-20% gesenkt werden können. Neugebaute Schiffe werden verpflichtet, einen Energieeffizienz-Kennwert aufzuweisen. Der Kennwert gibt die Höhe der CO₂-Emissionen pro Tonne Ladung und gefahrenen Seemeile an. Referenzwerte wurden für verschiedene Schiffstypen und -größen definiert und darauf aufbauend Reduktionsziele festgelegt.⁷ Für Containerschiffe sind die Reduktionsziele der Phase 3 von 2025 auf 2022 vorgezogen worden. Neugebaute Schiffe müssen dann, je nach Grösse, 30-50% geringere Energieeffizienz-Kennzahlen aufweisen.⁸

Seit September 2017 ist die «International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments» in Kraft und verpflichtet alle Schiffe zu einem Ballast Wasser Management Plan. Für die Übergangsphase schreibt das Übereinkommen vor, dass der Austausch von Ballastwasser nur in einer Entfernung von mindestens 200 Seemeilen zur Küste und bei einer Wassertiefe von mindestens 200 m erfolgen darf. In Ausnahmefällen ist auch ein Mindestabstand zur Küste von 50 Seemeilen zulässig. Zudem müssen mindestens 95% des Ballastwasser ausgetauscht werden. Nach Ende der Übergangsphase sowie neugebaute Schiffe müssen ein Ballastwasser-Behandlungssystem an Bord haben um die Grenzwerte für lebensfähige Organismen einhalten zu können.⁹ 2019 waren 18.88% der Containerschiffe mit einem Ballastwasser-Behandlungssystem ausgestattet (UNCTAD 2019).

Mit dem «Clean shipping index¹⁰» und dem «Environment ship index¹¹» haben sich zudem erste Initiativen gebildet die Labels zur Bewertung der Umweltfreundlichkeit einzelner Schiffe anbieten.

5 Schlussfolgerungen

Unsere Auswertung erlaubt folgende Schlussfolgerungen.

- Die globale Hochseeschifffahrt ist für einige Luftschadstoffe und Treibhausgase eine global gesehen wichtige Emissionsquelle.
- Luftschadstoffemissionen sind insbesondere in Küstennähe und in Häfen auch aus Sicht des Gesundheitsschutzes und für lokale Umweltbelastungen relevant. Die Emissionen auf dem offenen Meer sind hingegen etwas weniger kritisch als vergleichbare Emissionen an Land.
- Für den Import von Nahrungsmitteln aus Übersee spielt der Schiffstransport hingegen keine relevante Rolle bei den Umweltbelastungen. Der Anbau bzw. Produktion der Nahrungsmittel tragen in der Regel den Hauptteil zu den Umweltbelastungen bei. Auch Verarbeitung, Verpackung und die Transporte bis und vom Hafen per Lkw oder Bahn sind in der Regel für Produkte, die in die Schweiz gebracht werden, viel relevanter.
- Eine Reduktion der Umweltbelastungen durch Schiffe ist möglich. Dazu stehen technische Lösungen wie schwefelarme Treibstoffe, Abgasreinigung und strenge Kontrolle z.B. der Abfall- und Abwasserbehandlung an Bord im Vordergrund. Um diese zu kontrollieren braucht es eine globale bzw. mindestens eine europäische Zusammenarbeit, so dass nicht Flaggenländer oder Häfen gegeneinander ausgespielt werden können. Deshalb sind technische Verbesserungen politisch nicht einfach durchzusetzen. Hierzu sind internationale Abkommen wichtig.
- Die Schweiz spielt hierbei als Sitz relevanter Firmen aus dem Transport und Schifffahrtsektor eine wichtige Rolle, auch wenn sie keine eigenen Häfen oder Hochseeflotte hat. So hat z.B. das global zweitgrösste Unternehmen, die «MSC Mediterranean Shipping Company S.A.Chemin» seinen Hauptsitz in der Schweiz. Auch ein grosser Teil des globalen Warenhandels wird über die

⁷ <https://www.deutsche-flagge.de/de/umweltschutz/marpol/luft-energieeffizienz>

⁸ <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>

⁹ <https://www.deutsche-flagge.de/de/umweltschutz/ballastwasser>

¹⁰ <https://www.cleanshippingindex.com/>

¹¹ <https://www.environmentalshipindex.org/Public/Home>

Schweiz gesteuert (Jungbluth & Meili 2018). Gesetzliche Vorgaben für diese Firmen werden auch in der Schweiz gestaltet. Politische Initiativen wie die Konzernverantwortungsinitiative¹² können helfen diese Vorgaben umweltgerechter zu gestalten.

