

HINTERGRUND // SEPTEMBER 2026

Sulfurylfluorid

Einsatz und Regulierung von Sulfurylfluorid sowie Maßnahmen zur Vermeidung und Minderung von Emissionen bei der Rundholzbegasung

Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

Impressum

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

Autorinnen und Autoren:
Dr. Johannes Schwan, Kerstin Martens, Dr. Jan Priegnitz, Dr. Lisa Noll, Dr. Christiane Stark, Christopher Proske, Wolfram Eilbacher, Dr. Mareike Güth, Susanne Schmidt, Dr. Claudius Grehl, Jens Günther, Torsten Schwanemann, Dr. Christian Mielke

Wissenschaftliche Mitarbeitende im Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

Redaktion:
Fachgebiete III 2.1, III 1.4, IV 1.3, IV 1.2, V 1.3, I 1.2, V 1.6

Satz und Layout:
Atelier Hauer + Dörfler GmbH, Berlin

Publikationen als pdf:
www.umweltbundesamt.de/publikationen

Bildquellen:
Titelbild gettyimages / Chun han

Stand: September 2026

ISSN 2363-829X

HINTERGRUND // SEPTEMBER 2026

Sulfurylfluorid

Einsatz und Regulierung von Sulfurylfluorid sowie Maßnahmen zur Vermeidung und Minderung von Emissionen bei der Rundholzbegasung

Inhalt

Kurzbeschreibung/Abstract ... 9

Zusammenfassung ... 10

1 Sachstand und Handlungsbedarf ... 12
1.1 Stoffeigenschaften und Verwendungen ... 12
1.2 Einsatzmengen, Emissionen und volkswirtschaftliche Implikationen ... 13

2 Rechtliche Rahmenbedingungen ... 19
2.1 Biozid- und Pflanzenschutzrecht ... 19
2.2 EU-Verordnung über fluorierte Treibhausgase ... 20
2.3 Immissionsschutzrecht ... 21

3 Maßnahmen zur Vermeidung und Emissionsminderung von Sulfurylfluorid in der Rundholzbegasung ... 22
3.1 Prozessbezogene Minderungsmaßnahmen ... 22
3.2 Alternative Behandlungsmethoden ... 24
3.3 Möglichkeiten zur Reduzierung des kalamitätsbedingten Rundholzexports in Drittstaaten ... 32
3.4 Weitere regulatorische Maßnahmenvorschläge ... 35

4 Fazit ... 36

5 Danksagung ... 37

6 Quellenverzeichnis ... 38

Abbildungen

Abbildung 1
Sulfurylfluorid-Emissionen in Deutschland in Millionen Tonnen CO_2-Äquivalenten (2018–2024) 16

Abbildung 2
Sulfurylfluorid-Konzentrationen in der nördlichen und südlichen Hemisphäre
sowie im globalen Mittel (1978–2024) 17

Abbildung 3
Schematische Darstellung der Heißdampfbehandlung im SteamTainer®-Verfahren 30

Abbildung 4
Gegenüberstellung der Mengen des Kalamitätsholzes und
des Sulfurylfluorid-Absatzes in Deutschland für die Jahre 2014 bis 2024 33

Abbildung 5
Darstellung der THG-Emissionslast für vier generische Nutzungsszenarien von Waldholz 34

Tabellen

Tabelle 1
Treibhauspotentiale (GWP) und atmosphärische Lebensdauer von Sulfurylfluorid 12

Tabelle 2
Sulfurylfluorid-Absatzmengen in Tonnen in Deutschland (2004–2024) 13

Tabelle 3
Sulfurylfluorid-Verbrauchsmengen in Tonnen (2020–2025), aufgeschlüsselt nach Bundesländern 14

Tabelle 4
Sulfurylfluorid-Emissionen in Deutschland in Tonnen und Millionen Tonnen CO_2-Äquivalenten (2018–2024) 15

Tabelle 5
Akzeptanz von verschiedenen phytosanitären Verfahren für ausgewählte Importländer (Stand: November 2025) 25

Tabelle 6
Potentielle Pflanzenschutzwirkstoffe zur phytosanitären Behandlung von Rundholz 26

Tabelle 7
Alternative nicht-chemische Behandlungsmethoden zur phytosanitären Behandlung von Rundholz 29

Tabelle 8
Abschätzung der THG-Emissionslasten für vier generische Nutzungsszenarien von Waldholz unter Angabe von möglichen Bandbreiten für enthaltene Nutzungsvarianten, Verbrennungsvarianten sowie SF-Exportvarianten 34

Abkürzungsverzeichnis

Kürzel	Langversion
a	Jahr
AGAGE	Advanced Global Atmospheric Gases Experiment
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
CAS	Chemical Abstracts Service
CLP-VO	Verordnung über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen
CO_2	Kohlendioxid
CO_2-Äq.	Kohlendioxid-Äquivalent
Destatis	Statistisches Bundesamt
ECHA	Europäische Chemikalienagentur (englisch: European Chemicals Agency)
EDN	Ethandinitril
F-Gas	Fluoriertes Treibhausgas
FDA	US Food and Drug Administration
FM	Feuchtmasse
GESTIS	Gefahrstoffinformationssystem der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
GWP	Treibhauspotential (englisch: Global Warming Potential)
HLT	Half Loss Time
IPCC	Weltklimarat (englisch: Intergovernmental Panel on Climate Change)
JKI	Julius Kühn-Institut
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
nm	Nautische Meilen
ODP	Ozonschichtschädigendes Potential (englisch: Ozone Depleting Potential)
ppt	Teile pro Billion 10^{12} (englisch: parts per trillion)
SF	Sulfurylfluorid bzw. Sulfuryldifluorid
t	Tonne
THG	Treibhausgas
Mt	Megatonne = 1 Million Tonnen
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
UBA	Umweltbundesamt

Kurzbeschreibung

Sulfurylfluorid wird als Wirkstoff in Pflanzenschutzmitteln unter anderem zur Schädlingsbekämpfung bei Rundholzexporten als Quarantänebehandlung vor allem gegen rinden- und holzbohrende Insekten eingesetzt. Wegen seines hohen Treibhauspotentials entstehen dadurch hohe Treibhausgasemissionen bei der Begasung der mit Holz beladenen Überseecontainer. Im Spitzenjahr 2020 wurden in Deutschland infolge der starken Borkenkäferkalamitäten schätzungsweise zwischen 0,95 und 2,86 Mt CO_2-Äquivalente Sulfurylfluorid aus Anwendungen als Pflanzenschutzmittel emittiert.

Das Hintergrundpapier stellt den aktuellen Sachstand zur Thematik dar und fasst die rechtlichen Rahmenbedingungen für den Einsatz des Pflanzenschutzmittels bei der Begasung von Rundholz sowie die Einfuhrbestimmungen wichtiger Importländer zusammen. Basierend auf den in der Literatur verfügbaren Informationen werden Maßnahmenvorschläge zur Vermeidung und Minderung von Sulfurylfluorid-Emissionen bei der Rundholzbegasung abgeleitet. Diese reichen von prozessbezogenen (technischen) Maßnahmen über alternative chemische wie nicht-chemische Behandlungsmethoden bis hin zu ursachenbezogenen Maßnahmen zur Reduzierung von Rundholzexporten in Drittstaaten.

Abstract

Sulfuryl fluoride is used as an active substance in plant protection products, among other applications, for quarantine pre-shipment treatments especially against bark and woodboring insects. Due to its high global warming potential, the fumigation of overseas freight containers loaded with timber logs results in substantial greenhouse gas emissions. In the peak year of 2020, following large bark beetle related calamities, sulfuryl fluoride emissions from its use as a plant protection product in Germany were estimated to range between 0.95 and 2.86 Mt CO_2 equivalents.

This background paper presents the current state of knowledge on the issue and summarizes the legal framework governing the use of sulfuryl fluoride for the fumigation of roundwood, as well as the import regulations of key importing countries. Based on information available in the literature, the paper proposes measures for avoiding and reducing sulfuryl fluoride emissions from roundwood fumigation. These range from process-related (technical) measures and alternative chemical and non-chemical treatment methods to cause-related measures aimed at reducing roundwood exports to non-EU countries.

Zusammenfassung

Sulfurylfluorid (SO_2F_2) wird in Deutschland vor allem als Pflanzenschutzmittel zur phytosanitären Behandlung von für den Export vorgesehenem Rundholz eingesetzt. Ziel der Begasung ist die Abtötung von Schadorganismen, um die Einfuhranforderungen nicht-europäischer Importländer zu erfüllen. Aufgrund seines sehr hohen Treibhauspotenzials (Global Warming Potential, GWP_{100}: 4.630) führt der Einsatz trotz der im Vergleich zu anderen Treibhausgasen geringen Emissionsmengen in metrischen Tonnen zu signifikanten Treibhausgasemissionen in CO_2-Äquivalenten. Da das Gas nach der Begasung derzeit nahezu vollständig in die Atmosphäre freigesetzt wird, entsprechen die Emissionen im Wesentlichen den eingesetzten Mengen.

Der Einsatz von Sulfurylfluorid nahm infolge der starken Holzkalamitäten und der damit verbundenen Rundholzexporte ab 2019 deutlich zu. Für das Spitzenjahr 2020 ergeben sich in Deutschland – je nach Datengrundlage – Emissionen zwischen 0,95 und 2,86 Millionen Tonnen CO_2-Äquivalenten. Diese Unsicherheit beruht auf Abweichungen zwischen den an das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit gemeldeten Absatzmengen und den von den Bundesländern erfassten tatsächlichen Verbrauchsmengen. Trotz rückläufiger Einsatzmengen seit 2021 bleiben die Emissionen auf einem klimapolitisch relevanten Niveau. Atmosphärische Messungen bestätigen zudem einen langfristigen Anstieg der globalen Sulfurylfluorid-Konzentrationen in der Troposphäre. Im Zeitraum 2005 bis 2024 hat sich die Sulfurylfluorid-Konzentration in der Troposphäre mehr als verdoppelt.

Infolge der direkten Klimawirkungen entstehen auch erhebliche volkswirtschaftliche Folgekosten. Auf Grundlage der Methodenkonvention des Umweltbundesamtes können die globalen Umweltkosten der Emissionen des Jahres 2020 zwischen 888 Millionen und bis zu 2,67 Milliarden Euro geschätzt werden. Gleichzeitig werden so unverarbeitete Holzressourcen exportiert, wodurch Potenziale für regionale Wertschöpfungsketten verloren gehen.

Die Verwendung von Sulfurylfluorid wird durch verschiedene Rechtsbereiche geregelt. Im Biozidrecht wurde die EU-Wirkstoffgenehmigung 2024 nicht verlängert; Ausnahmen bestehen lediglich für den Schutz besonders wertvoller und großer Kulturgüter aus Holz, für die derzeit keine gleichwertigen Alternativen verfügbar sind. Im Pflanzenschutzmittelrecht hat Sulfurylfluorid derzeit noch eine Genehmigung, allerdings wurde die nationale Zulassung für die Begasung von Rundholz im Export 2026 widerrufen, da die Voraussetzungen für eine geringfügige Verwendung nicht mehr erfüllt waren. Übergangsfristen ermöglichen jedoch einen Weiterbetrieb der Begasungsplätze bis Oktober 2027. Darüber hinaus unterliegt Sulfurylfluorid seit 2024 der EU-Verordnung über fluorierte Treibhausgase (F-Gas-Verordnung, F-Gas-VO, 2024). Diese verpflichtet grundsätzlich zur Vermeidung von Emissionen und verlangt den Einsatz technisch und wirtschaftlich geeigneter Maßnahmen zur Emissionsminderung. Ergänzend fordert die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) für Begasungsanlagen unter Einsatz von Sulfurylfluorid bei der Entgasung der Transporteinheit eine geeignete stationäre oder mobile Abgasreinigungseinrichtung einzusetzen. In Ermangelung einer marktverfügbaren Abscheidetechnik entfalten die rechtlichen Anforderungen zur Abscheidung von Sulfurylfluorid aktuell jedoch keine Wirkung.

Zur Verringerung der Emissionen beschreibt das Hintergrundpapier verschiedene Handlungsoptionen. Kurzfristig können optimierte Begasungsbedingungen den Sulfurylfluorideinsatz reduzieren. Hierzu zählen insbesondere Mindesttemperaturen von 10 °C während der Behandlung, eine verbesserte Durchmischung der Containerluft sowie höhere Anforderungen an die Dichtheit der Container, um Gasverluste zu vermeiden.

Ein weiteres Minderungspotenzial besteht in der Entwicklung technischer Verfahren zur Abscheidung des Gases aus der Containerabluft. Untersucht werden sowohl chemische Absorptionsverfahren auf Basis der alkalischen Hydrolyse als auch physikalische Adsorptionsverfahren mit Aktivkohle oder Zeolithen. Letztere eröffnen potentiell die Möglichkeit, Sulfurylfluorid zurückzugewinnen und erneut einzusetzen. Gegenwärtig befinden sich diese Verfahren jedoch noch in der Entwicklung und stehen für den Regelbetrieb noch nicht zur Verfügung.

Darüber hinaus werden alternative phytosanitäre Behandlungsverfahren beschrieben. Chemische Alternativen wie Ethandinitril oder Phosphorwasserstoff sowie verschiedene nicht-chemische Verfahren – beispielsweise Hitzebehandlung, Bestrahlung oder Wässerung – sind grundsätzlich verfügbar, ihre praktische Anwendung wird jedoch häufig durch fehlende Zulassungen, begrenzte technische Eignung oder mangelnde Anerkennung durch Importländer eingeschränkt. Ein kürzlich in Frankreich entwickeltes auf Heißdampf basiertes Verfahren (SteamTainer®) verspricht jedoch eine wirtschaftlich konkurrenzfähige und weitaus weniger Treibhausgas-intensive Alternative zur Behandlung von Rundholz mit Sulfurylfluorid darzustellen.

Ein weiterer Hebel zur Reduktion des Sulfurylfluorid-Einsatzes besteht in der Verringerung des Rundholzexports selbst. Eine stärkere inländische Nutzung des Rohstoffs (insbesondere stofflich) würde nicht nur die mit der Begasung verbundenen Treibhausgasemissionen vermeiden, sondern zugleich regionale Wertschöpfungsketten stärken. Ergänzend werden regulatorische Instrumente wie eine Klimaschutzabgabe auf Sulfurylfluorid diskutiert, um Anreize für emissionsärmere Verfahren und alternative Behandlungsmethoden zu schaffen.

Insgesamt zeigt das Hintergrundpapier, dass der Einsatz von Sulfurylfluorid im Rundholzexport trotz seiner pflanzenschutzfachlichen Bedeutung erhebliche Klimawirkungen verursacht. Technische Verbesserungen und alternative Behandlungsverfahren können die Emissionen reduzieren. Für einen wirksamen Klimaschutz ist ein Maßnahmenmix aus technischen Innovationen, regulatorischen Vorgaben, der Entwicklung alternativer Verfahren sowie eine Verringerung der Rundholzexporte erforderlich.

1 Sachstand und Handlungsbedarf

1.1 Stoffeigenschaften und Verwendungen

Sulfurylfluorid bzw. Sulfuryldifluorid (SO_2F_2, CAS-Nr.: 2699-79-8) ist eine anorganische, fluorierte Schwefelverbindung. Bei Raumtemperatur und Atmosphärendruck liegt es als farb- und geruchloses Gas vor (GESTIS). Die Löslichkeit in Wasser ist mit 1,04 g/L niedrig (BVL, 2009). Sulfurylfluorid ist gemäß der Verordnung über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (CLP-VO) als giftig beim Einatmen, die Organe schädigend und sehr giftig für Wasserorganismen harmonisiert eingestuft (H 331, H373, STOT RE Cat. 2, H400) (CLP-VO, 2008).

Eine stoffliche Besonderheit von Sulfurylfluorid ist das sehr hohe Treibhauspotential: Ein Kilogramm emittiertes Sulfurylfluorid ist, auf 100 Jahre gesehen, gemäß dem Sechsten Sachstandsbericht des Weltklimarats IPCC (Forster et al., 2021) und der europäischen F-Gas-Verordnung (F-Gas-VO, 2024, Anhang II) so klimaschädlich wie 4.630 Kilogramm CO_2. Somit führen schon vergleichsweise geringe Emissionsmengen zu signifikanten Treibhausgasemissionen (siehe Kapitel 1.2).

Der Weltklimarat IPCC gibt in seinen Berichten für alle bekannten Treibhausgase stets Treibhauspotentiale (englisch: Global Warming Potential, GWP) für Zeithorizonte von 20, 100 und 500 Jahren an. Ein Zeithorizont von 20 Jahren (GWP_{20}) spiegelt kurzfristige Auswirkungen von Treibhausgasen gut wider, mit einem Zeithorizont von 500 Jahren (GWP_{500}) sind langfristige Effekte besser abbildbar. Für die internationale Treibhausgas-Emissionsberichterstattung wurde verbindlich festgelegt, die GWP-Werte mit 100 Jahren Zeithorizont zu verwenden (GWP_{100}; UBA, 2022a). Der GWP_{100} von Sulfurylfluorid ist auch in diesem Bericht die Grundlage für die Berechnung von CO_2-Äquivalenten (CO_2-Äq.). In Tabelle 1 sind die atmosphärische Lebensdauer und die Treibhauspotentiale von Sulfurylfluorid für unterschiedliche Zeithorizonte angegeben.

Mit einem GWP_{100} von über 1000 gehört Sulfurylfluorid zu einer kleinen Gruppe von nur 25 Chemikalien mit sehr hohem Treibhauspotential, die von der Menschheit in nennenswerten Mengen produziert werden (Myhre et al., 2013).

In der Umwelt kann Sulfurylfluorid zu Fluorwasserstoff (HF) und Schwefelsäure (H_2SO_4) hydrolysiert werden. Die Reaktionsgeschwindigkeit ist dabei stark abhängig vom pH-Wert. Während es bei pH 9 schon nach einigen Minuten vollständig hydrolysiert ist, beträgt die Halbwertszeit bei pH 7 bereits 4,6 Stunden. In der Atmosphäre ist die Hydrolyse von Sulfurylfluorid mit einer Halbwertszeit von mehreren Jahren jedoch deutlich langsamer (BVL, 2009).

Die biologische Wirksamkeit von Sulfurylfluorid beruht ebenfalls auf dessen Hydrolyse unter Bildung von Fluorid-Ionen, die zentrale Stoffwechselprozesse (Glycolyse und Citratzyklus) stören. Es findet seit 2005 breite Verwendung als Pestizid zu Bekämpfung von Holzschädlingen sowie zur Bekämpfung von Vorratsschädlingen. Zudem wird Sulfurylfluorid bei der Begasung von Frachtcontainern eingesetzt. Die Anwendungsbereiche von Sulfurylfluorid werden im Folgenden näher beschrieben.

Tabelle 1

Treibhauspotentiale (GWP) und atmosphärische Lebensdauer von Sulfurylfluorid

Treibhausgas	Summenformel	Atmosphärische Lebensdauer [a]	GWP_{20}	GWP_{100}	GWP_{500}
Sulfurylfluorid	SO_2F_2	36	7.510	4.630	1.410

Quelle: Daten aus Forster et al. (2021), Supplementary Material, Chapter 7 SM, Table 7.SM.7, page 21.

1.1.1 Lebensmittel- und Holzschutz

Um Lebensmittelschädlinge abzutöten, ist das sulfurylfluoridhaltige Pflanzenschutzmittel ProFume in Deutschland beispielsweise für die Behandlung von Trockenobst, Nüssen und Getreide zugelassen (BVL, 2026a). Aber auch Objekte wie Ausrüstung, Geräte, Fahrzeuge oder Silozellen, Mühlen und Lagerhallen können zum Vorratsschutz mit Sulfurylfluorid behandelt werden.

In Biozidprodukten wurde Sulfurylfluorid bis 2024 als Holzschutzmittel (Produktart 08) zur Bekämpfung von holzzerstörenden Schadorganismen sowie als Insektizid (Produktart 18) eingesetzt. Nachdem die Genehmigung als Biozidwirkstoff in der EU nicht verlängert wurde, ist der Einsatz in Deutschland nur noch als Ausnahme zum Schutz von Kulturgütern aus Holz zugelassen, um holzzerstörende Insekten abzutöten (siehe Kapitel 2.1.1).

Die Art der zulässigen Anwendungen und die Zielorganismen können sich je nach Land unterscheiden. In den USA kann Sulfurylfluorid z. B. gegen Termiten, andere holzzerstörende Insekten, Bettwanzen, Teppichkäfer, Motten, Kakerlaken, Ratten und Mäuse eingesetzt werden (EPA, 2025).

1.1.2 Internationaler Holzhandel

Ein wichtiger Anwendungsbereich von Sulfurylfluorid ist die phytosanitäre Behandlung von Stammholz für den Export, insbesondere nach Fernost, der im Zuge der Borkenkäferkalamität in den letzten Jahren zur mengenmäßig größten Verwendung in Deutschland führte (Warncke & Gschrey, 2021). Für den internationalen Holzhandel werden phytosanitäre Zeugnisse bzw. Pflanzengesundheitszeugnisse gefordert. Das bedeutet, dass Einfuhrländer Produkte nur dann importieren, wenn sie einem von ihnen anerkannten Verfahren zur (nahezu) vollständigen Abtötung möglicherweise vorhandener Schadorganismen unterzogen wurden (siehe auch Kapitel 3.2). In der Praxis erfolgt die Anwendung entsprechend der Handlungsanweisung des Pflanzenschutzdienstes der Länder in der Regel im mit Holz beladenen geschlossenen Container, in den über eine Lanze das Sulfurylfluorid aus einer Gasflasche eingebracht wird (Deutscher Pflanzenschutzdienst, 2025). Nach einer Einwirkzeit von mindestens 24 Stunden wird der Container durch Öffnen der Türen belüftet, sodass nahezu die gesamte Aufwandmenge Sulfurylfluorid emittiert wird.

1.2 Einsatzmengen, Emissionen und volkswirtschaftliche Implikationen

1.2.1 Einsatzmengen

In Deutschland müssen nach § 64 Pflanzenschutzgesetz die Inlandsabsatzmengen von Wirkstoffen in Pflanzenschutzmitteln jährlich von den Inverkehrbringern an das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) gemeldet werden (BVL, 2025). Für Sulfurylfluorid liegen Meldungen der Absatzmengen für die Jahre 2004 bis 2024 vor, die in der folgenden Tabelle 2 wiedergegeben sind. Es fällt auf, dass sich die an das BVL gemeldeten Mengen zwischen 2006 und 2018 auf relativ konstantem Niveau bewegen, während ab 2019 ein starker Anstieg zu verzeichnen ist. Die für das Jahr 2024 gemeldeten 60,5 Tonnen sind wieder auf dem Niveau der Jahre 2006 bis 2018.

Der Spitzenwert von 205 Tonnen Sulfurylfluorid im Jahr 2020 reihte sich in den vom BVL veröffentlichten Absatzzahlen von Pflanzenschutzmitteln (BVL, 2025) auf den 27. Platz von über 280 Wirkstoff-Mengen ein.

Tabelle 2

Sulfurylfluorid-Absatzmengen in Tonnen in Deutschland (2004–2024)

Jahr	Absatzmenge nach BVL [t]	Jahr	Absatzmenge nach BVL [t]
2004	0,25	2015	48,21
2005	0	2016	40,74
2006	55,68	2017	31,24
2007	61,79	2018	53,59
2008	47,53	2019	154,82
2009	56,36	2020	205,01
2010	47,53	2021	106,38
2011	24,45	2022	151,43
2012	31,24	2023	91,44
2013	50,25	2024	60,55
2014	45,50		

Quelle: Daten aus BVL (2025)

Seit einigen Jahren gibt es Hinweise darauf, dass die in Deutschland tatsächlich zur Begasung von Stammholz genutzten Mengen Sulfurylfluorid höher waren als die an das BVL gemeldeten Inlandsabsatzmengen, da die im Hamburger Hafen eingesetzten Mengen an Sulfurylfluorid ab 2019 jeweils höher waren als die an das BVL gemeldeten Absatzmengen (Drucksache 21/19518, 2020; Bundestags-Drucksache 19/30789, 2021).

Der Verein Umweltinstitut München e.V. hat im Jahr 2025 bei den Bundesländern Verbrauchsmengen (nicht Verkaufsmengen) zu Sulfurylfluorid erfragt (Umweltinstitut München, 2025a), und die erhaltenen Werte zusammengefasst (s. Tabelle 3).

Tabelle 3

Sulfurylfluorid-Verbrauchsmengen in Tonnen (2020–2025), aufgeschlüsselt nach Bundesländern

Verbrauchsmenge Bundesland [t]	2020	2021	2022	2023	2024	2025 (1. HJ)
Hamburg	230,19	110,47	162,00	195,90	114,03	53,57
Bremen	12,96	24,47	7,70	9,47	5,21	1,70
Mecklenburg-Vorpommern	k. A.	0,147	0,633	0,002	0	0
Sachsen	k. A.	k. A.	0,096	0,004	0	0
Brandenburg	k. A.	0	0	0	0	0
Hessen	14,58[a]	14,58[a]	14,58[a]	14,58[a]	0	0
Niedersachsen	359,70[b]	221,68[b]	189,03	117,29	46,71	15,76
Rheinland-Pfalz	k. A.	k. A.	0,16	0,16	0,43	0
Berlin	0,00036	0,00036	0,00036	0,00036	0,00036	0,00036
Sachsen-Anhalt	k. A.	k. A.	8,15	6,84	4,2	1,36
Bayern	k. A.	k. A.	0,36	2,26	2,62	4,67
Schleswig-Holstein	0,10	0,37	0,40	0,10	0,07	0,03
Baden-Württemberg	k. A.	k. A.	0	0	0	0
Nordrhein-Westfalen	k. A.	k. A.	0	0,35	0	0
Saarland	k. A.	k. A.	k. A.	0	0	0
Thüringen	k. A.	k. A.	0	0	0	0
Ergebnis	**617,53[c]**	**371,71**	**383,11**	**346,96[c]**	**173,27**	**77,10[c]**

Daten aus einer vom Verein Umweltinstitut München e.V. veröffentlichten Excel-Tabelle (Umweltinstitut München, 2025b), in der Angaben der Bundesländer auf Anfragen gemäß Umweltinformationsgesetz (UIG) zusammengefasst wurden
a Angabe für den Gesamtzeitraum, gleichmäßig über die Jahre verteilt
b geschätzte Verbrauchsmenge aus der angegebenen Menge begasten Holzes in Niedersachsen, angenommene Dosis 0,2 kg/m³ Stammholz (maximale Gaskonzentration: 128 g/m³ Containervolumen pro Begasung)
c korrigierte Summen für die Jahre 2020, 2023 und 2025 der vom Verein Umweltinstitut München e.V. veröffentlichten Excel-Tabelle (Umweltinstitut München, 2025b)
k. A. keine Angabe, noch nicht veröffentlicht, Daten sind nur über 3 Jahre aufzubewahren

Die höchsten Verbrauchszahlen wurden aus Hamburg, Niedersachsen und Bremen gemeldet und sind vermutlich auf die Begasung von Exportwaren an den Nordseehäfen zurückzuführen. Verbrauchsmengen von mehr als einer Tonne pro Jahr wurden zudem zeitweise von Hessen, Sachsen-Anhalt und Bayern gemeldet. Alle anderen Bundesländer haben im betrachteten Zeitraum von 2021 bis 2025 stets Verbrauchsmengen von weniger als einer Tonne pro Jahr gemeldet.

Die Summe der von den einzelnen Bundesländern gemeldeten Verbrauchsmengen sind deutlich höher als die dem BVL gemeldeten Inlandsabsatzmengen (Tabelle 2). Eine Erklärung für die Diskrepanzen gibt es trotz Untersuchungen des BVL und der betroffenen Bundesländer bislang nicht (Bundestags-Drucksache 21/5314, 2026). Im Folgenden werden für weitere Berechnungen beide Jahressummen gleichberechtigt herangezogen, um die Unsicherheit deutlich zu machen.

1.2.2 Emissionen

Entsprechend der gängigen Begasungspraxis bei der phytosanitären Behandlung von Exportstammholz werden die Container nach erfolgter Begasung mit Sulfurylfluorid durch das Öffnen der Türen belüftet. Da bisher kein Verfahren zur Abscheidung des verwendeten Sulfurylfluorids in Deutschland verfügbar ist, ist davon auszugehen, dass nahezu die gesamten verwendeten Begasungsmengen letztlich in die Atmosphäre entweichen. Das bedeutet, dass die Höhe der Emissionen mit den Verwendungsmengen näherungsweise gleichgesetzt werden kann (Warncke & Gschrey, 2021; UBA, 2025).

Auf Basis der an das BVL gemeldeten Inlandsabsatzmengen sowie der vom Umweltinstitut München ermittelten Verbrauchsmengen in den Bundesländern ergeben sich die in Tabelle 4 und Abbildung 1 dargestellten Emissionen von Sulfurylfluorid in Deutschland. Zur Kalkulation der CO_2-Äquivalente wurde der GWP_{100}-Wert des Sechsten IPCC Sachstandsberichts (Forster et al., 2021, Table 7.SM.7) herangezogen.

Tabelle 4

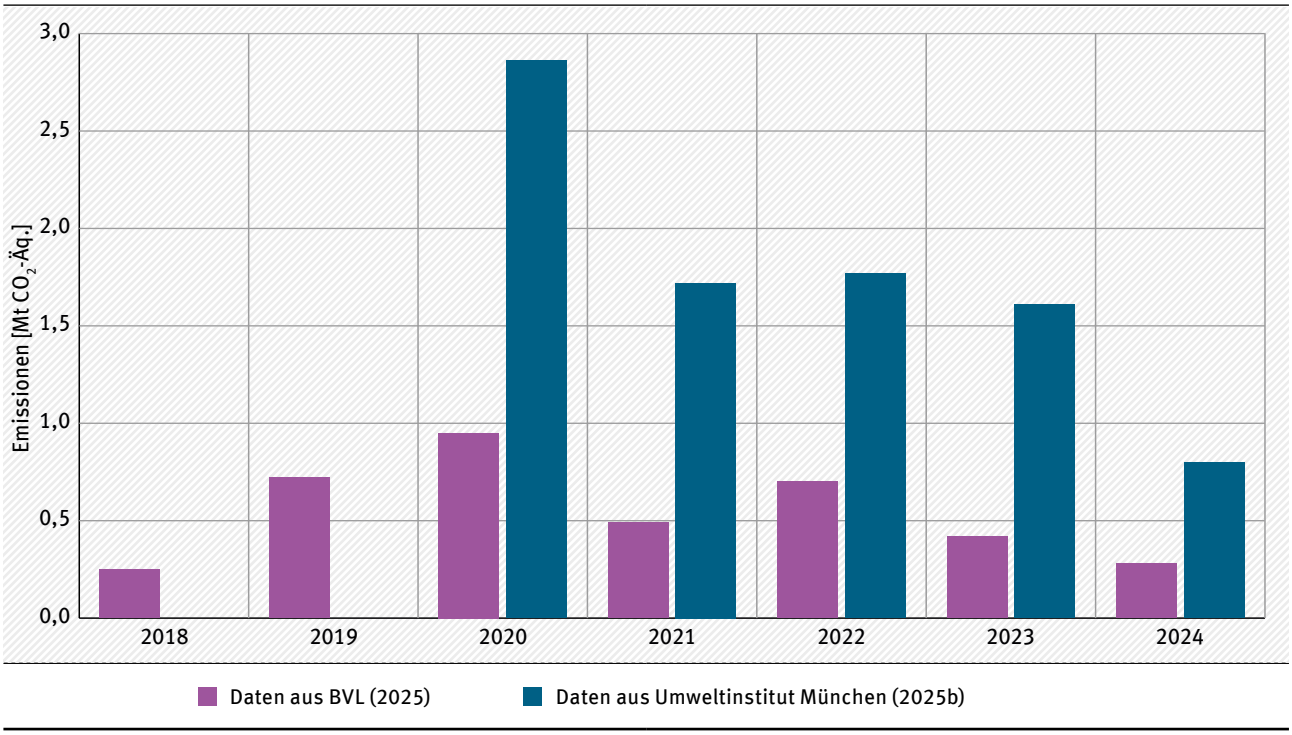
Sulfurylfluorid-Emissionen in Deutschland in Tonnen und Millionen Tonnen CO_2-Äquivalenten (2018–2024)

Sulfurylfluorid-Emissionen	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Emissionen auf Basis der BVL-Daten [t]	53,59	154,82	205,01	106,38	151,43	91,44	60,55
Emissionen auf Basis der Daten des Umweltinstituts[t]	k. A.	k. A.	617,53	371,71	383,11	346,96	173,27
Emissionen auf Basis der BVL-Daten [Mt CO_2-Äq.]	0,25	0,72	0,95	0,49	0,70	0,42	0,28
Emissionen auf Basis der Daten des Umweltinstituts [Mt CO_2-Äq.]	k. A.	k. A.	2,86	1,72	1,77	1,61	0,80

CO_2-Äquivalente berechnet mit dem GWP_{100} (4.630) aus Forster et al. (2021), Table 7.SM.7
k. A. keine Angabe

Abbildung 1

Sulfurylfluorid-Emissionen in Deutschland in Millionen Tonnen CO_2-Äquivalenten (2018–2024)



Daten auf Grundlage der an das BVL gemeldeten Absatzzahlen für Pflanzenschutzmittel (lila) sowie der Abschätzungen der Gesamtverbrauchsmengen der Bundesländer durch das Umweltinstitut München (blau). Keine Angabe für Werte der Emissionen des Umweltinstituts in den Jahren 2018 und 2019.

Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

Abbildung 1 zeigt die Sulfurylfluorid-Emissionen in Deutschland in den Jahren 2018 bis 2024 umgerechnet in Millionen Tonnen CO_2-Äquivalenten. Die berechneten Emissionen können als Unter- bzw. Obergrenze der tatsächlich in Deutschland emittierten Mengen aufgefasst werden. Die Höhe der Emissionen steigt von 2018 bis 2020 signifikant auf Werte von 0,95 Mt CO_2-Äq. (BVL) und 2,86 Mt CO_2-Äq. (Bundesländer/Umweltinstitut) an. Danach sinken die Emissionen wieder kontinuierlich ab. 2024 liegen die Werte zwischen 0,28 (BVL) und 0,8 (Bundesländer/Umweltinstitut) Mt CO_2-Äq.

Laut dem Hamburger Klimaplan verursachte der Einsatz von Sulfurylfluorid am Hamburger Hafen im Jahr 2021 Emissionen von 0,45 Mt CO_2-Äq.[1]. Dies entspricht ca. 3,1 % der berichtspflichtigen Treibhausgasemissionen Hamburgs. 2022 betrugen die Emissionen am Hamburger Hafen 0,66 Mt CO_2-Äq. (Drucksache 22/12774).

Aufgrund seiner langen Verweilzeit in der Atmosphäre (siehe Tabelle 1) sind Atmosphärenmessungen gut geeignet, um die Höhe der Sulfurylfluorid-Emissionen, die global, aber auch regional auftreten, zu bestimmen.

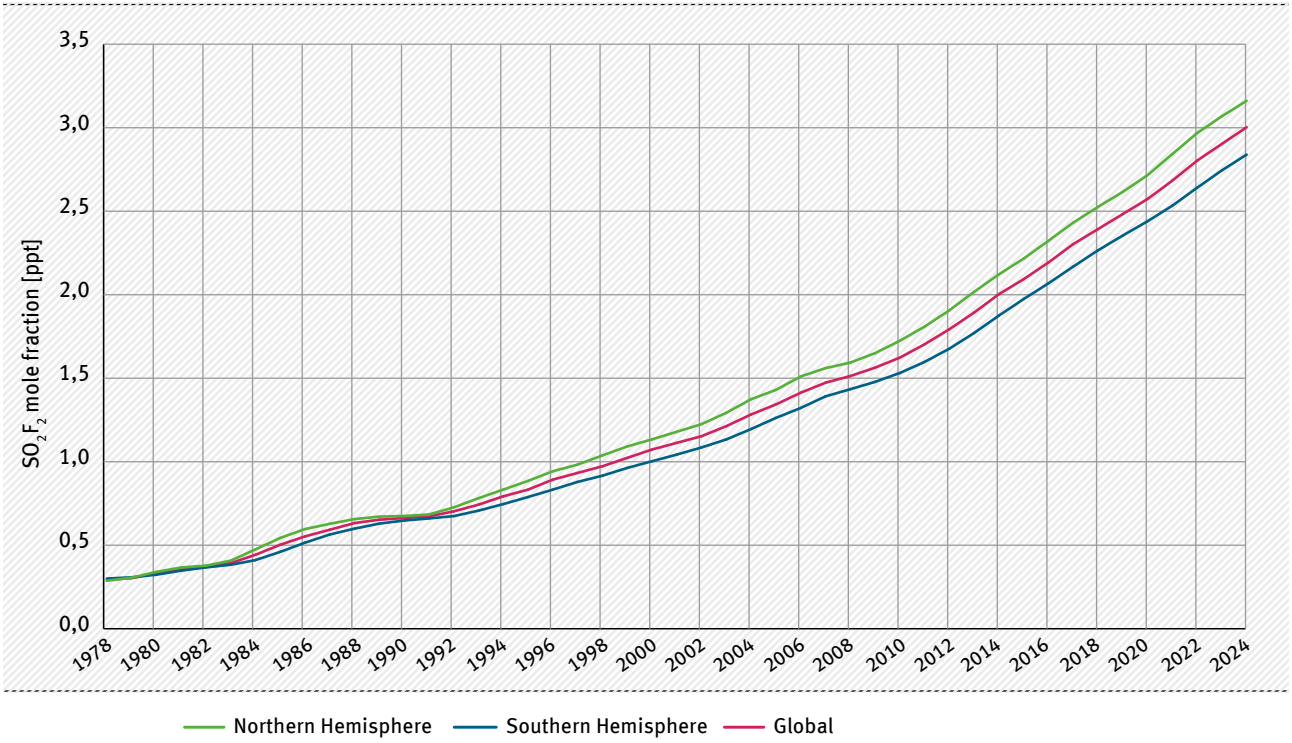
Im internationalen Netzwerk „Advanced Global Atmospheric Gases Experiment“ (AGAGE) wird die Zusammensetzung der globalen Atmosphäre kontinuierlich gemessen. Die Sulfurylfluorid-Konzentrationen werden an elf internationalen Messstationen bestimmt, darunter die europäischen Messstationen Jungfraujoch in der Schweiz und Mace Head in Irland. Die ersten Atmosphärenmessungen von Sulfurylfluorid wurden bereits 1978 durchgeführt, federführend hierbei waren neben den Datenarchiven des Cape Grim Observatoriums, für die Südhemisphäre die Observatorien in Mace Head und Trinidad Head für die Nordhemisphäre. Diese Messungen wurden zum Beispiel in Modellen von Mühle et al. 2009

1 Die für Hamburg angegebenen Emissionen von 0,45 Mt CO_2-Äq. bzw. 0,66 Mt CO_2-Äq. sind mit dem GWP100 von 4.090 aus dem 5. IPCC Sachstandsbericht (Stocker et al., 2013) berechnet worden. Mit dem GWP100 von 4.630 aus dem 6. IPCC Sachstandsbericht (Forster et al., 2021, Table 7.SM.7), der sonst für die Berechnung der CO_2-Äquivalente in diesem Bericht genutzt wird, ergeben sich Werte von 0,51 Mt CO_2-Äq. (2021) bzw. 0,75 Mt CO_2-Äq. (2022).