- Der direkte Einfluss von Konsumenten und Handelsunternehmen auf die Hochseeschifffahrt ist hingegen klein. Bisher gibt es kaum eine Nachfrage bzw. einen Wettbewerb hinsichtlich umweltfreundlicheren Unternehmens in diesem Sektor. Da der einzelne Importeur wahrscheinlich meist nur einen Container auf ein riesiges Schiff lädt hat er kaum Möglichkeiten z.B. ein besonders umweltfreundliches Schiff bzw. Transportunternehmen zu beauftragen.
- Ein gewisser Druck von Seiten Konsumenten und Hafenstädten umweltfreundliche Technologien in der Hochseeschifffahrt einzuführen besteht am ehesten bei Kreuzfahrtschiffen. Hier gab es vor der Coronakrise einige erfreuliche Entwicklungen für schadstoffärmere Treibstoffe, effiziente Motoren und Abgasreinigungen. Durch die Coronakrise ist dieser Sektor aber unter extremem Druck und wahrscheinlich werden in absehbarer Zeit kaum noch Neubauten mit umweltfreundlicher Technologie in Auftrag gegeben. Ausserdem muss klar gesagt werden das Kreuzfahrten im Vergleich zu anderen Ferienarten auch unter Berücksichtigung neuester Technologien besonders umweltbelastend sind (Büsser et al. 2010; König et al. 2014).
- Personentransporte per Schiff sind in der Regel eher umweltbelastender als andere Transportmittel, da auf dem Schiff für den Personentransport relativ viel an zusätzlichen Aufwendungen entsteht (Kabinen, Personal, Restauration, Unterhaltungsangebote, etc.). Es muss also bei Aussagen zum Schiffstransport klar zwischen Waren- und Personentransport unterschieden werden.

¹² <https://konzern-initiative.ch/>

6 Literatur

- Brand et al. 1998 Brand G., Scheidegger A., Schwank O. and Braunschweig A. (1998) Bewertung in Ökobilanzen mit der Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 1997. Schriftenreihe Umwelt 297. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- Büsser et al. 2010 Büsser S., Stucki M. and Jungbluth N. (2010) Umweltbelastungen verschiedener Ferienszenarien. ESU-services Ltd., Schweiz. Im Auftrag von WWF Schweiz, Zürich, Schweiz, retrieved from: <https://www.esu-services.ch/de/projekte/tourism/>.
- Clean Shipping Index 2020 Clean Shipping Index (2020) Methodology and Reporting Guidelines 2020, Gothenburg, Sweden.
- ESU 2020 ESU (2020) The ESU database. ESU-services Ltd., Schaffhausen, retrieved from: www.esu-services.ch/data/database/.
- Eyring et al. 2010 Eyring V., Isaksen I. S. A., Berntsen T., Collins W. J., Corbett J. J., Endresen O., Grainger R. G., Moldanova J., Schlager H. and Stevenson D. S. (2010) Transport impacts on atmosphere and climate: Shipping. *In: Atmospheric Environment*, **44**(37), pp. 4735-4771, 10.1016/j.atmosenv.2009.04.059.
- Frischknecht et al. 2007 Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Heck T., Hellweg S., Hirschler R., Nemecek T., Rebitzer G. and Spielmann M. (2007) Overview and Methodology. ecoinvent report No. 1, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: <https://www.ecoinvent.org>.
- Frischknecht et al. 2008 Frischknecht R., Steiner R. and Jungbluth N. (2008) Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 2006. Umwelt-Wissen Nr. 0906. ESU-services GmbH im Auftrag des Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, retrieved from: <https://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01031/index.html?lang=de>.
- Frischknecht et al. 2013 Frischknecht R., Büsser Knöpfel S., Flury K. and Stucki M. (2013) Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit: Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 1330. treeze und ESU-services GmbH im Auftrag des Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, retrieved from: <https://www.bafu.admin.ch/uw-1330-d>.
- IMO 2015 IMO (2015) Third IMO GHG Study 2014.
- International Organization for Standardization (ISO) 2006a International Organization for Standardization (ISO) (2006a) Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. ISO 14040:2006; Amd 1: 2020, Geneva.
- International Organization for Standardization (ISO) 2006b International Organization for Standardization (ISO) (2006b) Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. ISO 14044:2006; Amd: 2017; Amd 2: 2020, Geneva.
- IPCC 2013 IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, retrieved from: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
- Jungbluth & Meili 2018 Jungbluth N. and Meili C. (2018) Pilot-study for the analysis of the environmental impacts of commodities traded in Switzerland. ESU-services Ltd. financed by Swiss Federal Office for the Environment - FOEN, Schaffhausen, Switzerland, retrieved from: <https://esu-services.ch/projects/trade/>.
- Jungbluth & Meili 2019 Jungbluth N. and Meili C. (2019) Recommendations for calculation of the global warming potential of aviation including the radiative forcing index. *In: Int J Life Cycle Assess*, **24**(3), pp. 404-411, DOI: 10.1007/s11367-018-1556-3, retrieved from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-018-1556-3>, <https://rdcu.be/bbKZk>.
- Jungbluth et al. 2020a Jungbluth N., Meili C., Eberhart M., Annaheim J., Keller R., Eggenberger S., König A., Doublet G., Flury K., Büsser S., Stucki M., Schori S., Itten R., Leuenberger M. and Steiner R. (2020a) Life cycle inventory database on demand: EcoSpold LCI database of ESU-services. ESU-services Ltd., Schaffhausen, CH, retrieved from: www.esu-services.ch/data/data-on-demand/.