Abbildung 2

Sulfurylfluorid-Konzentrationen in der nördlichen und südlichen Hemisphäre sowie im globalen Mittel (1978–2024)

Modellierte Sulfurylfluoridkonzentrationen (SO_2F_2 mole fraction [ppt]) in der Troposphäre basierend auf Atmosphärenmessungen für die nördliche Hemisphäre (Northern Hemisphere, grün), die südliche Hemisphäre (Southern Hemisphere, blau) und das globale Mittel (Global, rot)



Daten aus Western et al. (2025) unter Verwendung von AGAGE-Daten (Dataset Zenodo, https://doi.org/10.5281/zenodo.18878005, Western et al., 2026).

Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

benutzt, um eine Zeitreihe für die Verteilung von Sulfurylflourid aufzustellen. Weitere Details zu den Messungen und Modellierungen können den Veröffentlichungen von Prinn et al., 2018 und Western et al., 2025 entnommen werden. Abbildung 2 zeigt den Verlauf der Sulfurylfluorid-Konzentrationen (englisch: SO_2F_2 mole fraction) von 1978 bis 2024 in der nördlichen und südlichen Hemisphäre sowie auf globaler Ebene. 1978 waren die Konzentrationen mit etwa 0,2 ppt noch gering. Mit steigendem globalem Einsatz von Sulfurylfluorid als Ersatz für das ozonabbauende Methylbromid stiegen die Werte auf global ca. 3,0 ppt im Jahr 2024 an. Im Zeitraum 2005 bis 2024 hat sich die Sulfurylfluorid-Konzentration in der Troposphäre mehr als verdoppelt. Zu beobachten ist dabei auch, dass in der nördlichen Hemisphäre höhere Konzentrationen als in der südlichen Hemisphäre gemessen werden (AGAGE, 2026a). Aufgrund der Langlebigkeit von Sulfurylfluorid in der Troposphäre ist bei anhaltenden Emissionen von weiter steigenden Konzentrationen auszugehen.

Im Rahmen der Schweizer Forschungsprojekte HALCLIM und CLIMGAS-CH werden auf dem Jungfraujoch seit 2008 kontinuierliche Messungen von Treibhausgasen, unter anderem von Sulfurylfluorid, durchgeführt und ausgewertet. Diese Messungen zeigen einen Anstieg der Hintergrundkonzentration von Sulfurylfluorid um 4 % pro Jahr (EMPA, 2018; EMPA, 2021; EMPA, 2023). Bis 2018 wurden regelmäßig auftretende Ereignisse von hohen Sulfurylfluorid-Konzentrationen im Spätfrühling bis Sommer sowie im Herbst beobachtet, die überwiegend auf Emissionen aus Deutschland, Italien und Spanien zurückgeführt wurden. In der Messperiode 2018 bis 2020 wurden erstmalig seit Beginn der Messungen am Jungfraujoch die Beneluxstaaten, Großbritannien und Norddeutschland als Hauptquellregion für Sulfurylfluorid-Emissionen identifiziert (EMPA, 2021). In diesen Zeitraum

fällt auch der Anstieg der dem BVL gemeldeten Absatzmengen des Pflanzenschutzmittels ProFume.

Seit 2023 wird die Sulfurylfluorid-Konzentration im Kontext des AGAGE-Netzwerks auch in Deutschland, an der Messstation Taunus gemessen. Die Messungen zeigen für Europa ebenfalls ansteigende Hintergrundkonzentrationen mit einzelnen Spitzenereignissen im Spätfrühling und Herbst 2024 (AGAGE, 2026b). Auswertungen und Modellierungen der Messdaten für Deutschland liegen jedoch noch nicht vor, so dass bisher keine Angaben der Sulfurylfluorid-Konzentrationen in der nationalen Troposphäre gemacht und auch keine Punktquellen im Land identifiziert werden können.

1.2.3 Volkswirtschaftliche Implikationen

Umweltbelastungen wie die Emission von Treibhausgasen verursachen hohe Kosten für die Gesellschaft, etwa in Form von umweltbedingten Gesundheits- und Materialschäden, Ernteausfällen oder Schäden an Ökosystemen. Diese Umweltkosten lassen sich durch entsprechende Modelle abschätzen. Im aktuellen Handbuch Umweltkosten – Methodenkonvention 4.0 (UBA, 2026) werden für die Emission einer Tonne CO_2-Äquivalente zwei Werte angegeben: Für Emissionen im Jahr 2026 ergeben sich bei einer Gleichgewichtung des Wohlergehens heutiger und künftiger Generationen (entspricht einer reinen Zeitpräferenzrate von 0 %) Schadenskosten in Höhe von 1000 €/t CO_2-Äq. Gewichtet man hingegen das Wohlergehen künftiger Generation deutlich geringer (reine Zeitpräferenzrate von 1 %), ergeben sich je Tonne CO_2-Äq. Schadenskosten in Höhe von 350 €. Während bei einer reinen Zeitpräferenzrate von 0 % die Schäden in 30 Jahren also genau so viel zählen wie heutige Schäden, schlagen diese bei einer reinen Zeitpräferenzrate von 1 % nur noch zu 74 % zu Buche, während Schäden in 60 Jahren nur noch zu 55 % einfließen. Die ermittelten Kostensätze beziehen sich auf global entstehende Schäden und berücksichtigen Effekte in den vom Klimawandel betroffenen Bereichen Landwirtschaft, Gesundheit (Hitzemortalität), Gebäudeenergieverbrauch und Meeresspiegelanstieg.

Bezogen auf die besonders hohen Emissionen im Spitzenjahr 2020 ergeben sich somit durch die Begasung mittels Sulfurylfluorid und einer Zeitpräferenzrate von 0 % verursachte globale Schäden zwischen 888 Mio. Euro und bis zu 2,67 Mrd. Euro, vornehmlich aus der Begasung von Rundholz.[2] Die große Spanne zwischen den beiden Extremwerten ist durch die Unsicherheit bzgl. der tatsächlichen Emissionsmenge zu begründen. Für eine Zeitpräferenzrate von 1 % ergeben sich entsprechend geringere Umweltkosten.

Im Vergleich zu den geschätzten Umweltkosten hat Deutschland im gleichen Jahr 12,7 Mio. m³ Rohholz (auch ohne Begasung) im Wert von 845 Mio. Euro exportiert (Destatis, 2021). Gleichzeitig exportiert Deutschland mit Rohholz einen weitestgehend unveredelten nachwachsenden Rohstoff, der regionalen Wertschöpfungsketten somit nicht mehr zur Verfügung steht. Eine Reduzierung der Rohholzexporte, insbesondere unter Einsatz von Sulfurylfluorid, wäre somit in mehrfacher Hinsicht sinnvoll (vgl. auch Kap. 3.3).

2 Berechnung basierend auf 205–617 t Sulfurylfluorid bzw. 0,95–2,86 Mt CO_2-Äq. und 935 €/t CO_2-Äq. Umweltkosten (0 % Zeitpräferenzrate) für Emissionen in 2020 (UBA, 2026). 2020 entstanden in Deutschland Gesamtemissionen in Höhe von 731 Mt CO_2-Äq. Sulfurylfluorid hat hieran (und gleichermaßen bei den resultierenden Umweltkosten) also einen Anteil von höchstens 2,86/731 = 0,39 %.

2 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Verwendung von Sulfurylfluorid unterliegt in Deutschland und der EU einer Reihe von rechtlichen Anforderungen, die sich über verschiedene Rechtsbereiche erstrecken. Diese sind in den folgenden Kapiteln übersichtsartig zusammengefasst.

2.1 Biozid- und Pflanzenschutzrecht

Die Nutzung von Sulfurylfluorid kann je nach Anwendungsfall unter das Biozid- oder Pflanzenschutzrecht fallen. Welcher Rechtsbereich relevant ist, wird vom konkreten Anwendungsziel bestimmt: Biozidprodukte werden zum Schutz der menschlichen und tierischen Gesundheit sowie für den Materialschutz eingesetzt. Als Pflanzenschutzmittel bezeichnet man hingegen alle Produkte, die zum Schutz von Pflanzen oder Pflanzenerzeugnissen sowie zur Behandlung sonstiger Gegenstände, die Träger bestimmter Schadorganismen für Pflanzen sind oder sein können, verwendet werden. Da die Begasung von für den Export bestimmten Stammhölzern in Containern das Ziel hat, die Einschleppung und Verschleppung von Schadorganismen zu verhindern, fallen solche Maßnahmen unabhängig vom behandelten Exportgut grundsätzlich unter das Pflanzenschutzrecht.

2.2.1 Biozidrecht

Das Zulassungsverfahren für Biozidprodukte ist in der EU für alle Mitgliedstaaten harmonisiert und erfolgt gemäß den in der EU-Biozidverordnung (EG) Nr. 528/2012 (Biozid-VO, 2012)) festgelegten Vorgaben. Im Rahmen des Wiedergenehmigungsverfahrens kam man in der EU zu dem Entschluss, dass die Genehmigung von Sulfurylfluorid als Wirkstoff zur Verwendung in den Produktarten „Holzschutzmittel“ (PT08) und „Insektizide, Akarizide und Produkte gegen andere Arthropoden“ (PT18) nicht erneuert wird (Durchführungsbeschluss (EU) 2024/2402, 2024). Entscheidend für diese Schlussfolgerung waren formal bestehende Datenlücken. Die Eigenschaften von Sulfurylfluorid als Treibhausgas wurden im Rahmen der Wirkstoffbewertung adressiert, für die Entscheidung zur Nicht-Genehmigung waren diese jedoch nicht relevant. Die Wirkstoffgenehmigung endete im Oktober 2024 und nach Ablauf geltender Übergangsfristen sind auch die regulären Zulassungen der Sulfurylfluorid enthaltenden Biozidprodukte Vikane als Holzschutzmittel und ProFume zur Verwendung als Insektizid zwischenzeitlich ausgelaufen.

Speziell zum Schutz des kulturellen Erbes kann die EU-Kommission jedoch einem Mitgliedstaat erlauben, auch ein Biozidprodukt mit einem nicht genehmigten Wirkstoff zuzulassen (siehe Artikel 55 Absatz 3 BPR). Diese Zulassung erfolgt für jeden einzelnen Mitgliedstaat auf nationaler Ebene. Die in Deutschland für die Zulassung von Biozidprodukten zuständige Bundesstelle für Chemikalien ist der Auffassung, dass die weitere Verwendung des Wirkstoffs Sulfurylfluorid in Deutschland zum Schutz des kulturellen Erbes unbedingt erforderlich ist, da in Deutschland keine geeigneten Alternativen zur Verfügung stehen. Daher wurde bei der EU-Kommission eine Ausnahmeregelung nach Artikel 55(3) der Biozidverordnung beantragt und genehmigt (Durchführungsbeschluss (EU) 2025/2302, 2025). Diese Ausnahmeregelung ermöglicht es neben Deutschland auch Österreich, Belgien, Frankreich, Niederlande und Schweden das Biozidprodukt Vikane zum Schutz des kulturellen Erbes weiterhin zuzulassen, insbesondere zum Schutz großer, nicht beweglicher Kulturgüter mit Bauteilen aus Holz.

Dabei sind aber ausschließlich Anwendungen zur Behandlung von Gebäuden von besonderem kulturellem Wert, wie z. B. Kirchen, Schlösser oder Burgen zulässig und die eingesetzten Mengen sind auf das notwendige Minimum zu reduzieren. Das zu begasende Gebäudevolumen kann z. B. durch den Einsatz von Ballons im Gebäudeinneren minimiert werden.

Aktuell gibt es für diese Anwendung keine Alternative zu der Behandlung mit Sulfurylfluorid, welches schnell wirkt, alle Entwicklungsstadien der Schadorganismen abtötet und materialschonend ist. Bekannte Alternativen scheitern an der fehlenden Zulassung für den Holzschutz. Zudem haben diese technischen Beschränkungen, wie beispielsweise lange Einwirkzeiten (z. B. Wochen bei der Stickstoff-Begasung), sowie Sicherheitsrisiken und mögliche Materialschädigungen (z. B. Phosphorwasserstoff: korrosiv und akut toxisch). Auch nicht-chemische Alternativen (z. B. Kälte, Hitze oder Mikrowellen) eignen sich derzeit nur beschränkt zum Schutz von großen Kulturgütern, da diese empfindlichen Materialien (z. B. Lacke oder Leimverbindungen) schädigen können und in vielen Fällen nicht für die Behandlung größerer Bauwerke anwendbar sind (UBA, 2020). Bei der Behandlung von kleinen, beweglichen Kulturgütern aus Holz, wie

z. B. Statuen, Mobiliar oder Bilderrahmen, können obige Alternativen teils effektiv eingesetzt werden. Hier sind z. B. spezielle Begasungskammern mit Stickstoff zu nennen, die in Museen verwendet werden.

2.2.2 Pflanzenschutzrecht

Die Behandlung von Exporthölzern mit dem insektiziden Wirkstoff Sulfurylfluorid erfolgt mit dem Ziel, die Einschleppung und Verschleppung von Schadorganismen zu verhindern und ist somit eine Pflanzenschutzmittelanwendung. Die Genehmigung des Wirkstoffes und der Produkte unterliegt damit den Regelungen für das europäische Genehmigungsverfahren für Pflanzenschutzmittelwirkstoffe und des nationalen Zulassungsverfahrens für Pflanzenschutzmittel. Die rechtliche Grundlage für die Zulassung eines Pflanzenschutzmittels in Deutschland ist die EU-Pflanzenschutzmittelverordnung (EG) Nr. 1107/2009 (PSM-VO, 2009) sowie das deutsche Pflanzenschutzgesetz (PflSchG, 2012). Für einen Wirkstoff ist dabei zu prüfen, dass bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, die den zu prüfenden Wirkstoff enthalten, keine schädlichen Effekte für die Gesundheit von Mensch und Tier, und keine unannehmbaren Auswirkungen auf die Umwelt auftreten. Ein Wirkstoff muss in der Regel 10 Jahre nach der ersten Genehmigung und anschließend alle 15 Jahre nach der Wiedergenehmigung neu bewertet werden. Nach Abschluss des Wiedergenehmigungsverfahrens müssen auch bestehende Zulassungen von Pflanzenschutzmitteln neu geprüft werden. Bei der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln muss für jede konkrete Anwendung, die sogenannten Indikationen, die Zulassungsfähigkeit einzeln geprüft werden. In einer solchen „Indikationszulassung“ sind Aufwandmenge, Schaderreger, Einsatzgebiet und Anwendungszeitraum genau festgelegt.

Aktuell ist das einzige in Deutschland zugelassene sulfurylfluoridhaltige Pflanzenschutzmittel das Mittel ProFume (derzeit bis zum 30.10.2026). Die nationale Zulassung umfasst Anwendungen im Vorratsschutz für Kakao, Schalenobst (ohne Walnuss) und Walnuss sowie in leeren Räumen, und zur Quarantänebehandlung von Exportwaren (Ausrüstung, Geräte, Werkzeugen und Fahrzeugen) und zur Begasung von Paletten-, Pack- und Stauholz zur Verschiffung (BVL, 2026a). Die Erweiterung der Zulassung des Pflanzenschutzmittels ProFume zur Containerbegasung von Rundholz (Laub- und Nadelholz) für den Export (Anwendungsnummer 025395-00/02-001) wurde zum 28. April 2026 widerrufen (BVL, 2026b). Anlass für den Widerruf der Zulassung war der Anstieg der zu behandelnden Rundholzmengen zur Verschiffung, sodass die Voraussetzungen für eine „geringfügige Verwendung“ (vgl. Artikel 51 der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009) nicht mehr erfüllt waren. Für diese Anwendung gilt eine Abverkaufsfrist von 6 Monaten und eine Aufbrauchfrist von 18 Monaten.

In den Niederlanden stellt die Pflanzengesundheitskontrollbehörde NVWA seit dem 01.01.2025 keine Pflanzengesundheitszeugnisse mehr für Rundholz aus, das mit Sulfurylfluorid begast wurde (NVWA, 2024). Der Pflanzenschutzmittel-Absatz von Sulfurylfluorid fiel schon im Jahr 2024 auf 0 Tonnen (möglicherweise weil Restbestände aufgebraucht wurden), ausgehend von einem Allzeithoch von 179 Tonnen im Jahr 2022 (Rijksoverheid Nederland, 2024).

Die Verordnung (EG) Nr. 283/2013 zur Festlegung der Datenanforderungen für Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe schreibt vor, welche Studien die antragstellende Firma einreichen muss. Dies umfasst für alle Stoffe auch Daten zur Halbwertszeit und zum Abbau in der oberen Atmosphäre. Auswirkungen auf das Treibhauspotential sind nur zu berücksichtigen, wenn der Wirkstoff in großen Mengen ausgebracht wird. Für eine Abschätzung des tatsächlichen Beitrages zur globalen Erwärmung sind jedoch zusätzlich Daten zu den Emissionsmengen erforderlich (EFSA, 2010). In der Durchführungsverordnung der europäischen Kommission (EU) 2017/270 (Durchführungsverordnung (EU) 2017/270, 2017) zur Genehmigung von Sulfurylfluorid als Pflanzenschutzmittelwirkstoff wurde die Notwendigkeit der Überwachung der Konzentrationen von Sulfurylfluorid in der Troposphäre festgehalten und die Übermittlung der Information alle fünf Jahre durch den Notifizierer an die Europäische Kommission, die Mitgliedstaaten und die Behörden gefordert. Wie sich die Konzentrationen von Sulfurylfluorid in der Atmosphäre verändert haben, zeigen die Monitoringergebnisse der kontinuierlichen globalen Atmosphärenmessungen des AGAGE-Netzwerkes (siehe Kapitel 1.2.2).

2.2 EU-Verordnung über fluorierte Treibhausgase

Sulfurylfluorid ist wegen seines hohen Treibhauspotentials in der am 11. März 2024 in Kraft getretenen Verordnung (EU) 2024/573 über fluorierte Treibhausgase (F-Gas-Verordnung, F-Gas-VO, 2024) als geregelter Stoff in Anhang II, Gruppe 3 aufgenommen worden.

Nach Artikel 4 dieser Verordnung gibt es eine generelle Verpflichtung zur Vermeidung von Emissionen von fluorierten Treibhausgasen (F-Gasen): die absichtliche Freisetzung von F-Gasen in die Atmosphäre ist verboten, sofern diese Freisetzung für die vorgesehene Verwendung nicht technisch notwendig ist. Ist eine absichtliche Freisetzung für die vorgesehene Verwendung technisch notwendig, so müssen die Betreiber von Einrichtungen, die fluorierte Treibhausgase enthalten, oder von Anlagen, in denen fluorierte Treibhausgase verwendet werden, alle technisch und wirtschaftlich durchführbaren Maßnahmen ergreifen, um deren Freisetzung in die Atmosphäre so weit wie möglich zu verhindern, einschließlich durch das Auffangen der freigesetzten Gase. Im Falle der Begasung mit Sulfurylfluorid müssen Betreiber die Maßnahmen zum Auffangen und Sammeln dokumentieren oder Gründe angeben, aus denen mögliche Maßnahmen zur Vermeidung von Emissionen technisch oder wirtschaftlich nicht durchführbar waren. Die Betreiber haben diese unterstützenden Nachweise mindestens fünf Jahre lang aufzubewahren und sie der zuständigen Behörde des betreffenden Mitgliedstaats oder der Kommission auf Verlangen zur Verfügung zu stellen.

Darüber hinaus gilt ab 1. Januar 2025 nach Artikel 12 der F-Gas-Verordnung eine Kennzeichnungspflicht für Behälter, die fluorierte Treibhausgase (u. a. Sulfurylfluorid) enthalten.

Artikel 26 schreibt Berichtspflichten für Unternehmen vor, die fluorierte Treibhausgase (u. a. Sulfurylfluorid) ab dem Kalenderjahr 2024 herstellen, importieren, exportieren, zerstören oder aufarbeiten. Bis zum 31. März 2025 und danach jedes Jahr muss jedes betroffene Unternehmen der Kommission die in Anhang IX der Verordnung genannten Angaben zum Stoff für das betreffende Kalenderjahr melden, sofern die Mengen mehr als eine metrische Tonne bzw. 100 Tonnen CO_2-Äquivalente betragen (F-Gas-VO, 2024).

2.3 Immissionsschutzrecht

In Deutschland sind Anlagen zur Begasung mittels Sulfurylfluorid unter bestimmten Bedingungen gemäß Nummer 10.22.1 des Anhang I der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV) immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftig. Somit ist für die Genehmigung dieser Anlagen die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft, 2021) anzuwenden. Diese Verwaltungsvorschrift legt dabei relevante bundeseinheitliche Anforderungen an genehmigungsbedürftige Anlagen zur Vermeidung und Verminderung der Emission von Luftschadstoffen fest.

Die TA Luft enthält, neben den allgemeinen Anforderungen, in der Nummer 5.4.10.22.1[3] spezielle bauliche und betriebliche Anforderungen bei der Verwendung von akut toxischen Begasungsmitteln für die Containerbegasung. Sie schreibt neben einem Mindestabstand von 100 m zu Orten, die nicht nur zum vorübergehenden Aufenthalt von Personen bestimmt sind, für die Genehmigung neuer Begasungsanlagen ab 1. Dezember 2021[4] u. a. den Einsatz einer „geeignete[n] stationäre[n] oder mobile[n] Abgasreinigungseinrichtung“ bei der Entgasung nach erfolgter Begasung mit bestimmten Begasungsmitteln wie Sulfurylfluorid aus der Containerabluft vor. Eine Abgasreinigung kann auch dann vorgeschrieben werden, wenn der erforderliche Mindestabstand von 100 m nicht eingehalten werden kann. Bei vor Inkrafttreten der TA Luft 2021 genehmigten Anlagen sind entsprechend der allgemeinen Sanierungsfrist der TA Luft solche Techniken bis zum 1. Dezember 2026 nachzurüsten. Zudem sind Leckagen aus geschlossenen Containern während der Begasung so weit wie möglich zu vermeiden.

In der Praxis kann die Abscheidung des Sulfurylfluorids aus der Containerabluft aktuell jedoch noch nicht als Genehmigungsauflage durch die Genehmigungsbehörden angeordnet werden, da derzeit keine geeigneten Abgasreinigungseinrichtungen auf dem Markt verfügbar sind. Daher wird die Verpflichtung zur Nutzung an die Marktverfügbarkeit geknüpft, die regelmäßig überprüft werden muss.

Einzelne Begasungsunternehmen und Hochschulen arbeiten aktuell an der Entwicklung einer marktreifen Abscheidetechnik für Sulfurylfluorid aus der Containerabluft (siehe auch Kap. 3.1.2).

3 Unterhalb der Nummer 5.4 „Anforderungen zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen“
4 Inkrafttreten der TA Luft 2021

3 Maßnahmen zur Vermeidung und Emissionsminderung von Sulfurylfluorid in der Rundholzbegasung

Infolge der in Deutschland seit 2018 stark gestiegenen Sulfurylfluorid-Emissionen (siehe Kap. 1.2.2) beschäftigt das Thema verstärkt auch Politik und Behörden, und es wird von allen Akteuren nach Maßnahmen zur Vermeidung und Emissionsminderung gesucht und Regulierungen angestrebt. In den letzten Jahren war der Einsatz von Sulfurylfluorid zur Begasung von Rundholz auch Gegenstand zweier Ministerkonferenzen. So wurden Sulfurylfluorid-Emissionen auf der Umweltministerkonferenz im November 2021 thematisiert. Im Ergebnis baten die Umweltministerinnen, -minister, -senatorinnen und der -senator der Länder den Bund u. a. darum, „sich im Zuge der Novellierung der europäischen F-Gase-Verordnung dafür einzusetzen, dass die Verwendung des F-Gases Sulfurylfluorid (SO_2F_2) auch in der F-Gase-Verordnung geregelt und seine Freisetzung über Vorgaben zum Umgang, Verwendungsverbote sowie eine Phase-Down-Regelung gemindert und zukünftig verhindert wird“ (UMK, 2021). In der Agrarministerkonferenz im September 2023 (AMK, 2023) baten die Ministerinnen, Minister, Senatorinnen und der Senator der Agrarressorts der Länder den Bund u. a. darum, „gegenüber der EU die Zulassung sowie die internationale Anerkennung der bereits bekannten Alternativen voranzutreiben“ und „die Erforschung, Anerkennung und Markteinführung unkritischer Alternativstoffe sowie -verfahren im Hinblick auf den Holzexport auch finanziell zu fördern“ (AMK, 2023). Trotz dieser Aktivitäten ist es bislang nicht gelungen, die Sulfurylfluorid-Emissionen aus der Rundholzbegasung signifikant zu senken.

Im Folgenden werden daher verschiedene Maßnahmen zur Vermeidung und Minderung von Sulfurylfluorid-Emissionen aus der Rundholzbegasung diskutiert.

3.1 Prozessbezogene Minderungsmaßnahmen

3.1.1 Reduzierung der Aufwandsmenge durch optimierte Behandlungsbedingungen

Behandlungstemperatur

Die Wirksamkeit von Sulfurylfluorid bei der Tilgung von Schadorganismen in Rundhölzern ist stark von der Umgebungstemperatur abhängig (Kümmritz & Kroos, 2025). Dies liegt zum einen an der Stoffwechselaktivität der zu tilgenden Insekten, die unterhalb von 5 °C beinahe zum Erliegen kommt und zum anderen an der hohen relativen Dichte des Gases (4,63 kg/m³) gegenüber Luft (1,29 kg/m³) bei gleichzeitig sinkender Diffusion mit abnehmender Temperatur, wodurch sich das Gas noch stärker in Bodennähe des Containers konzentriert und die weiter oben liegenden Stämme nicht mehr der erforderlichen Sulfurylfluorid-Konzentration ausgesetzt sind. Diesem Umstand trägt z. T. auch die Importbestimmung Chinas Rechenschaft, die für die Behandlung von Rundholz unterhalb von 10 °C eine um ca. 20 % höhere Anfangskonzentration von 104 g/m³ gegenüber der Behandlung oberhalb von 10 °C (80 g/m³) vorschreibt (China, 2001b).

Untersuchungen des Julius Kühn-Instituts (JKI) im Rahmen des KLIMAtiv-Projekts zur phytosanitären Behandlung von Rundholz mittels Sulfurylfluorid nach Vorgabe des Einfuhrlandes China in einer Versuchskammer sowie in Feldversuchen an Importcontainern belegen, dass sich unterhalb einer Container-Innentemperatur von 10 °C keine ausreichend homogene Konzentrationsverteilung von Sulfurylfluorid einstellt (Kümmritz & Kroos, 2025). So erreichte die Sulfurylfluorid-Konzentration einer Containerbegasung im Winter (Anfangskonzentration 104 g/m³) im oberen Bereich des Containers lediglich 50 g/m³ und damit nur knapp die Hälfte der von China vorgeschriebenen Konzentration. Wirksamkeitsstudien bei verschiedenen Behandlungstemperaturen führten darüber hinaus zu dem Ergebnis, dass die phytosanitäre Behandlung von Rundholz mit Sulfurylfluorid unter 10 °C keine zuverlässige Tilgung gewährleistet (Kümmritz & Kroos, 2025, Hoppe et al., 2025).

Basierend auf den Ergebnissen des KLIMAtiv-Projekts wurde eine Handlungsanweisung zur Behandlung von Rundholz mit Sulfurylfluorid-haltigen Pflanzenschutzmitteln aus Druckgaszylindern entwickelt, sodass die Behandlung zukünftig nur noch bei einer Container-Innentemperatur von mindestens 10 °C zu erfolgen hat (Deutscher Pflanzenschutzdienst, 2025). Die Temperatur und die Sulfurylfluorid-Konzentration sind an mehreren Positionen im Container zu messen. Bei Temperaturen zwischen 10 °C und 16 °C ist eine ausreichende Verteilung des Sulfurylfluorids zusätzlich durch eine Zwangsumwälzung der Containerluft (Ventilator) zu gewährleisten. Allerdings erlaubt die ergänzende Pilotphase zur Handlungsanweisung in der Wintersaison 2025/26 von der Handlungsanweisung abweichend weiterhin die Behandlung bei unter 10 °C mit der entsprechend höheren Anfangskonzentration von 104 g/m³ (Fehrle, 2025).

Genehmigungsbehörden könnten jedoch auf Grundlage der Erkenntnisse des KLIMAtiv-Projektes und der Handlungsanweisung des Deutschen Pflanzenschutzdienstes (2025) im Sinne der Nr. 5.1.3 der TA Luft eine Mindesttemperatur von 10 °C als emissionsmindernde Technik als Genehmigungsauflage festlegen, da durch diese integrierte Prozesstechnik die Sulfurylfluorid-Emissionen im Winter so um 20 % reduziert werden können.

Zusammenfassend führt die Rundholzbegasung mit Sulfurylfluorid unterhalb einer Temperatur von 10 °C also nicht nur zu um 20 % erhöhten Aufwandsmengen, sondern wirkt auch nicht verlässlich tilgend.

Containerdichtheit

Sulfurylfluorid-Verluste während der Begasung sind aus mehreren Gründen problematisch. Wenn Wirkstoff vorzeitig aus dem Container entweicht, sinkt die Sulfurylfluorid-Konzentration und eine vollständige Tilgung der Schadorganismen kann nicht mehr gewährleistet werden. Wenn Container nach der Behandlungsdauer eine zu niedrige Sulfurylfluorid-Konzentration aufweisen, wird ggf. eine erneute Behandlung erforderlich und somit steigt auch die Aufwandmenge. Außerdem können diese diffusen Sulfurylfluorid-Emissionen nicht durch eine entsprechende Abgasbehandlung gemindert werden.

Feldversuche des JKI zeigen z. T. erhebliche Sulfurylfluorid-Verluste durch Undichtigkeiten der Container während der Begasung (Kümmritz & Kroos, 2025). Als Maß für die Dichtheit wird die Half Loss Time (HLT)[5] herangezogen; diese lag bei einigen der beprobten Container bei unter 14 Stunden. Undichtigkeiten können im Türbereich, aber insbesondere auch am Containerboden, vor allem bei Holzbohlen-Böden, auftreten. Aber auch äußere Einflüsse wie Wind beeinflussen die HLT negativ.

Die neue Handlungsempfehlung trägt diesem Umstand Rechnung und schreibt u. a eine HLT > 20 h vor. Allerdings wird die Messung des Konzentrationsabfalls nur stichprobenartig gefordert und das Ergebnis ist erst nach der Behandlung bekannt, was im Falle einer zu niedrigen HLT zu Nachbehandlungen und somit zu weiteren Sulfurylfluorid-Emissionen führt. Als Alternative könnte ein verpflichtender Drucktest für alle Container vor der Begasung erfolgen oder die Begasung des Holzes grundsätzlich nicht in Containern sondern in Zelten oder designierten Begasungskammern durchgeführt werden. Hierzu sind jedoch zunächst weitere Feldversuche erforderlich, um eine Mindestdruckdifferenz für eine HLT > 20 h abzuleiten und Daten zu Gasverlusten aus Zelten oder Ähnlichem zu generieren.

3.1.2 Abgasreinigungsverfahren zur Abluftbehandlung Sulfurylfluorid-haltiger Containerabluft

Die aktuell gängige Praxis, nach erfolgter Begasung eines Containers dessen Türen zu öffnen, um das Sulfurylfluorid zu entfernen, führt zur nahezu vollständigen Emission der Aufwandsmenge in die Luft. Deshalb schreibt die TA Luft den Einsatz geeigneter stationärer oder mobiler Abgasreinigungseinrichtung bei der Entgasung von sulfurylfluoridhaltiger Containerabluft vor (siehe Kap. 2.3). Die Abscheidung von Sulfurylfluorid ist prinzipiell durch zwei Methoden möglich, die im Folgenden näher beschrieben werden. Beiden Methoden gemein ist, dass es sich um End-of-Pipe-Verfahren handelt, die eine ausreichende Dichtigkeit des Containers voraussetzen, damit das eingesetzte Sulfurylfluorid nicht bereits während der Behandlung emittiert und so auch nicht einer Abgasreinigung zugeführt werden kann (siehe Kap. 3.1.1).

5 Die HLT ist definiert als die Zeit in Stunden, in der 50 % der Startkonzentration bei Gasgleichverteilung des Begasungsmittels verloren gehen.

Abscheidung durch chemische Absorption (Hydrolyse)
Wie bereits in Kap. 1.1 beschrieben, ist Sulfurylfluorid hydrolyseempfindlich. Die Geschwindigkeit der Hydrolyse ist dabei stark pH-abhängig und verläuft deutlich schneller bei hohen pH-Werten. Sulfurylfluorid wird dabei durch Hydroxid-Ionen schrittweise zu Sulfat und Fluorid hydrolysiert (Gl. 1) (Cady & Misra, 1974).

$$SO_2F_2 + 4\,OH^- \rightarrow SO_4^{2-} + 2\,F^- + 2\,H_2O \qquad \text{(Gl. 1)}$$

Basierend auf dem Prinzip der Hydrolyse wurden verschiedene Gaswäscher entwickelt, die das Abgas aus der Containerbegasung durch eine stark alkalische wässrige Lösung führen. Die Firma Douglas untersuchte dabei gemeinsam mit der FDA[6] auch den Einfluss verschiedener Nucleophile, um die Hydrolyse des Sulfurylfluorids weiter zu beschleunigen. Im Ergebnis führte die Zugabe von Wasserstoffperoxid zu einer deutlichen Beschleunigung der Hydrolyse, sodass bei Flussraten von 280 Kubik-Fuß/min (umgerechnet 7,93 m^3/min) bereits nach drei Stunden 98,11 % des eingesetzten Sulfurylfluorids eines 20-Fuß-Containers entfernt wurden (Douglas, 2022). Die Firma Douglas teilte im Rahmen eines Vortrags 2022 vor Behördenvertretern jedoch mit, dass sie aktuell nicht an einer Kommerzialisierung des von ihnen entwickelten Gaswäschers interessiert sei.

Ein ähnliches Verfahren wurde durch die Hochschule Bremerhaven in Kooperation mit der HARACO Offshore GmbH entwickelt, wobei die Hydrolyse hier durch Einsatz von Kalkmilch ($Ca(OH)_2$) gewährleistet werden sollte. Durch die Ca^{2+}-Ionen sollte das entstehende Fluorid aus der Lösung gefällt und damit dem Gleichgewicht entzogen werden, um so die Hydrolyse zu beschleunigen (HS Bremerhaven, 2022). Eine Pilotierung der Anlage ist bis dato jedoch nicht erfolgt.

Allen auf basischer Hydrolyse basierenden Verfahren gemein ist der Anfall von stark basischen und ggf. Fluorid-haltigen Abwässern, die entsprechend fachgerecht entsorgt werden müssen.

Abscheidung durch physikalische Adsorption
Adsorptionsverfahren sind eine gängige Methode, Schadstoffe aus Abgasströmen zu entfernen, indem sie an ein festes oder flüssiges Adsorbens gebunden werden. Sie werden u. a bei der Dekontamination von mit gasförmigen Schadstoffen belasteten Überseecontainern eingesetzt; z. B. um Schadstoffe wie Phosphorwasserstoff sicher zu entfernen, um gesetzliche Anforderungen zu erfüllen (EWS-Group, 2026; TRGS 512, 2012).

Laborstudien der Technischen Universität Hamburg konnten zeigen, dass Sulfurylfluorid reversibel an bestimmte Aktivkohlen und Zeolithe adsorbiert werden kann (Pein & Smirnova, 2023). Die Kapazitäten der untersuchten Aktivkohlen und Zeolithe ist dabei vom jeweiligen Adsorbens abhängig (7 g kg^{-1} $mbar^{-1}$ für die beste getestete Aktivkohle ohne Luftfeuchtigkeit). Desorptionsversuche durch Temperaturerhöhung auf 90 °C zeigten außerdem die vollständige Desorption des Sulfurylfluorids für einige Aktivkohlen und Zeolithe. Somit bestünde bei diesem Verfahren prinzipiell die Möglichkeit, bereits eingesetztes und adsorbiertes Sulfurylfluorid für weitere Containerbegasungen zu recyceln und so nicht nur die Emissionen, sondern auch den Verbrauch an Sulfurylfluorid zu senken. Allerdings müsste das recycelte Sulfurylfluorid den rechtlichen Anforderungen, die sich aus der Zulassung von ProFume ergeben, entsprechen, sodass hier zunächst weitere Untersuchungen u. a bzgl. der Reinheit des zurückgewonnenen Sulfurylfluorids erforderlich sind.

Die Technische Universität Hamburg erarbeitet zurzeit gemeinsam mit einem Anlagenbauer und einem Begasungsunternehmen eine Pilotanlage für die Abscheidung und das Recycling von Sulfurylfluorid mittels Adsorption aus der Containerabluft. Die Laufzeit des Projekts endet voraussichtlich Ende 2027 (DBU, 2026).

3.2 Alternative Behandlungsmethoden

Grundsätzlich stehen zur phytosanitären Behandlung von Rundholz verschiedene alternative chemische Verfahren sowie eine Reihe nicht-chemischer Behandlungsmethoden zur Verfügung. Für den internationalen Holzhandel werden von den Einfuhrländern meist phytosanitäre Zeugnisse bzw.

6 US Food and Drug Administration

Pflanzengesundheitszeugnisse (vgl. § 17 der Pflanzenbeschauverordnung (2023)) über die erfolgte Schädlingsbehandlung des Holzes gefordert (siehe auch Kap. 1.1.2). Die Notwendigkeit und Wahl von Behandlungsverfahren im Heimathafen ist so zum einen abhängig von den Anforderungen des Einfuhrlandes, zum anderen von der Zulassung der Verfahren und möglicherweise benötigten Pflanzenschutzmitteln in Deutschland. Nicht alle Alternativen kommen aktuell in der Praxis zum Einsatz und nur einige von ihnen sind in den klassischen Einfuhrländern akzeptierte Verfahren zur Behandlung von Exporthölzern.

Nach Auskunft des Landesbetriebs Wald und Holz NRW sowie gemäß der Außenhandelsstatistik sind die wichtigsten Importländer für deutsches Rundholz: China, Indien und Vietnam (Landesbetrieb Wald und Holz NRW, 2020; Destatis, 2026). Neben diesen drei Staaten werden im Rahmen dieses Kapitels auch die Importbestimmungen von Australien und Neuseeland genauer betrachtet. Die akzeptierten Verfahren für diese fünf ausgewählten Importländer sind in Tabelle 5 dargestellt. Die Informationen geben den Stand der Recherche vom November 2025 wieder.