- Jungbluth et al. 2020b Jungbluth N., Meili C., Eberhart M., Annaheim J., Keller R., Eggenberger S., König A., Doublet G., Flury K., Büsser S., Stucki M., Schori S., Itten R., Leuenberger M. and Steiner R. (2020b) ESU World Food LCA Database - LCI for food production and consumption. ESU-services Ltd., Schaffhausen, CH, retrieved from: www.esu-services.ch/data/data-on-demand/.
- Kattner et al. 2015 Kattner L., Mathieu-Üffing B., Burrows J. P., Richter A., Schmolke S., Seyler A. and Wittrock F. (2015) Monitoring compliance with sulfur content regulations of shipping fuel by in situ measurements of ship emissions. *In: Atmospheric Chemistry and Physics*, **15**(17), pp. 10087-10092, 10.5194/acp-15-10087-2015.
- König et al. 2014 König A., Doublet G. and Jungbluth N. (2014) Treibhausgasbilanz verschiedener Ferienszenarien. ESU-services Ltd. im Auftrag von WWF Schweiz, Zürich, retrieved from: <https://www.esu-services.ch/de/projekte/tourism/>.
- Molnar et al. 2008 Molnar J. L., Gamboa R. L., Revenga C. and Spalding M. D. (2008) Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. *In: Frontiers in Ecology and the Environment*, **6**(9), pp. 485-492, 10.1890/070064.
- Müller-Wenk 1978 Müller-Wenk R. (1978) Die ökologische Buchhaltung: Ein Informations- und Steuerungsinstrument für umweltkonforme Unternehmenspolitik. Campus Verlag Frankfurt.
- SimaPro 9.0 SimaPro (9.0) SimaPro 9.0 (2019) LCA software package. PRé Consultants, Amersfoort, NL, retrieved from: www.simapro.ch.
- UNCTAD 2019 UNCTAD (2019) Review of Maritime Transport 2019.
- UNFCCC 2014 UNFCCC (2014) Shipping World trade and the reduction of CO2 emissions.
- van der Loeff et al. 2018 van der Loeff W. S., Godar J. and Prakash V. (2018) A spatially explicit data-driven approach to calculating commodity-specific shipping emissions per vessel. *In: Journal of Cleaner Production*, **205**, pp. 895-908, 10.1016/j.jclepro.2018.09.053.

7 Anhang

Die Zielsetzung und der Untersuchungsrahmen werden hier festgelegt. Soweit möglich erfolgt die Festlegung der Systemgrenzen in Anlehnung an die ISO 14044 Norm für Ökobilanzen¹³ (International Organization for Standardization (ISO) 2006a) und an die ecoinvent Methodik (Frischknecht et al. 2007).