Tabelle 5

Akzeptanz von verschiedenen phytosanitären Verfahren für ausgewählte Importländer (Stand: November 2025)

Verfahren	Importland				
im Bereich Holzhandel	Australien[a]	China[b]	Indien[c]	Neuseeland[d]	Vietnam[e]
Verzicht auf alle Verfahren im Exportland			x		
lediglich Inspektion					x
Insektizidbehandlung im Importland				(x)	
Begasung mit …					
▸ Methylbromid*	x	x	x	x	x
▸ Sulfurylfluorid	x	x		x	
▸ Ethylenoxid	x				
▸ Ethandinitril	x			x	
▸ Phosphorwasserstoff		x		(x)	
Anwendung von Deltamethrin		x			
Hitzebehandlung	x	x		x	
Einfrieren				(x)	
Gammastrahlung	x				
Wässerung		x			
weitere Verfahren		x			

x ja; (x): bedingt ja
* Die Verwendung des ozonschichtschädigenden Stoffes Methylbromid ist weltweit stark durch das Montrealer Protokoll begrenzt und ist in vielen Ländern, u. a. in Europa, verboten. Details in Kapitel 3.4.1.

Quellen für die einzelnen Länder:
a Australian Government, 2025a; Australian Government, 2025b. Übersicht: JKI, 2025a
b China, 2001a; China, 2001b. Übersicht: JKI, 2025b; Erläuterungen in:
Landesbetrieb Wald und Holz NRW, 2020
Phosphorwasserstoff, Deltamethrin: belegt durch Pflanzengesundheitszeugnisse aus dem Nicht-EU-Land Serbien
c Übersicht: JKI, 2025c
d Hallett, 2025; New Zealand, 2004; Übersicht: JKI, 2025d
e Übersicht: JKI, 2025e

Die Wirksamkeit zugelassener sowie einiger alternativer und klimaneutraler Pflanzenschutzmaßnahmen für den Rundholzexport, insbesondere nach China, wurde im Forschungsvorhaben „KLIMAtiv“ untersucht. Das im Rahmen des Klimaschutz-Sofortprogramms 2022 vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft finanzierte und vom JKI und Thünen-Institut durchgeführte Projekt endete Ende 2025 (JKI, 2022 und Hoppe et al., 2025). Eine Fortführung mit Fokus auf alternative Verfahren ist geplant.

3.2.1 Alternative chemische Verfahren

Ausgehend von den in den Importländern akzeptierten Behandlungsverfahren zur phytosanitären Behandlung von Rundholz ist eine Behandlung mit den in Tabelle 6 aufgeführten Wirkstoffen potentiell mögt lich. Die physikalisch-chemischen, toxikologischen und ökotoxikologischen Eigenschaften, Angaben zum sicheren Umgang sowie weitere relevante Informationen zu diesen Wirkstoffen finden sich in der GESTIS Stoffdatenbank des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (GESTIS).

Tabelle 6

Potentielle Pflanzenschutzwirkstoffe zur phytosanitären Behandlung von Rundholz

Wirkstoff	Alternativname	Formel	CAS-Nr.	GWP_{100}	ODP	Genehmigungsstatus nach (EG) Nr. 1107/2009[a]
Methylbromid[b]	Brommethan	CH_3Br	74-83-9	2,43	0,7	Keine Wirkstoffgenehmigung in EU
Sulfurylfluorid	Sulfuryldifluorid	SO_2F_2	2699-79-8	4.630	–	Wirkstoffgenehmigung in EU, Produktzulassung zur Rundholzbegasung in D bis 28.04.2026 (s. Kapitel 2.1.2 und BVL, 2026b)
Ethylenoxid	1,2-Epoxyethan	C_2H_4O	75-21-8	–	–	Keine Wirkstoffgenehmigung in EU
Phosphorwasserstoff	(Mono)Phosphan	PH_3	7803-51-2	–	–	Wirkstoffgenehmigung in EU
Ethandinitril (EDN)	Oxalsäuredinitril, Dicyan	C_2N_2	460-19-5	–	–	Keine Wirkstoffgenehmigung in EU
Deltamethrin	alpha-Cyano-m-phenoxybenzyl (1R,3R)-3-(2,2-dibromvinyl)-2,2-dimethyl-cyclopropan-1-carboxylat	$C_{22}H_{19}Br_2NO_3$	52918-63-5	–	–	Wirkstoffgenehmigung in EU

Treibhauspotential (GWP_{100}) aus Forster et al. (2021), Supplementary Material, Chapter 7 SM, Table 7.SM.7, page 21.
Ozonschichtschädigendes Potential (ODP) aus UNEP (2020).
a: Zulassungsstatus als Pflanzenschutzmittel in der EU laut Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 (PSM-VO, 2009).
b: Verwendung in Deutschland nicht erlaubt wegen der Verbotsregelungen gemäß europäischen und nationalen Regelungen (Ozon-VO, 2024 und Chemikalien-Ozonschichtverordnung, 2026).

Quelle: Darstellung nach Hoppe et al. (2025).

Methylbromid

Wegen seines großen ozonschichtschädigenden Potentials (ODP 0,7) wurde für Brommethan (Methylbromid) 1997 im Rahmen des Montrealer Protokolls ein weltweiter, schrittweiser Ausstieg beschlossen. In UNEP (2020) sind die Ausstiegsregeln für die Verwendung von Methylbromid beschrieben. Die Nutzung von Methylbromid ist für alle Vertragsstaaten ab 2015 verboten (Montrealer Protokoll, 1997, Artikel 2H). Es gibt aber eine Ausnahme: Die Mengen, die von einer Vertragspartei für Quarantänezwecke und zur Behandlung vor dem Transport verwendet werden, dürfen zumindest nach dem Montrealer Protokoll weiterhin produziert und verwendet werden. Die phytosanitäre Behandlung von Rundholz fällt grundsätzlich unter diese Ausnahmeregelung.

In der EU ist der Einsatz von Methylbromid seit 2010 auch für Quarantänezwecke und zur Behandlung vor dem Transport vollständig verboten. Das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) hat die Verwendung von Brommethan als Begasungsmittel in Deutschland mit Wirkung ab 1. September 2006 untersagt. Nach der geltenden Verordnung (EU) 2024/590 darf Methylbromid in Europa heute nur noch in absoluten Notfällen auf Antrag bei der Europäischen Kommission produziert, in den Verkehr gebracht und verwendet werden (Ozon-VO, 2024).

Ethylenoxid

Ethylenoxid wird von der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) als wahrscheinlich kanzerogen (kanzerogen Kategorie 1b)[7], mutagen (mutagen Kategorie 1b)[8] und reproduktionstoxisch (reproduktionstoxisch Kategorie 1b)[9] eingestuft (ECHA, 2026). Wirkstoffe mit diesen Eigenschaften sind in der europäischen Pflanzenschutzmittelverordnung (EG) Nr. 1107/2009 (PSM-VO, 2009) von einer Genehmigung als Pflanzenschutzmittelwirkstoff ausgeschlossen. Ausnahmen sind nur möglich, wenn die „Exposition von Menschen gegenüber diesem Wirkstoff [...] unter realistisch anzunehmenden Verwendungsbedingungen vernachlässigbar ist, d. h. das Mittel wird in geschlossenen Systemen verwendet oder unter anderen Bedingungen, bei denen der Kontakt mit Menschen ausgeschlossen ist [...]“. Diese Ausnahme würde aber bei der Begasung von Überseecontainern aufgrund ihrer Undichtigkeit nicht zutreffen. Eine Ausnahme wäre weiterhin möglich, wenn der Stoff „zur Bekämpfung einer ernsten, nicht durch andere verfügbare Mittel [...] abzuwehrenden Gefahr für die Pflanzengesundheit notwendig ist“. Auch hier kann davon ausgegangen werden, dass das Kriterium bei einem Einsatz zur phytosanitären Behandlung nicht erfüllt wäre.

Phosphorwasserstoff (Phosphan)

Phosphorwasserstoff (Phosphan) hat kein Ozonabbaupotential und kein direktes Treibhauspotential, es gibt aber Hinweise auf einen indirekten Treibhauseffekt (Ma et al., 2019). Phosphan besitzt eine Wirkstoffgenehmigung in der Europäischen Union als Pflanzenschutzmittel-Wirkstoff. Anders als in anderen EU-Mitgliedsstaaten (Frankreich, Estland und Litauen) besteht in Deutschland keine Zulassung für die Holzbehandlung (BVL, 2026a). PH_3 wirkt korrosiv auf Kupfer, Silber und Gold und schädigt Farbpigmente, wodurch der Anwendungsbereich im Vergleich zu Sulfurylfluorid eingeschränkt ist. Die Freisetzung von Phosphan erfolgt in der Praxis aus dem Feststoff Magnesiumphosphid. Der Wirkstoff ist selbstentzündlich, und das Gas-Luft-Gemisch ist explosionsfähig. Phosphan wird an Holz absorbiert, was u. a. Auswirkungen auf den sicheren Umgang mit dem behandelten Holz hat (Hoppe et al., 2025). Phosphorwasserstoff ist hochgiftig und wirksam gegen Holzschädlinge, allerdings nur bei entsprechend langer Behandlungsdauer: je nach PH_3-Präparat und Art des Begasungsobjektes beträgt diese drei bis zehn Tage (Drucksache 22/164, 2020). Im Rahmen des KLIMAtiv-Projektes wurden im Hamburger Hafen Rundholzbegasungen mit Phosphorwasserstoff unter Realpraxisbedingungen durchgeführt. Um die Wirksamkeit zu untersuchen, wurden Containerversuche unter definierten Bedingungen der wichtigsten Einflussfaktoren Temperatur, Containerdichtigkeit, Aufwandmenge, Gasverteilung, Wetter- und Windbedingungen unternommen. Im Ergebnis kann eine biologische Wirksamkeit gegen Eistadien bei einer Einwirkzeit von 3 Tagen und einer Konzentration von 3 bis 5 g PH_3/m^3 erreicht werden (Hoppe et al., 2025).

7 Kann beim Menschen Krebs erzeugen.
8 Kann vererbbare Mutationen an menschlichen Keimzellen auslösen.
9 Kann die Fortpflanzungsfähigkeit und die Entwicklung des ungeborenen Kindes schädigen.

Ethandinitril (EDN)

Ethandinitril (EDN) ist nicht klima- oder ozonschichtschädigend und wird derzeit aufgrund der sehr kurzen Behandlungsdauer auf internationaler Ebene als effektivstes Verfahren zum Ersatz für Sulfurylfluorid angesehen. EDN soll das in einigen Ländern noch in Anwendung befindliche ozonschichtschädigende Methylbromid ersetzen (Drucksache 22/164, 2020). Der relativ neue, insektizide, gasförmige Wirkstoff EDN (Intreso Group, 2026) hat Genehmigungen in Australien, Malaysia, Neuseeland, Russland und Südkorea bekommen (New Zealand, 2022). Allerdings liegt keine Wirkstoffgenehmigung in der EU vor, und es kann nicht beurteilt werden, ob der Wirkstoff die in der EU und national geltenden Anforderungen hinsichtlich Wirksamkeit und der Risken für Mensch, Umwelt und Naturhaushalt erfüllt. Die Wirksamkeit von EDN wird in Ramadan et al. (2020) beschrieben: unter Laborbedingungen stellt EDN eine vielversprechende Alternative dar, auch gegen im Allgemeinen gegenüber den meisten gängigen Begasungsmitteln resistente Eier. EDN durchdringt das Holz gut, auch bei hohem Feuchtegehalt, und ist auch bei niedrigen Temperaturen wirksam. Bei der Lüftung, Abluftfilterung und dem Umgang mit dem mit EDN behandelten Holz muss berücksichtigt werden, dass EDN an Holz absorbiert (Hoppe et al., 2025). Hinsichtlich der Risiken für die Umwelt und den Naturhaushalt wird EDN von der ECHA als sehr giftig für Gewässerorgansimen eingestuft (ECHA, 2026).

Deltamethrin

Deltamethrin gehört zu den Pyrethroiden und ist seit 2003 in der EU als Pflanzenschutzmittelwirkstoff genehmigt (EU Pesticides database, 2026). In Deutschland sind Deltamethrin-haltige Pflanzenschutzmittel im Ackerbau und im Vorratsschutz zugelassen. Eine Zulassung zur Behandlung von Rundholz gibt es jedoch nicht (BVL, 2026b). Seit der Genehmigung als Pflanzenschutzmittelwirkstoff 2003 wurde kein Wiedergenehmigungsverfahren für Deltamethrin als Pflanzenschutzmittelwirkstoff abgeschlossen (Kroll et al., 2026).

Neuere Studien zeigen, dass die Gruppe der Pyrethroide im Vergleich zu anderen in der EU genehmigten insektiziden Wirkstoffen eine extrem hohe Ökotoxizität insbesondere gegenüber Gewässerorganismen aufweisen (Hillebrand et al., 2024). 2026 wurde Deltamethrin in die Liste der prioritären Stoffe für Oberflächengewässer aufgenommen und muss zukünftig im Umweltmonitoring überwacht werden (Richtlinie (EU) 2026/805, 2026). Ausgehend von seinem extrem hohen Gefährdungspotential für Gewässerorganismen wurden für den Wirkstoff Deltamethrin Umweltqualitätsnormen im Bereich von einigen Pikogramm pro Liter festgesetzt. Bei Überschreitungen der Umweltqualitätsnorm sind zukünftig Maßnahmen zur Reduzierung einzuleiten. Die festgesetzten Umweltqualitätsnormen für Oberflächengewässer sind um Größenordnungen niedriger als die der meisten anderen derzeit überwachten Stoffe (Hitzfeld, 2025) und unterstreichen das hohe Gefährdungspotential für Gewässerorganismen durch Deltamethrin.

3.2.2 Alternative nicht-chemische Behandlungsmethoden

Neben den aufgeführten chemischen Verfahren (siehe Kapitel 3.2.1) gibt es eine Reihe von alternativen nicht-chemischen Behandlungsmethoden zur phytosanitären Behandlung von Rundholz, die in Tabelle 7 dargestellt sind. Im Gegensatz zu den chemischen Verfahren ist für die aufgeführten nicht-chemischen Behandlungsmethoden keine Zulassung nach Pflanzenschutzmittelrecht notwendig. Für die Ausstellung der von den Importländern geforderten Pflanzengesundheitszeugnisse ist jedoch eine Anerkennung der Verfahren durch die zuständigen Behörden erforderlich.

Tabelle 7

Alternative nicht-chemische Behandlungsmethoden zur phytosanitären Behandlung von Rundholz

Methode	Status	Anmerkungen
Entrindung	Bekanntes/anerkanntes Verfahren	nur geeignet für rindenbrütende Schaderreger; Machbarkeit abhängig von Rindenbeschaffenheit
Hitzebehandlung	Bekanntes/anerkanntes Verfahren	Wärmebehandlung durch Dampf, Heißwasser, Austrocknung oder Mikrowelle; mittlere Einwirkzeit (mind. 30 Minuten); hoher Energieaufwand
Unterwasser-behandlung	Bekanntes/anerkanntes Verfahren	lange Einwirkzeit (mind. 90 Tage)
Sauerstoffarme Atmosphäre durch CO_2 und N_2	CO_2: Wirkstoffgenehmigung in EU N_2: keine Wirkstoffgenehmigung in EU	dichte Begasungscontainer erforderlich; lange Einwirkzeit bei Normaldruck (über 28 Tage)

Quelle: Darstellung nach Hoppe et al. (2025).

Entrindung

Grundsätzlich kann Stammholz in stationären oder mobilen Einrichtungen entrindet werden. Dabei ist zu beachten, dass nur rindenbrütende Schaderreger entfernt werden können und die Rindenbeschaffenheit eine große Rolle spielt.

In den USA ist es üblich, das Stammholz „lose“ in die Häfen zu transportieren und dort in stationären Großanlagen zu entrinden, bevor die Verladung in Container erfolgt. Für einen großflächigen Einsatz von stationären Entrindungsanlagen in Deutschland müssten z. B. in den Exporthäfen Entrindungsanlagen mit ausreichenden Kapazitäten errichtet und die Transportlogistik des Holzes umgestellt werden. Entsprechende Entrindungsanlagen verschiedener Firmen sind marktverfügbar.

Auch die Nutzung mobiler Entrindungsmaschinen ist möglich, und es gibt inzwischen eine Reihe von Anbietern mobiler Entrindungsmaschinen. Die Entrindung von Stämmen kann sogar mittels Anbaugeräten an den Erntemaschinen (Harvestern) direkt ohne weitere Arbeitsschritte erfolgen. Nachteile der mobilen Einrichtungen sind die hohen Kosten (ca. 2 Millionen Euro Anschaffungskosten für eine Maschine) und bei Harvestern der kostenintensive Einsatz und die eingeschränkten Einsatzbereiche.

Entrindungsmaschinen konnten sich bisher noch nicht auf dem deutschen Markt durchsetzen. Der Vorteil der Entrindung ist, dass bei der (in der Praxis teilweise schwierigen) vollständigen Entrindung des Stammholzes weitere Behandlungsauflagen für den Holzexport entfallen können (Drucksache 22/164, 2020).

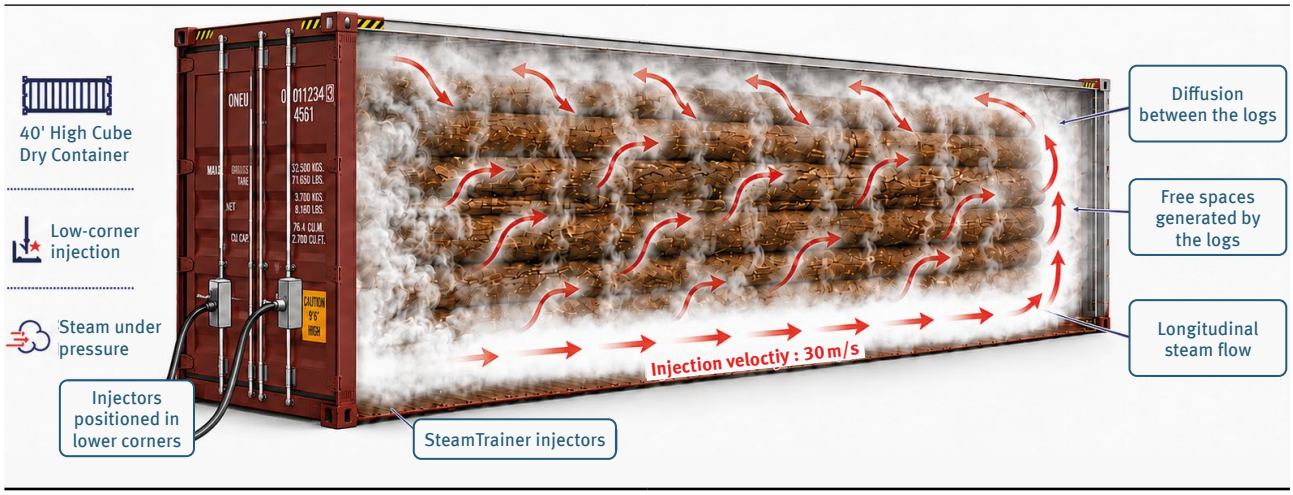
Hitzebehandlung und Heißdampf

Bei der Hitzebehandlung wird das Holz für eine festgelegte Zeit (z. B. eine Stunde) auf Temperaturen über 42 °C (in der Regel um 56–60 °C) erhitzt, um Schädlinge durch Gerinnung des Eiweißes abzutöten. Bei einer Temperatur über 56 °C über einen Zeitraum von über 30 Minuten kann nach ISPM 15 (International Standard for Phytosanitary Measures No. 15, internationaler Standard für Pflanzengesundheitliche Maßnahmen für Holzverpackungen im internationalen Warenverkehr) von einer letalen Dosis für holzzerstörende Insekten ausgegangen werden. Einschränkend sollte erwähnt werden, dass dieser Standard für Verpackungs- und Palettenholz mit kleinen Holzdurchmessern entwickelt wurde. Das zu behandelnde Holz ist zudem entrindet.