7.1 Bewertung der Sachbilanzergebnisse

Für die Studie werden die Bewertungsgrössen gemäss Tab. 1.1 verwendet¹⁴:

- Bewertung verschiedener Arten von Umweltbelastungen in Luft, Wasser und Boden mit der Methode der ökologischen Knappheit (UBP) 2013 (Frischknecht et al. 2013).
- Global Warming Potential, kurz GWP, welches auch unter den Namen Carbon Footprint bzw. Treibhausgasemissionen bekannt ist (IPCC 2013), für einen Betrachtungszeithorizont von 100 Jahren, inklusive zusätzlicher Einflüsse von Flugtransporten (Jungbluth & Meili 2019). Derzeit das wichtigste Umweltthema.

¹³ Das allgemeine Vorgehen bei Ökobilanzen wird auf unserer Homepage <https://www.esu-services.ch/de/dienstleistungen/case-studies/> beschrieben.

¹⁴ Eine detaillierte Beschreibung der häufig genutzten Bewertungsmethoden für Umweltbelastungen steht auf <https://esu-services.ch/de/address/angebote/> zur Verfügung. In der englischsprachigen Version werden die Bewertungsmethoden für den Wasserfussabdruck genauer beschrieben.

7.1.1 Klimaänderungspotenzial

Der Klimawandel ist ein globales Problem. Er führt zu verschiedenen direkten und indirekten Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, die vom Menschen geschaffenen Infrastrukturen und Umweltschäden, wie z.B.:

- Wärmere oder kältere Temperaturen an bestimmten Orten und zu bestimmten Zeiten.
- Veränderungen der Menge, der jährlichen Verteilung und des Ausmasses der Niederschläge und Schneefälle
- Änderungen in der Größe der Windgeschwindigkeiten
- Gletscherschmelze, die zum Verschwinden von Permafrostgebieten, höheren Meeresspiegel und Veränderungen im Salzgehalt der Ozeane führen.
- Versauerung der Ozeane durch höhere Kohlensäurekonzentration
- Veränderungen lokaler oder globaler Klimaphänomene wie Golfstrom, Monsunzeit etc.

Es gibt keine wirtschaftliche, technische Lösung, um diese Schäden rückgängig zu machen. Die Emissionen führen zu dauerhaften Veränderungen im Klimasystem der Erde. Bei der Überschreitung von sogenannten Kippunkten (z.B. Abschmelzen polarer Gletscher, Klimaänderung im Regenwald, Veränderung globaler Meeresströmungen, etc.) führt dies zu einer selbstverstärkenden Rückkopplung. Da eine Lösung für dieses Problem noch nicht in Sicht ist, wird es von vielen Forschern als derzeitig drängendstes globale Umweltproblem angesehen.

Für diejenigen Substanzen, welche zur Verstärkung des Treibhauseffekts beitragen, wird das «global warming potential» (GWP) nach IPCC als Wirkungsparameter beigezogen (IPCC 2013). Dabei werden Absorptionskoeffizienten für infrarote Wärmestrahlung, die Verweildauer der Gase in der Atmosphäre und die erwartete Immissionsentwicklung berücksichtigt. Für verschiedene Zeithorizonte (20, 100 oder 500 Jahre) wird dann die potenzielle Wirkung eines Kilogramms eines Treibhausgases im Vergleich zu derjenigen eines Kilogramms CO₂ bestimmt. Somit können atmosphärische Emissionen in äquivalente Emissionsmengen CO₂ umgerechnet werden. Wird nichts Genaueres angegeben, so wird standardmässig von einem Zeithorizont von 100 Jahren ausgegangen. Der kürzere Integrationszeitraum von 20 Jahren ist relevant, da dieser die Temperaturveränderungsrate massgeblich bestimmt, welche wiederum die erforderliche Adaptionfähigkeit für terrestrische Ökosysteme vorgibt. Die Verwendung der längeren Integrationszeiten von 500 Jahren entspricht auch etwa der Integration über einen unendlichen Zeithorizont und lässt Aussagen über das Potenzial der absoluten Veränderung zu (Meeresspiegelerhöhung, Veränderung der Durchschnittstemperatur).