Die Hitze kann durch den Einsatz von trockener Heißluft erzeugt werden. Hier bietet sich der Einsatz von Vakuumtrocknern an. Möglich ist auch eine Dampfbehandlung, bei der Wasserdampf bei kontrollierter Temperatur und Dauer zum Einsatz kommt. Die sehr

Abbildung 3

Schematische Darstellung der Heißdampfbehandlung im SteamTainer®-Verfahren



Quelle: Rentokil Initial

effektive Vakuum-Dampf-Sterilisation, ein Heißwasserdampf-Unterdruck-Verfahren, wurde in den USA entwickelt, ist dort aber nur für sehr hochwertiges Rundholz im Einsatz.

Jüngst entwickelte die Firma Rentokil ein auf Heißdampf basiertes Verfahren zur phytosanitären Behandlung von Rundholz unter dem Namen SteamTainer® (Vaquer, 2023), welches bereits in Frankreich zum Einsatz kommt. Das SteamTainer® System umfasst neben der eigentlichen phytosanitären Behandlung auch die gesamte Peripherie des Prozesses, wie z. B. die Inspektion des zu behandelnden Holzes, die Bereitstellung von Dampf, ein Temperaturmonitoring sowie Dokumentation. Die Behörden in Frankreich zertifizieren die Anwendung mit entsprechenden Pflanzengesundheitszeugnissen, und es wurden bis Mitte des Jahres 2026 bereits 230 Container einer Behandlung mit dem SteamTainer® System unterzogen. Im Verfahren wird trockener Dampf oder Heißdampf mit speziellen Düsen in den Container injiziert, was zu einer sehr schnellen Erwärmung der Holzstämme führt (Abbildung 3). Je nach Behandlungsprotokoll können so 56 °C über 30 Minuten in tieferen Holzschichten und 71,1 °C für 75 Minuten unter der Rinde bei Behandlungszeiten zwischen drei und fünf Stunden erreicht werden. Die Behandlungsdauer beträgt laut Rentokil im Durchschnitt zwei Stunden und 45 Minuten, und es können bis zu acht Container gleichzeitig behandelt werden. Pro Container werden dabei 77 Liter Diesel verbraucht. Dies entspricht THG-Emissionen in Höhe von 240 kg im Gegensatz zu 25.000 kg beim Einsatz von 5,4 kg Sulfurylfluorid. Laut Angaben von Rentokil ist das Verfahren sowohl für berindetes Rundholz als auch für Sägeholz anwendbar und führt nicht zu Holzverfärbungen. Die Dampferzeugung erfolgt mittels eines dieselbeheizten Kessels, perspektivisch könnte Dampf jedoch auch durch Wärmeauskopplung oder elektrisch beheizte Kessel erfolgen. Die Energiekosten sind im Vergleich zur Heißluftbehandlung geringer (Drucksache 22/164, 2020). Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung ist der Einsatz des neuen Heißdampf-Verfahrens in Deutschland jedoch noch nicht implementiert.

Bei der Heißwasserbehandlung wird das Holz in warmem Wasser getränkt, um Schädlinge abzutöten. Auch der Einsatz von Mikrowellen ist eine Möglichkeit zur Wärmeerzeugung (Drucksache 21/19518, 2020). Dieses Verfahren basiert auf elektromagnetischer Strahlung, wodurch Wassermoleküle in Bewegung geraten und ihre Energie in Reibung und Wärme umsetzen und die zu behandelnden Güter von innen heraus durchwärmen.

Die Hitzebehandlung ist ein sehr effektives Verfahren bei Schnittholz. Sämtliches nach China exportiertes Schnittholz wird wärmebehandelt (Drucksache 21/19518, 2020). Aufgrund der größeren Dimensionen und des hohen Wassergehaltes von frisch geschlagenem Holz ist die Hitzebehandlung bei Stammholz aufwendiger.

Eine sinnvolle Hitzebehandlung von Stammholz sollte in Hitzekammern mit entsprechendem Raumvolumen durchgeführt werden; wegen der hohen Wärmeabstrahlung und des damit verbundenen erhöhten Energieaufwandes möglichst in isolierten Kammern. Zur Erfüllung der chinesischen Anforderungen müssen die Holzstämme zudem für mindestens 75 Minuten in ihrem gesamten Querschnitt auf 71,1 °C erhitzt werden, wofür bei klassischen Heißluftbehandlungen ein erheblicher Energieaufwand erforderlich ist (Drucksache 22/164, 2020).

Zur Wärmebehandlung heißt es in einem Artikel von Benthien et al. (2024) für die 32. Deutsche Holzschutztagung: „Sobald belastbare Daten zum Energiebedarf der Wärmebehandlung vorliegen, kann auch eine belastbare Bewertung aus Treibhausgas-Emissionssicht erfolgen. Naheliegend ist jedoch, dass die Wärmebehandlung im Effekt ein geringeres Erwärmungspotenzial als die SF-Begasung hat. Schließlich müsste die emittierte Menge an CO_2 für die Aufheizung des Holzes in einem Container lediglich unter der 4090fachen[10] Menge an SF bleiben, die für eine Containerbegasung nötig ist. Veranschlagt man für einen 40-Fuß-Container ein Volumen von 68 m^3 und eine SF-Menge von 80 g/m^3, so ergäbe dies 22.250 kg CO_2, die für die Wärmebehandlung emittiert werden könnten, ohne dass eine schlechtere Bilanz vorläge."

Für die ISPM 15-konforme Hitzebehandlung von 33 m^3 nicht vorgetrocknetem Fichtenrundholz in einem 40-Fuß-Container[11] kann ein Energieverbrauch von 2.154,7 kWh errechnet werden. Die Erfüllung der chinesischen Anforderungen (75 Minuten, 71,1 °C), also eine 2,5-fache Behandlungsdauer und eine 15 Grad Celsius höhere Temperatur über dem ISPM 15-Standard, erhöht den Energieverbrauch auf circa 6.700 kWh. Bei einem Verbrauch von 468 g CO_2 pro Kilowattstunde (deutscher Strommix) würden bei der Hitzebehandlung von 33 m^3 Fichtenrundholz etwa 3.136 kg CO_2 entstehen (Drucksache 22/164, 2020).

Neben den Anforderungen an die Beschaffenheit und das Raumvolumen der Hitzekammern haben die Dimensionierung der Holzstämme und der hohe Wassergehalt der Stämme ebenfalls einen Einfluss auf den Energieverbrauch. Ziel muss eine optimale Wärmeverteilung in der Hitzekammer sein, damit es zu einer schnellen und gleichmäßigen Aufheizung der einzelnen Stämme kommen kann. Dafür sollten die Holzstämme nicht dicht aufeinandergestapelt, sondern mit Distanzhölzern versehen in der Hitzekammer liegen. Durch den Einsatz von Vakuumtrocknern kann sich eine deutliche Absenkung der Energiekosten ergeben. Damit sich die Hitzebehandlung als Alternative zur Begasung mir Sulfurylfluorid auf dem Markt durchsetzen kann, müssten die Holzexporteure dazu bereit sein, in den Neubau einer größeren Anzahl von Vakuumtrocknern zu investieren, die speziell auf die Anforderungen zur Rundholzbehandlung ausgelegt sind (Drucksache 22/164, 2020).

In Deutschland gibt es mehrere Firmen, die für die Hitzebehandlung zugelassen sind und die Wärmebehandlung von Containern in stationärer Form auf ihren Firmengeländen oder in mobiler Form bei Kunden vor Ort anbieten (Drucksache 21/20089, 2020).

Unterwasserbehandlung

Die Unterwasserbehandlung von Holz wurde in Deutschland aufgrund der von China vorgegebenen Behandlungsdauer von mindestens 90 Tagen bisher nur selten praktiziert. Der logistische Aufwand ist hoch und die Methode ist nur anwendbar bei ausreichender Verfügbarkeit von infrage kommenden natürlichen oder auch künstlichen Gewässern (Drucksache 22/164, 2020).

Im Rahmen des KLIMAtiv-Projektes wurden Versuche zur Wasserlagerung von Fichten- und Eichenstämmen durchgeführt und die Wirksamkeit in Abhängigkeit von der Behandlungsdauer und dem Material untersucht. Im Ergebnis zeigte sich, dass bei Fichtenstämmen nach 30 bis 90 Tagen 98–99 % der Insekten abgetötet waren, bei Eichenstämmen im gleichen Zeitraum 96–100 %. Eine Herausforderung bei Fichtenstämmen stellte die Tatsache dar, dass die Holzstämme schwimmen und für eine wirksame Behandlung unter Wasser gedrückt und fixiert werden müssen (Hoppe et al., 2025). Weiterhin könnte bei dieser Methode Abwasser anfallen.

10 Der Wert 4.090 entspricht dem GWP_{100}-Wert von Sulfurylfluorid gemäß dem fünften Sachstandsbericht des Weltklimarats IPCC (Stocker et al., 2013). Entsprechend der Handlungsanweisung des deutschen Pflanzenschutzdienstes (2025) sind 5,4 kg Sulfurylfluorid für einen 40-Fuß-Container einzusetzen.

11 33 m^3 entspricht dem durchschnittlich enthaltenen Volumen eines 40-Fuß-Containers.

Sauerstoffarme Atmosphäre durch CO_2 und N_2
Durch die Lagerung von Stammholz in sauerstoffarmer Atmosphäre durch Kohlendioxid (CO_2) bzw. Stickstoff (N_2) können Organismen in Abhängigkeit von der Expositionszeit abgetötet werden. Der Restsauerstoffanteil sollte dabei unter 1 % liegen. In der EU liegt eine Wirkstoffgenehmigung für CO_2 vor (Hoppe et al., 2025), für N_2 als Pflanzenschutzmittel für die Behandlung von Stammholz liegt keine Zulassung vor (Drucksache 21/19518, 2020).

Beim Einsatz einer PEX-Anlage (Pressure Expansion), werden die zu behandelnden Güter unter Zusatz von CO_2 über zwei bis vier Stunden einem hohen Druck von bis zu 30 bar ausgesetzt. Sämtliche Vorratsschädlinge sowie deren Larven und Eier werden durch das plötzliche Ablassen des Drucks getötet. Dieses Verfahren ist derzeit nur für Vorratsprodukte in der Verwendung. Die Anwendung für Stammholz ist möglich, wenn entsprechend große Anlagen erbaut werden und die Wirksamkeitsdaten dieser Behandlungsalternative an die Empfangsländer von Stammholz übermittelt wird (Drucksache 21/19518, 2020).

Die Wirksamkeit beider Inertgase wurde im Rahmen des KLIMAtiv-Projektes untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass bei einer Lagerung von 28 Tagen eine deutliche Reduktion der Käferzahl erfolgte, jedoch keine vollständige Tilgung der Schadorganismen. Eine Temperaturerhöhung des Inertgases führte aber zu einer deutlichen Steigerung der Mortalitätsrate: schon bei 35 °C beträgt die Mortalität nach einem Tag Einwirkzeit 100 %. Für eine erfolgreiche Anwendung dieses Alternativverfahrens ist es erforderlich, dass die Container gasdicht sind, was in der Praxis in der Regel nicht gegeben ist (Hoppe et al., 2025).

Weitere Methoden
Abgesehen von den vier beschriebenen Alternativen an nicht-chemischen Behandlungsmethoden zur phytosanitären Behandlung von Rundholz können Schadorganismen auch durch Einfrieren, Gammastrahlung, Behandlung mit Ozon (O_3) oder biologische Verfahren beseitigt werden. Hierbei handelt es sich um bisher noch nicht anerkannte, wenig etablierte Methoden, die sich noch im Forschungs- und Entwicklungsstatus befinden.

3.3 Möglichkeiten zur Reduzierung des kalamitätsbedingten Rundholzexports in Drittstaaten

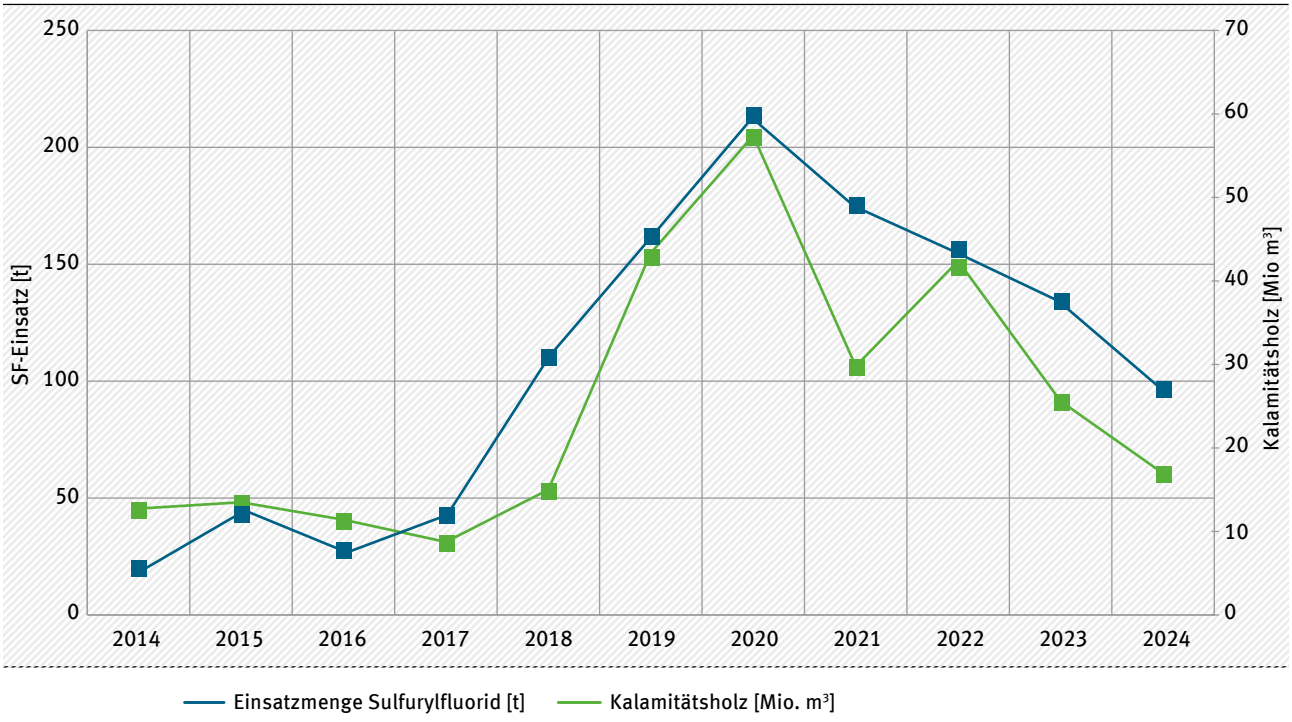
Der Anteil der durch Kalamitäten wie Stürme, Dürre und Insektenbefall ausgelösten Holzentnahme aus den deutschen Wirtschaftswäldern ist in den letzten 30 Jahren signifikant gestiegen. Im Durchschnitt dieses Zeitraums betrug der Anteil rund 26 %, im Durchschnitt der Jahre 2019 bis 2021 mit 67,6 % mehr als das Doppelte. Der im Jahr 2020 erreichte Rekordwert von knapp 75 % übertraf den Wert von 66,4 % nach den Orkanen Vivian und Wiebke im Spätwinter 1990. In 2024 lag der Schadholzanteil mit rund 48 % erstmals seit 2018 wieder unter 50 % (Destatis, 2025). Der von 2018 bis Ende September 2022 erfasste Kalamitätsholzanfall belief sich auf 245 Mio. Festmeter (UBA, 2023a). Dabei bergen ungeplante Nutzungen durch Wurf-, Bruch- und Käferholz für die Forstwirtschaft viele Nachteile, wie z. B. steigende Aufarbeitungskosten in geschädigten Beständen bei gleichzeitig sinkenden Holzpreisen vor allem nach größeren Schadereignissen sowie Kosten für eventuell notwendige Lagerung von Rundholz.

Vergleicht man die Daten zum Kalamitätsholzeinschlag mit Daten zum Absatz von Sulfurylfluorid in Deutschland entsprechend der Daten des BVL für die Jahre 2014 bis 2024, so korrelieren diese deutlich sichtbar (Abbildung 4). Fällt besonders viel Kalamitätsholz an, so steigen in der Folge auch die Exporte in Drittstaaten und folglich auch der Einsatz von Sulfurylfluorid. So wurden im Spitzenjahr 2020 in Folge des starken Borkenkäferbefalls 5,3 Mio. t Rohholz von Deutschland in Drittstaaten exportiert, 92 % davon in die Volksrepublik China (Destatis, 2026).

Aus diesem Zusammenhang ergibt sich ein weiterer Hebel zur Reduzierung des Einsatzes von Sulfurylfluorid: Die Reduktion der kalamitätsbedingten Rohholzexporte in Drittstaaten. Hierfür kommen grundsätzlich zwei Ansätze in Frage. Zum einen die Verringerung des massenhaften Anfalls von Kalamitätsholz durch resilientere Wälder und zum anderen eine verstärkte inländische Nutzung von Kalamitätsholz (auch wenn der Großteil des insgesamt anfallenden Kalamitätsholzes bereits jetzt inländisch genutzt wird (UBA, 2023b)). Zu diesen Aspekten hat das Umweltbundesamt in einem Hintergrundpapier Empfehlungen abgeleitet, die mit zahlreichen Co-Benefits einhergehen, wie z. B. dem Schutz der Senkenleistung des Waldes

Abbildung 4

Gegenüberstellung der Mengen des Kalamitätsholzes und des Sulfurylfluorid-Absatzes in Deutschland für die Jahre 2014 bis 2024



Daten basierend auf BVL (2025) und Destatis (2025)

Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

und mehr Wertschöpfungsmöglichkeiten aus dem Rohstoff Holz (UBA, 2021).

Bzgl. den inländischen Nutzungsmöglichkeiten von Kalamitätsholz sollten aus Gründen des Umwelt- und Klimaschutzes möglichst stoffliche Verwendungen (z. B. als Schnittholz, Rohstoff für die Papier- und Zellstoffindustrie oder als Kohlenstoffquelle für die chemische Industrie) bevorzugt werden. Die energetische Nutzung von Holz wird grundsätzlich kritisch betrachtet. Zum einen geht die Verbrennung von Holz ebenso wie die Behandlung mit Sulfurylfluorid mit THG-Emissionen einher – zum anderen werden auch einige andere Luftschadstoffe, insbesondere Feinstaub, bei der Verbrennung emittiert (UBA, 2023c; Glasius et al., 2006).