Für den Indikator Klimaänderungspotenzial werden in der öffentlichen Diskussion eine Vielzahl zu-meist synonyme Begriffe verwendet, z.B. Treibhausgasemissionen, Carbon Footprint, Klimabilanz, Klimawandel, Klimabelastung, Klimafussabdruck, CO₂-Fussabdruck, CO₂-Bilanz, etc.. Diese Begriffe sind nicht klar definiert. Relevant für die Unterscheidung ist dabei nicht der Begriff an sich, sondern die verwendete Version der IPCC Charakterisierungsfaktoren, der Zeithorizont, die berücksichtigten Klimagase¹⁵ und der Einbezug von zusätzlichen Effekten durch den Luftverkehr.

Die aktuellste Version der Charakterisierungsfaktoren wurde 2013 veröffentlicht (IPCC 2013). Auf Wunsch berücksichtigen wir in unserer Studie auch den zusätzlichen Effekt durch die Emissionen von Flugzeugen mit dem sogenannten RFI Faktor (Jungbluth & Meili 2019).

Die aktuellen Emissionen pro Person und Jahr liegen in der Schweiz bei knapp 14 Tonnen CO₂-eq. Tab. 7.1 zeigt weitere typische Referenzwerte für diesen Indikator, dabei wurde mit der Methode IPCC mit den RFI Faktoren gerechnet.

¹⁵ Einige weniger Autoren rechnen auch heute noch nur mit den Kohlendioxid Emissionen ohne Berücksichtigung weiterer Klimagase.

Tab. 7.1 Referenzwerte für Produkte und Dienstleistungen, die 1kg CO₂-eq verursachen

5672	Liter Wasser ab Leitung in der Schweiz
11.7	Zentimeter Strasse, für ein Jahr genutzt
1.0	Kilogramm fossiles CO ₂ , direkt emittiert
0.03	Kilogramm fossiles Methan, direkt emittiert
1.4	Liter Rohöl gefördert, mit Transport bis zur Raffinerie
3%	des privaten Tageskonsums einer Person in der Schweiz, 2018
3%	des Tageskonsums einer Person in der Schweiz
3	km Transport einer Person per Flugzeug
5	km Transport einer Person per Auto (Auslastung 1.6 Personen)
122	km Transport einer Person per Fahrrad
12%	eines vegetarischen Menüs mit 4 Gängen
6%	eines fleischhaltigen Menüs mit 3 Gängen
20%	des täglichen Nahrungsmittelkonsums einer Person in der Schweiz, 2018
27	Plastiktragtaschen (Produktion, Vertrieb und Entsorgung)
0.11	T-Shirts aus Baumwolle
0.47%	der Produktion eines Laptops
56%	des täglichen Konsums für Hobbies/Freizeitaktivitäten in der Schweiz, 2018
100%	des täglichen Konsums für Möbeln und Haushaltsgeräten in der Schweiz, 2018

7.1.2 Methode der ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte) (2013)

Die Methode der ökologischen Knappheit erlaubt die Gewichtung der in einer Sachbilanz erfassten und berechneten Ressourcenentnahmen und Schadstoff-Emissionen. Die Grundlagen der Methode wurden erstmals 1978 (Müller-Wenk 1978) erarbeitet. Die erste Aktualisierung erfolgte 1998 (Brand et al. 1998). Eine weitere Aktualisierung fand zwischen 2005 und 2008 statt (Frischknecht et al. 2008). Die aktuellste Version wurde 2013 veröffentlicht (Frischknecht et al. 2013).

Die Methode der ökologischen Knappheit beruht auf dem Prinzip "Distance-to-target". Dabei werden einerseits die gesamten gegenwärtigen Flüsse einer Umwelteinwirkung (z.B. Stickoxide) eines Landes und andererseits die im Rahmen der umweltpolitischen Ziele des entsprechenden Landes als maximal zulässig erachteten (kritischen) Flüsse derselben Umwelteinwirkung verwendet. Sowohl kritische wie auch aktuelle Flüsse sind in Bezug auf schweizerische Verhältnisse definiert. Fig. 7.1 zeigt ein vereinfachtes Vorgehensschema dieser Bewertungsmethode. Daraus geht hervor, dass die Schritte Klassifizierung und Charakterisierung nur für einen Teil der Umweltprobleme durchgeführt werden. Ansonsten werden die Umwelteinwirkungen (Emissionen und Ressourcenverbrauch) und Abfallmengen aus der Sachbilanz direkt gewichtet.