Für eine vergleichende Gegenüberstellung verschiedener Nutzungsformen von Waldholz wird im Folgenden eine Lebenszyklusperspektive eingenommen. THG-Emissionen werden nach dem Punkt der Ernte für die vier Szenarien (I) inländisch-stoffliche Nutzung, (II) inländisch-energetische Nutzung sowie (III) Export unter Einsatz von Sulfurylfluorid mit stofflicher Nutzung sowie (IV) Export unter Einsatz von Sulfurylfluorid mit energetischer Nutzung verglichen (siehe Tabelle 8 und Abbildung 5). Bei der inländischen stofflichen Nutzung des Holzes, z. B. in Form von Konstruktionsvollholz, Dämmstoffen oder Massivholzplatten, entstehen vergleichsweise geringe THG-Emissionen, welche auf Transport- sowie Verarbeitungsprozesse zurückzuführen sind. Der im Holz enthaltene Kohlenstoff bleibt, abhängig von der Nutzungsdauer der Holzprodukte, gespeichert. Demgegenüber entstehen bei der Verbrennung einer Tonne Holz, z. B. als Pellets, Holzhackschnitzel oder Scheitholz ~1,56–1,65 t CO_2-Äq./t Holz, in erster Linie durch die Oxidation des im Holz gebundenen Kohlenstoffs zu CO_2. Durch die bei der Verbrennung erzeugte Wärme können jedoch auch THG-Emissionen aus der Verbrennung von z. B. Erdgas eingespart werden. Bei der Behandlung mittels Sulfurylfluorid und Verschiffung von 1 t Waldholz fallen, je nach Holzart und Größe, zwischen 1,62 t und 2,04 t CO_2-Äquivalente an, wenn es sich anschließend um eine stoffliche Nutzung des exportieren Holzes handelt. Mit Abstand die

meisten THG-Emissionen entstehen bei Export des Holzes mit anschließender energetischen Nutzung, ohne Berücksichtigung von Gutschriften aufgrund der Einsparung von anderen Brennstoffen (z. B. Erdgas) oder Wärmequellen (z. B. Wärmepumpe). Die aufgeführten, generischen Zahlen dienen dabei lediglich zur Veranschaulichung der Größenordnungen der Emissionsunterschiede zwischen den Nutzungsalternativen und stellen keine ISO-konforme Ökobilanz dar. Selbst unter Berücksichtigung von 10–20 % möglichen Abweichungen bleiben die gezeigten Unterschiede jedoch zwischen inländischer stofflicher Nutzung sowie Export unter SF-Einsatz bestehen. Die Nutzungsalternativen (II) inländische energetische Nutzung sowie (III) Export unter SF-Einsatz sind demnach in der gleichen Größenordnung anzusiedeln.

Bezüglich der Bilanzierung der THG-Emissionen im nationalen Emissionsinventar wird gemäß IPCC-Methodik nach Territorial- und Quellprinzip bilanziert. Das bedeutet, dass alles Holz, das den Kohlenstoffspeicher Wald verlässt, als Emission im LULUCF-Sektor angerechnet wird. Erst wenn das Holz im inländischen Holzproduktspeicher stofflich genutzt

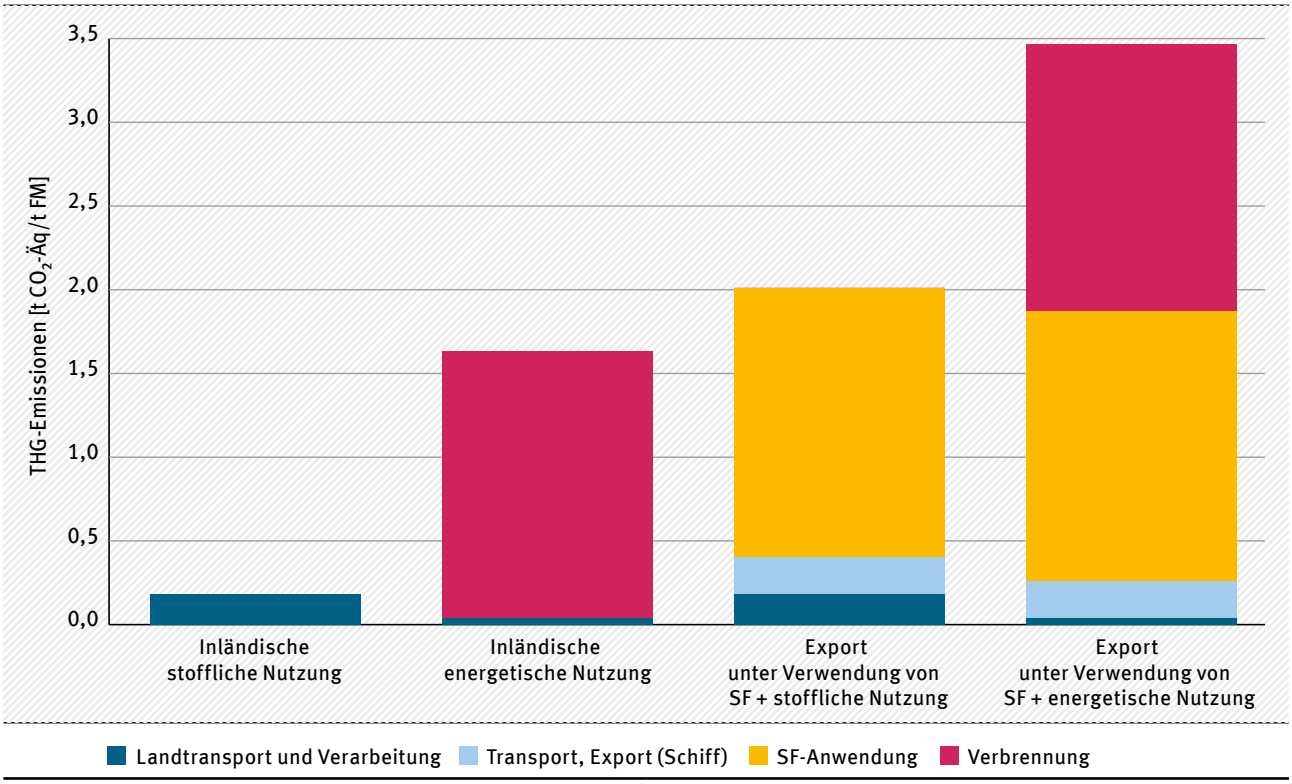
Tabelle 8

Abschätzung der THG-Emissionslasten für vier generische Nutzungsszenarien von Waldholz unter Angabe von möglichen Bandbreiten für enthaltene Nutzungsvarianten, Verbrennungsvarianten sowie SF-Exportvarianten

	Inländische stoffliche Nutzung (Bsp. Konstruktionsvollholz)	Inländische energetische Nutzung	Export unter Verwendung von SF + stoffliche Nutzung	Export unter Verwendung von SF + energetische Nutzung
THG-Emissionen pro Tonne Waldholz [t CO_2-Äq./t FM]	0,09–0,29	1,56–1,65	1,62–2,04	3,26–3,67

Abbildung 5

Darstellung der THG-Emissionslast für vier generische Nutzungsszenarien von Waldholz



Daten basierend auf ÖkoBauDat (2026), UBA (2024), UBA (2022b)), Angabe von Mittelwerten für verschiedenen Szenarienvarianten.

Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt

wird, findet je nach Menge der stofflich genutzten Anteile wieder eine Kohlenstoffemission statt. Wenn unveredeltes Rohholz aus Deutschland in andere Länder exportiert wird, findet unabhängig von der Nutzung im Zielland (stofflich oder energetisch) eine Anrechnung der vollen Emissionen (1,83 t CO_2-Äq./t Holz) im LULUCF-Sektor statt, da die Menge des im exportierten Holz enthaltenen Kohlenstoffs vollständig dem nationalen Speicher abgezogen wird. Hinzu kommen die Sulfurylfluorid-bedingten THG-Emissionen im Industrie-Sektor. Die aktuelle Praxis der Behandlung von Rohholz mit Sulfurylfluorid belastet das nationale Emissionsinventar somit doppelt.

Neben Kalamitätsholz insbesondere nach größeren Schadereignissen geht auch solches Holz in den Exporthandel, für das sich kein inländischer Absatzmarkt finden lässt (Waldkontor, 2026). Dabei handelt es sich vor allem um Holz niedriger Qualität wie z. B. Holz mit Insektenfraßspuren oder rotkernige Buche. Hier gilt es, neue inländische Absatzmärkte zu finden bzw. bestehende Nutzungsmöglichkeiten auszubauen.

3.4 Weitere regulatorische Maßnahmenvorschläge

Mit den Anforderungen zur Abscheidung von Sulfurylfluorid in der EU-Verordnung über fluorierte Treibhausgase sowie der TA Luft sind die gesetzlichen Rahmenbedingungen für die anlagenbezogene Emissionsminderung auf europäischer und nationaler Ebene gesetzt. In Ermangelung einer marktverfügbaren Abscheidetechnik entfalten die rechtlichen Anforderungen zur Abscheidung von Sulfurylfluorid aktuell keine Wirkung. Folglich sollte der Fokus im Bereich des Anlagenrechts daher zunächst auf die erfolgreiche Implementierung der bestehenden Regelungen gelegt werden; kurzfristig z. B. durch die gezielte Förderung der Entwicklung von Abscheidetechniken bis zur Marktreife. Mittelfristig sollten Genehmigungen von Containerbegasungsanlagen mittels Sulfurylfluorid ohne Abscheidetechnik (auch vor dem Hintergrund der hier und in der Literatur genannten alternativen Behandlungsmethoden) aus Sicht des Umweltbundesamtes auslaufen.

3.4.1 Bepreisung der THG-Emissionen als Anreiz zur Emissionsminderung

Neben dem deutschen Anlagen- und Genehmigungsrecht sollten auch ökonomische Instrumente zur Minderung des Sulfurylfluorid-Einsatzes in Erwägung gezogen werden, um die mit den Sulfurylfluorid-Emissionen assoziierten Umweltkosten zu internalisieren (vgl. Kap. 1.2.3). So könnte die Emission von Sulfurylfluorid bspw. mit einer Klimaschutzabgabe belegt werden. Je nach Höhe der Klimaschutzabgabe ergibt sich ein mehr oder weniger großer finanziellen Anreiz zur Emissionsminderung. Klimaschutzabgaben können entweder

a) auf eine bestimmte Höhe festgelegt werden, oder
b) einem Emissionshandel mit einer begrenzten Zahl von Zertifikaten unterworfen werden.

Der Emissionshandel (b) hat den Vorteil bei der Wirksamkeit, da durch die definierte Zahl von Zertifikaten die maximal mögliche Treibhauswirkung begrenzt wird. Der Emissionshandel hat aber auch den bürokratischen Nachteil, dass er von einer (nationalen) Emissionshandelsstelle durchgeführt werden muss. Außerdem sind die THG-Emissionen aus der Anwendung von Sulfurylfluorid verglichen mit anderen im nationalen Emissionshandel erfassten Emissionen relativ gering. Bei einer derart geringen Marktgröße stellen sich Fragen der Marktliquidität, der Preisbildung sowie potenzielle Risiken von Marktmissbrauch oder Marktverzerrungen in verschärfter Form.

Bei einer Klimaschutzabgabe in einer vorher festgelegten Höhe würde bereits ein angenommener Einstiegspreis von 25 € pro t CO_2-Äq. (vgl. Einführungsphase des Bundesemissionshandelsgesetzes, BEHG) eine erhebliche Kostensteigerung für die Begasung eines Containers bewirken. So werden gemäß Handlungsanweisung (Deutscher Pflanzenschutzdienst, 2025) 5,4 kg Sulfurylfluorid bei der Begasung eines 40-Fuß-Containers eingesetzt. Diese Menge Sulfurylfluorid hat eine Treibhauswirkung von ca. 25 t CO_2-Äq. Damit würde die Klimaschutzabgabe rund 625 € pro behandeltem Container betragen. Aktuell beziffern sich die Kosten für die Begasung eines Containers Rohholz im Hamburger Hafen lt. Branche auf ca. 700 € pro Container (Waldkontor, 2026), sodass die gängige Praxis der vollständigen Emission des eingesetzten Sulfurylfluorids vermutlich nicht mehr wirtschaftlich wäre. So könnten alternative Behandlungsmethoden mit vergleichsweise geringen Treibhausgasemissionen wirtschaftlich konkurrenzfähig werden und der Handlungsdruck der Akteure für die Entwicklung einer Abscheidetechnik würde sich deutlich erhöhen.

4 Fazit

Der Einsatz von Sulfurylfluorid als Pflanzenschutzmittel für die Begasung von Rundholz führt zu hohen Treibhausgasemissionen, die mit erheblichen Umweltkosten einhergehen und die Treibhausgasbilanz Deutschlands belasten. Die aktuelle Praxis der Begasungen mit Sulfurylfluorid unter nahezu vollständiger Emission des eingesetzten Wirkstoffs steht somit den klimaschutzpolitischen Zielen der Bundesrepublik entgegen. Trotz des umfangreichen Regelungsrahmens ist es bislang nicht gelungen, den Einsatz und die damit verbundenen Emissionen wirkungsvoll zu reduzieren. Wie stark sich der Widerruf der Zulassungserweiterung zur Begasung von Rundholz für das Pflanzenschutzmittel ProFume auf die Emissionen auswirken wird, kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht abschließend beurteilt werden, da die gewährten Abverkaufs- und Verwendungsfristen die Verwendung bis Oktober 2027 ermöglichen und grundsätzlich die Möglichkeit besteht, dass ein Antrag auf eine reguläre Zulassung zur Rundholzbegasung gestellt wird.

Das vorliegende Hintergrundpapier macht deutlich, dass es eine Vielfalt an potentiellen Möglichkeiten gibt, den Einsatz sowie die Emissionen von Sulfurylfluorid bei der Begasung von Rundholz zur Verschiffung zu vermeiden bzw. zu mindern. Kurzfristig können dabei insbesondere prozessbezogene technische Maßnahmen zu einer Reduzierung der Emissionen führen. Mittelfristig sollte jedoch gänzlich auf den Einsatz von Sulfurylfluorid zur Bekämpfung von Schadorganismen in Rundholz verzichtet werden, da in der Literatur sowie in anderen Mitgliedsstaaten der EU alternative chemische sowie nicht-chemische Behandlungsmethoden für den Anwendungsfall Rundholz beschrieben bzw. im Einsatz sind, die auch von den Importländern akzeptiert werden. Bei der Wahl von geeigneten Alternativverfahren müssen rechtliche Vorgaben, die Holzart, das Einsatzgebiet, die Wirksamkeit sowie Umwelt- und Gesundheitsschutzaspekte berücksichtigt werden. Für den alternativen Wirkstoff Phosphorwasserstoff fehlt noch die nationale Zulassung für den konkreten Anwendungsfall Rundholz, obwohl die Zulassung für diese Indikation in anderen EU-Mitgliedsstaaten bereits besteht.

Die Anwendung von chemischen Insektiziden ist grundsätzlich mit ökotoxikologischen Risiken verbunden, welche im Rahmen von Genehmigungs- und Zulassungsverfahren berücksichtigt werden. Für andere Wirkstoffe als Phosphorwasserstoff sind für die Behandlung von Rundholz noch keine anwendungsbezogenen Risikobewertungen verfügbar, und es kann darum nicht beurteilt werden, ob diese Alternativen die Anforderungen an die Zulassung von Pflanzenschutzmitteln erfüllen würden. Daher sind nicht-chemische Alternativen den chemischen Verfahren vorzuziehen. Weiterhin entfällt für nicht-chemische Behandlungsmethoden die Zulassungspflicht nach Pflanzenschutzmittelrecht, sodass lediglich die Importbestimmungen der Einfuhrländer sowie die Anforderungen der Pflanzengesundheitsbehörden zu erfüllen sind. Das fehlende Interesse der Anwender an nicht-chemischen Verfahren wurde in der Vergangenheit damit begründet, dass die Alternativverfahren wie Hitze- und Unterwasserbehandlung derzeit noch nicht geeignet sind, um die großen Mengen an Stammholz in einem überschaubaren Zeitraum behandeln zu können. Mit der jüngsten Entwicklung im Bereich der phytosanitären Behandlung von Rundholz mittels Heißdampf (SteamTainer®) kann im Vergleich zu den bisher üblichen Verfahren eine schnellere Erwärmung der Holzstämme erreicht werden, sodass sich die Behandlungszeit gegenüber der Begasung mit Sulfurylfluorid sogar verkürzt. Somit steht mit diesem Verfahren zukünftig eine voraussichtlich konkurrenzfähige Alternative zur Begasung von Stammholz mit Sulfurylfluorid in Deutschland zur Verfügung, sofern das Verfahren auch durch die hiesigen Pflanzengesundheitsbehörden anerkannt wird.

Grundsätzlich sollte in Deutschland anfallendes Roh- bzw. Stammholz möglichst inländischen stofflichen Nutzungen zugeführt werden. So ließen sich nicht nur THG-Emissionen aus der Begasung und Verschiffung vermeiden – durch die inländische stoffliche Holznutzung bliebe auch die Kohlenstoffspeicherleistung des Holzes für das nationale Treibhausgasinventar erhalten und nationale Wertschöpfungsketten können gestärkt werden.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die mit der Rundholzbegasung mittels Sulfurylfluorid verbundenen Herausforderungen vermutlich nicht durch einen singulären Ansatz gelöst werden können. Stattdessen erscheint ein integrativer Ansatz, der mehrere alternative Verfahren und Lösungsstrategien kombiniert, als der vielversprechendste Weg zur Reduktion der Sulfurylfluorid-Emissionen.

5 Danksagung

Die Autorinnen und Autoren danken Frau Dr. Garnet Marlen Kroos (JKI), Frau Marie-Eve Ordolff und Mitarbeitenden (BUKEA Hamburg), Herrn Dr. Karsten Karschunke, Frau Nadja Eser sowie Herrn Dr. Jörn Wogram (UBA) herzlich für die sorgfältige Durchsicht der Entwurfsfassung dieses Hintergrundpapiers sowie für ihre wertvollen Anmerkungen und die anregenden Diskussionen.

Wir danken außerdem dem AGAGE Programm, welches durch die NASA National Aeronautics and Space Administration (USA), das Massachusetts Institute of Technology und das Scripps Institution of Oceanography unterstützt wird.

Zudem danken wir Simon O'Doherty und dem Mace Head Observatorium, welches durch das Department of Energy, Security and Net Zero (DESNZ) und die NASA unterstützt wird. Ferner danken wir Prof. Ray F. Weiss und dem Observatorium Trinidad Head, welches durch die NASA unterstützt wird, sowie Dr. Paul Krummel und dem Kennaook/Cape Grim Observatorium, welches durch das Australian Bureau of Meteorology, das Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), das Australian Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water (DCCEEW), Refrigerant Reclaim Australia (RRA), und durch die NASA unterstützt wird.

6 Quellenverzeichnis

AGAGE (2026a). Advanced Global Atmospheric Gases Experiment (AGAGE) – Sponsored by NASA's Atmospheric Composition Focus Area in Earth Science. Figures, Monthly averages representing trends in the mixed atmosphere, Sulfuryl Fluoride, Last Updated: January 2026. https://www-air.larc.nasa.gov/missions/agage/figures [Letzter Abruf am 26.02.2026].

AGAGE (2026b). Advanced Global Atmospheric Gases Experiment (AGAGE) – Sponsored by NASA's Atmospheric Composition Focus Area in Earth Science. Global Network, Taunus, Last Updated: January 2026. https://www-air.larc.nasa.gov/missions/agage/stations/taunus [Letzter Abruf am 05.05.2026].

AMK (2023). Endgültiges Ergebnisprotokoll der Agrarministerkonferenz am 22. September 2023 in Kiel. TOP 43: Klimaschaden durch Holzbegasung vermeiden – Wirkstoff Sulfurylfluorid im Pflanzenschutzmittelbereich EU-weit ersetzen. https://www.agrarministerkonferenz.de/documents/endgueltiges-ergebnisprotokoll-amk-22092023.pdf [Letzter Abruf am 16.03.2026].

Australian Government (2018). Sulfuryl fluoride fumigation methodology. Department of Agriculture and Water Resources. https://www.agriculture.gov.au/sites/default/files/sitecollectiondocuments/biosecurity/import/general-info/qtfp/sf-fumigation-methodology.pdf [Letzter Abruf am 26.11.2025].

Australian Government (2025a). Treatments for timber and timber products. Department of Agriculture, Fisheries and Forestry. https://www.agriculture.gov.au/biosecurity-trade/import/goods/timber/approved-treatments-timber [Letzter Abruf am 26.11.2025].