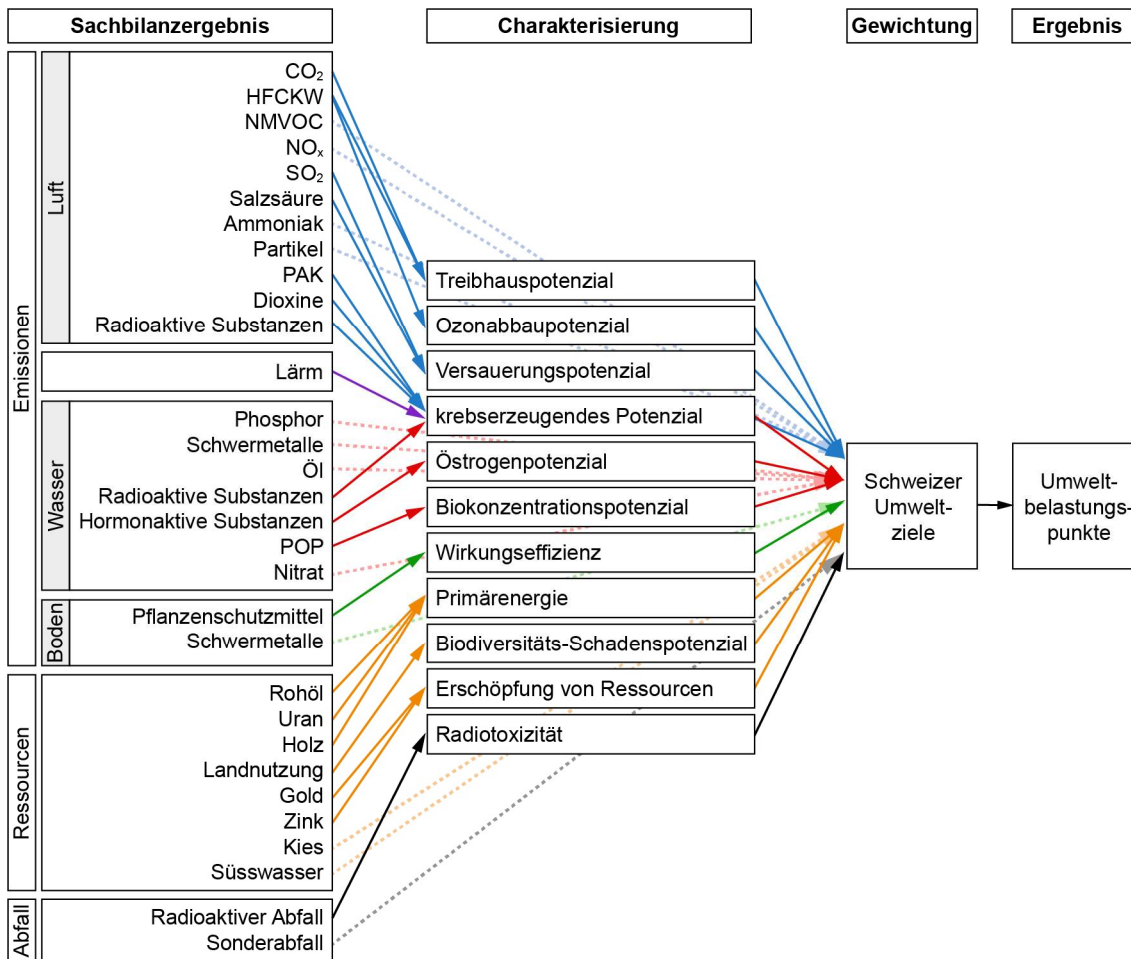


Fig. 7.1 Schematische Darstellung der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht et al. 2013)

Die Bewertung erfolgt mittels Ökofaktoren welche wie folgt definiert sind:

$$\text{Ökofaktor} = \underbrace{K}_{\substack{\text{Charakterisierung} \\ \text{(optional)}}} \cdot \underbrace{\frac{1 \cdot \text{UBP}}{F_n}}_{\text{Normierung}} \cdot \underbrace{\left(\frac{F}{F_k}\right)^2}_{\text{Gewichtung}} \cdot \underbrace{c}_{\text{Konstante}} \quad (8.1)$$

- mit: **K** = **Charakterisierungsfaktor** eines Schadstoffs beziehungsweise einer Ressource
- Fluss = Fracht eines Schadstoffs, Verbrauchsmenge einer Ressource oder Menge einer charakterisierten Umwelteinwirkung
- F_n** = **Normierungsfluss**: Aktueller jährlicher Fluss, bezogen auf die Schweiz
- F** = **Aktueller Fluss**: Aktueller jährlicher Fluss, bezogen auf das Referenzgebiet
- F_k** = **Kritischer Fluss**: Kritischer jährlicher Fluss, bezogen auf das Referenzgebiet
- c** = **Konstante (10¹²/a)**
- UBP** = **Umweltbelastungspunkt**: die Einheit des bewerteten Ergebnisses

Der Faktor c ist für alle Ökofaktoren identisch und dient der besseren Handhabbarkeit der Zahlen. Der erste Faktor dient der *Charakterisierung* und wird für Schadstoffe (beziehungsweise Ressourcen) angewendet, welche dieselbe Umweltwirkung verursachen (beispielsweise Klimaänderung). Der Charakterisierungsfaktor ist in dieser Methode optional, das heisst nicht alle Schadstoffe werden in dieser Methode charakterisiert. Der zweite Term dient der *Normierung* und enthält im Nenner den heutigen gesamtschweizerischen Fluss. Dieser wird entweder in charakterisierter Form angegeben

(beispielsweise Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr), wenn der für den entsprechenden Schadstoff ein Charakterisierungsfaktor angewendet wird, oder in seiner ursprünglichen Form (beispielsweise Tonnen PM10 pro Jahr), wenn der Schadstoff keinen Charakterisierungsfaktor hat. Der dritte Term enthält den *Gewichtungsschritt*. Hier werden die aktuellen Emissionen einerseits und das angestrebte Emissionsziel ins Verhältnis gesetzt und quadriert.

Das Verhältnis aktueller zu kritischem Fluss wird als Quadrat berücksichtigt. Dies hat den Effekt, dass starke Überschreitungen vom Zielwert (kritischer Fluss) überproportional und starke Unterschreitungen unterproportional gewichtet werden, also eine zusätzliche Emission stärker gewichtet wird je höher die Belastungssituation bereits ist.

Tausend Umweltbelastungspunkte (1000 UBP) entsprechen den in Tab. 7.2 gezeigten Referenzwerten

Tab. 7.2 Referenzwerte für Produkte und Dienstleistungen, die 1000 Umweltbelastungspunkte verursachen

2114	Liter Wasser ab Leitung in der Schweiz
4.25	Zentimeter Strasse, für ein Jahr genutzt
2.17	Kilogramm fossiles CO ₂ , direkt emittiert
0.08	Kilogramm fossiles Methan, direkt emittiert
0.071	Gramm Kupfereintrag in landwirtschaftlich genutztem Boden
1.24	Liter Rohöl gefördert mit Transport bis zur Raffinerie
33	Kilogramm Kiesabbau
3.33	Gramm Pestizidanwendung in der Landwirtschaft
1.8%	des privaten Tageskonsums einer Person in der Schweiz, 2005
4.5	km Transport einer Person per Flugzeug
4.5	km Transport einer Person per Auto (Auslastung 1.6 Personen)
96	km Transport einer Person per Fahrrad
6%	eines vegetarischen Menüs mit 4 Gängen
4%	eines fleischhaltigen Menüs mit 3 Gängen
6%	des täglichen Nahrungsmittelkonsums einer Person in der Schweiz, 2005
38	Plastiktragtaschen (Produktion, Vertrieb und Entsorgung)
0.08	T-Shirts aus Baumwolle
0.23%	der Produktion eines Laptops
27%	des täglichen Konsums für Hobbies/Freizeitaktivitäten in der Schweiz, 2005
55%	des täglichen Konsums für Möbeln und Haushaltsgeräten in der Schweiz, 2005