Australian Government (2025b). Timber permanent preservative treatment requirements. Department of Agriculture, Fisheries and Forestry. https://www.agriculture.gov.au/biosecurity-trade/import/goods/timber/approved-treatments-timber/permanent-preservative-treatment [Letzter Abruf am 26.11.2025].

Benthien, J. T., Krause, A., Trautner, J., & Melcher, E. (2024). Substitution von Sulfuryldifluorid (SF) im Rundholzexport. In: Institut für Holztechnologie (ed) 32. Deutsche Holzschutztagung: Organisiert vom Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH; Dresden, 25.-26. April 2024. pp 58-71. https://www.openagrar.de/servlets/MCRFileNodeServlet/openagrar_derivate_00059238/dn068258.pdf [Letzter Abruf am 01.06.2025].

Biozid-VO (2012). Verordnung (EU) Nr. 528/2012 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Mai 2012 über die Bereitstellung auf dem Markt und die Verwendung von Biozidprodukten, Amtsblatt der europäischen Union L 167/1. https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:167:0001:0123:DE:PDF [Letzter Abruf am 20.03.2026].

Bundestags-Drucksache 19/30789 (2021). Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Harald Ebner, Renate Künast, Oliver Krischer, Markus Tressel und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN – Drucksache 19/30017 – Maßnahmen zur Vermeidung der klimaschädlichen Wirkung von Sulfurylfluorid. Drucksache 19/30789 vom 17.06.2021. https://dserver.bundestag.de/btd/19/307/1930789.pdf [Letzter Abruf am 20.03.2026].

Bundestags-Drucksache 21/5314 (2026). Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Karl Bär, Dr. Zoe Mayer, Dr. Ophelia Nick, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN– Drucksache 21/5042 Ergebnisse zu Alternativen und Handlungsspielräumen bei der Rundholzbegasung mit Sulfurylfluorid. Deutscher Bundestag. https://dserver.bundestag.de/btd/21/053/2105314.pdf [Letzter Abruf am 01.07.2026].

BVL (2009). Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. PSM Zulassungsbericht ProFume. https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/01_zulassungsberichte/025395-00-01.pdf?__blob=publicationFile&v=3 [Letzter Abruf am 01.12.2025].

BVL (2025). Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. Absatzmengen von Wirkstoffen in Pflanzenschutzmitteln von 1987 bis 2024. https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/01_meldungen_par_64/meld_par_64_Wirkstoffabsatz_seit_1987.html [Letzter Abruf am 17.02.2026].

BVL (2026a). Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel.
https://psm-zulassung.bvl.bund.de/psm/jsp/
Eintrag zu ProFume: https://psm-zulassung.bvl.bund.de/psm/jsp/DatenBlatt.jsp?kennr=025395-00
Eintrag zu K-Obiol: https://psm-zulassung.bvl.bund.de/psm/jsp/DatenBlatt.jsp?kennr=006331-00 [Letzter Abruf am 21.04.2026].

BVL (2026b). Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. Teilwiderruf der Zulassung des Pflanzenschutzmittels ProFume zur Anwendung an Laub- und Nadelholz für den Export. Fachmeldung vom 06.05.2026. https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Fachmeldungen/04_pflanzenschutzmittel/2026/2026_05_06_FA_Teilwiderruf_ProFume.html [Letzter Abruf am 04.06.2026].

Cady, G.H., & Misra, S. (1974). Hydrolysis of sulfuryl fluoride. Inorganic Chemistry 1974, 13(4),837-841. https://doi.org/10.1021/ic50134a016.

Chemikalien-Ozonschichtverordnung (2026). Verordnung über ozonabbauende Stoffe und zur Durchführung der Verordnung (EU) 2024/590, Chemikalien-Ozonschichtverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Februar 2012 (BGBl. I S. 409), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 21. April 2026 (BGBl. 2026 I Nr. 108) geändert worden ist. https://www.gesetze-im-internet.de/chemozonschichtv/BJNR263800006.html [Letzter Abruf am 20.03.2026].

China (2001a). Announcement of CIQ SA No.2, 6th February 2001. https://pflanzengesundheit.julius-kuehn.de/dokumente/upload/cn3-2001-2logs_en.pdf [Letzter Abruf am 26.11.2025].

China (2001b). Mitteilung der Staatlichen Generalverwaltung der Volksrepublik China für Qualitätskontrolle, Inspektion und Quarantäne zur Herausgabe der ‚Verfahren und technischen Anforderungen zur Behandlung von Rundholz gegen Schädlingsbefall bei der Einfuhr in die VR China' (29. Juni 2001, Schreiben Nr. 202/2001). https://pflanzengesundheit.julius-kuehn.de/dokumente/upload/cn_2001-202_rundholz_de.pdf [Letzter Abruf am 26.11.2025].

China (2013). Bekanntmachung 2013/156 der General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine zur Verhinderung der Einschleppung des Eschentriebsterbens nach China. https://pflanzengesundheit.julius-kuehn.de/dokumente/upload/cn3-2013-156fraxinus-holz_de.pdf [Letzter Abruf am 26.11.2025].

CLP-VO (2008). Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG, (2008, 31. Dezember) Amtsblatt der europäischen Union L 353/1. http://data.europa.eu/eli/reg/2008/1272/oj [Letzter Abruf am 20.03.2026].

DBU (2026). Vermeidung von Treibhausgasemissionen in der Containerlogistik durch Rückhaltung und Wiederverwendung von Insektiziden. DBU, Projekt 40050/01. https://www.dbu.de/projektdatenbank/40050-01/ [Letzter Abruf am 06.05.2026].

Destatis (2021). Exporte von Rohholz im Jahr 2020 um 42,6 % gestiegen. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/05/PD21_N031_51.html. [Letzter Abruf am 06.05.2026].

Destatis (2025). Schadholzaufkommen nimmt weiter ab: Holzeinschlag 2024 um 13,3 % gesunken. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2025/04/PD25_144_41.html. [Letzter Abruf am 06.05.2026].

Destatis (2026). Außenhandelsstatistik, Warengruppe WA4403 Rohholz, auch entrindet, zugerichtet. https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/51000/table/51000-0009 [Letzter Abruf am 12.05.2026].

Deutscher Pflanzenschutzdienst (2025). Handlungsanweisung zur Behandlung von Rundholz für den Export in die Volksrepublik China. Hier: Begasung mit Sulfurylfluorid-haltigen Pflanzenschutzmitteln aus Druckgaszylindern. Stand 02.07.2025. https://www.holzkurier.com/content/dam/holz/holzkurier/de/pdf/Handlungsanweisung_Begasung_Rundholz.pdf [Letzter Abruf am 06.05.2026].

Douglas (2022). Online-Präsentation der Firma Douglas [unveröffentlichter Vortrag] am 10.02.2022.

Drucksache 21/19518 (2020). Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg: Schriftliche Kleine Anfrage der Abgeordneten Stephan Jersch und Norbert Hackbusch (DIE LINKE) vom 02.01.2020 und Antwort des Senats. Drucksache 21/19518. Betr.: Begasung mit Sulfurylfluorid. https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/suche/10_1_21___21.%20Wahlperiode%20(02.03.2015%20-%2018.03.2020)/7_1_1___Dokumentart%3A%20Drucksache/14_1_19518___Dokumentnummer%3A%2019518 [Letzter Abruf am 16.03.2026].

Drucksache 21/20089 (2020). Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg: Schriftliche Kleine Anfrage der Abgeordneten Stephan Jersch und Norbert Hackbusch (DIE LINKE) vom 06.02.2020 und Antwort des Senats. Drucksache 21/20089. Betr.: Klimakiller-Gas Sulfurylfluorid: Vermeidung und Ersatz. https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/suche/10_1_21___21.%20Wahlperiode%20(02.03.2015%20-%2018.03.2020)/7_1_1___Dokumentart%3A%20Drucksache/14_1_20089___Dokumentnummer%3A%2020089 [Letzter Abruf am 16.03.2026].

Drucksache 22/164 (2020). Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg: Schriftliche Kleine Anfrage des Abgeordneten Stephan Jersch (DIE LINKE) vom 05.05.2020 und Antwort des Senats. Drucksache 22/1641. Betr. Klimakiller-Gas Sulfurylfluorid: Vermeidung und Ersatz. https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/70288/22_00164_klimakiller_gas_sulfurylfluorid_vermeidung_und_ersatz#navpanes=0 [Letzter Abruf am 06.05.2026].

Drucksache 22/12774 (2023). Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg: Mitteilung des Senats an die Bürgerschaft – Zweite Fortschreibung des Hamburger Klimaplans. https://www.hamburg.de/resource/blob/169140/4c902bd7090a09f16a600091cfc7a110/d-zweite-fortschreibung-hamburger-klimaplan-data.pdf [Letzter Abruf am 06.05.2026].

Durchführungsbeschluss (EU) 2024/2402 (2024). Durchführungsbeschluss (EU) 2024/2402 der Kommission vom 12. September 2024 zur Nichterneuerung der Genehmigung für Sulfurylfluorid zur Verwendung in Biozidprodukten der Produktarten 8 und 18 gemäß der Verordnung (EU) Nr. 528/2012 des Europäischen Parlaments und des Rates. (2024, 13. September). Amtsblatt der Europäischen Union 2024/2402. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202402402 [Letzter Abruf 05.05.2026].

Durchführungsbeschluss (EU) 2025/2302 (2025). Durchführungsbeschluss (EU) 2025/2302 der Kommission vom 14. November 2025 zur Ermächtigung von sechs Mitgliedstaaten, zum Schutz des kulturellen Erbes ein Sulfurylfluorid enthaltendes Biozidprodukt zuzulassen.(2025, 18. November). Amtsblatt der Europäischen Union L 2025/2302. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202502302 [Letzter Abruf 05.05.2026].

Durchführungsverordnung (EU) 2017/270 (2017). Durchführungsverordnung (EU) 2017/270 der Kommission vom 16. Februar 2017 zur Änderung der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 540/2011 hinsichtlich der Bedingungen für die Genehmigung des Wirkstoffs Sulfurylfluorid. (2017, 17. Februar) Amtsblatt der europäischen Union L 40, S. 48-50. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R0270&from=SL [Letzter Abruf 05.05.2026].

ECHA. Chemikaliendatenbank der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA).
Eintrag zu Ethylenoxid: https://chem.echa.europa.eu/100.000.773/overview
Eintrag zu Ethandinitril: https://chem.echa.europa.eu/100.006.643/overview?searchText=%09460-19-5 [Letzter Abruf am 01.06.2026].

EFSA (2010). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance sulfuryl fluoride. EFSA Journal 2010; 8(1):1441. https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2010.1441 [Letzter Abruf am 01. 06.2026].

EMPA (2018). Kontinuierliche Messung von Nicht-CO_2-Treibhausgasen auf dem Jungfraujoch (HALCLIM-2015-18). Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), Materials Science and Technology, Interdisziplinäres Forschungsinstitut für Materialwissenschaft und Technologie der ETH Zürich, Schlussbericht, August 2018. https://www.empa.ch/documents/56101/190047/HALCLIM-6-Schlussbericht/59eb1853-04c6-47f1-9d90-198e201baf40 [Letzter Abruf am 16.03.2026].

EMPA (2021). CLIMGAS-CH – Kontinuierliche Messung der Nicht-CO_2-Treibhausgase auf dem Jungfraujoch und in Beromünster. Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), Materials Science and Technology, Interdisziplinäres Forschungsinstitut für Materialwissenschaft und Technologie der ETH Zürich, 3. Zwischenbericht, Juni 2021. https://www.empa.ch/documents/56101/190047/CLIMGAS-CH_2021/bf747be6-bddf-4247-aea2-d0390c3eadc2 [Letzter Abruf am 05.05.2026].

EMPA (2023). CLIMGAS-CH 2022-2026 – Kontinuierliche Messung der Nicht-CO2-Treibhausgase auf dem Jungfraujoch und in Beromünster. Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), Materials Science and Technology, Interdisziplinäres Forschungsinstitut für Materialwissenschaft und Technologie der ETH Zürich,1. Zwischenbericht, Juli 2023. https://www.empa.ch/documents/56101/190047/CLIMGAS-CH_2023/86823a3d-eb31-4166-a2a3-dcc53122372d [Letzter Abruf am 01.06.2026].

EPA (2025). United States Environmental Protection Agency: Sulfuryl Fluoride, Juli 2025. https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/sulfuryl-fluoride [Letzter Abruf am 01.06.2026].

EU Pesticides Database (2026).
Eintrag zu Deltamethrin: https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/start/screen/active-substances/details/602 [Letzter Abruf 30.07.2026].

EWS Group (2026). Belüftung von Containern. https://www.ewsgroup.de/gasmessungen/belueftung/ [Letzter Abruf am 16.06.2026].

F-Gas-VO (2024). Verordnung (EU) 2024/573 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 7. Februar 2024 über fluorierte Treibhausgase, zur Änderung der Richtlinie (EU) 2019/1937 und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 517/2014. Amtsblatt der Europäischen Union L, 2024/573. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202400573 [Letzter Abruf 05.05.2026].

Fehrle, M. (2025). Kompromisse in neuer Handlungsanweisung für Rundholzbegasung. https://www.holzkurier.com/rundholz/2025/11/kompromisse-in-neuer-handlungsanweisung-fuer-rundholzbegasung.html [Letzter Abruf am 12.05.2026).

Forster, P., Storelvmo, T., Armour, K., Collins, W., Dufresne, J.-L., Frame, D., Lunt, D.J., Mauritsen, T., Palmer, M.D., Watanabe, M., Wild, M., & Zhang, H. (2021). The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 923–1054, https://doi.org/10.1017/9781009157896.009.

GESTIS. GESTIS-Stoffdatenbank des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA).
Eintrag zu Methylbromid: https://gestis.dguv.de/data?name=031600;
Eintrag zu Sulfurylfluorid: https://gestis.dguv.de/data?name=500105;
Eintrag zu Ethylenoxid: https://gestis.dguv.de/data?name=012000;
Eintrag zu Phosphorwasserstoff: https://gestis.dguv.de/data?name=003530,
Eintrag zu Ethandinitril: https://gestis.dguv.de/data?name=038430;
Eintrag zu Deltamethrin: https://gestis.dguv.de/data?name=510145 [Letzter Abruf am 06.05.2026].

Glasius, M., Ketzel, M., Wåhlin, P., Jensen, B., Mønster, J., Berkowicz, R., & Palmgren, F. (2006). Impact of wood combustion on particle levels in a residential area in Denmark. Atmospheric Environment, 40(37), 7115-7124. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.06.047.

Hallett, P. (2025). Treatment Requirement: Approved Biosecurity Treatments. https://www.mpi.govt.nz/dmsdocument/1555/direct [Letzter Abruf am 26.11.2025].

Hillebrand, M., Alalouni, U., Janzen, W., Michalke, P., Schwarz, S., & Duquesne, S. (2024). Comparative assessment of pyrethroids with respect to their ecotoxicity, environmental fate and risk assessment. Umwelt 2024, Gemeinsame Jahrestagung der SETAC GLB e.V. & GDCh FG Umweltchemie & Ökotoxikologie. Gießen & Homberg (Ohm) [unveröffentlichter Posterbeitrag].

Hitzfeld, K.L., Aldrich, A., Barth, S.N.; Buijs, S., Duffek, A., Duquesne, S., Ganz, V., Hein, A., Hillebrand, M., Holmes, B. E., Koschorreck, J., Lahr, J., Meier, C., von der Ohe, P. C., Schaffer, M., Smit, E., Ziegler, K., & Weisner. O. (2025). Synthetic pyrethroids in European surface waters: sources, occurrence and need to reduce contamination. Environ. Sci. Eur. 37, 191. https://doi.org/10.1186/s12302-025-01249-9.

Hoppe, B., Bräsicke, N., Kroos, G.M., Feltgen, S., Kayka, M., Kümmritz, S., Trautner, J., Benthien, J.T., & Weber, G. (2025). KLIMAtiv – Bewertung von Begasungs- und alternativen Behandlungsverfahren von Rundholz unter Vermeidung der klimaschädlichen Wirkung von Sulfurylfluorid, in: Ergebnisse aus drei Jahren Forschung für mehr Klimaschutz in Landwirtschaft, Wald und Ernährung: Abschlussbericht der RessortForschtKlima-Projekte. OpenAgrar, Göttingen, S. 68–71. https://doi.org/10.3220/253-2025-220.

HS Bremerhaven (2022). Pressemitteilung der Hochschule Bremerhaven vom 17.11.2022. Weniger Emissionen bei der Begasung von Exportgütern. https://www.hs-bremerhaven.de/de/aktuelles/neuigkeiten-uebersicht/neuigkeiten-2022/weniger-emissionen-bei-der-begasung-von-exportguetern [Letzter Abruf am 30.12.2025].

IMO (2020). International Maritime Organization: Fourth IMO GREENHOUSE GAS STUDY 2020. https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Fourth%20IMO%20GHG%20Study%202020%20-%20Full%20report%20and%20annexes.pdf [Letzter Abruf am 03.02.2026].

Intreso Group (2026). EDN® Ethanedinitrile – The ozone-friendly alternative. https://intreso.com/products/edn-ethanedinitrile/ [Letzter Abruf am 07.05.2026].

JKI (2022). Projekte. Klimaneutrale Begasungsverfahren und alternative Behandlungsmethoden für Rundholz im Export (KLIMAtiv). https://wissen.julius-kuehn.de/klimaschutz/projekte/reduktion-thg-emissionen/klimativ [Letzter Abruf am 06.05.2026].

JKI (2025a). Dokumentsammlung für Australien. https://pflanzengesundheit.julius-kuehn.de/index.php?menuid=28&reporeid=94 [Letzter Abruf am 26.11.2025].

JKI (2025b). Dokumentsammlung für China. https://pflanzengesundheit.julius-kuehn.de/index.php?menuid=28&reporeid=84 [Letzter Abruf am 26.11.2025].

JKI (2025c). Dokumentsammlung für Indien. https://pflanzengesundheit.julius-kuehn.de/index.php?menuid=28&reporeid=106 [Letzter Abruf am 26.11.2025].

JKI (2025d). Dokumentsammlung für Neuseeland. https://pflanzengesundheit.julius-kuehn.de/index.php?menuid=28&reporeid=95 [Letzter Abruf am 26.11.2025].

JKI (2025e). Dokumentsammlung für Vietnam. https://pflanzengesundheit.julius-kuehn.de/index.php?menuid=28&reporeid=122 [Letzter Abruf am 26.11.2025].

Kroll, A., Aldrich, A., Andres, S., Casado-Martinez, C., Duquesne, S., von der Ohe, P. C., & Junghans, M. (2026). One Substance, Multiple Assessments: How the Various European Environmental Risk Frameworks Affect the Outcome of Chemical Risk Assessments, Integrated Environmental Assessment and Management, vjag052, https://doi.org/10.1093/inteam/vjag052.

Kümmritz, S. & Kroos, G. M. (2025). ProFume® pre-shipment treatments of round wood against infestations with bark-breeding beetles – technical improvements-. In Proceedings of the IRG56 Scientific Conference on Wood Protection (Art Nr.:#IRG/WP 25-41017). IRG Secretariat. https://doi.org/10.5073/20250704-102028-0.

Landesbetrieb Wald und Holz NRW (2020). Phytosanitäre Vorschriften zum Rundholzexport von Deutschland nach China (Stand: 06.02.2020). https://www.wald-und-holz.nrw.de/fileadmin/Waldschutz/Dokumente/Holzexporte/Rundholzexporte_nach_China_2020_02_06.pdf [Letzter Abruf am 26.11.2025].

Ma, J., Chen, W., Niu, X., & Fan, Y. (2019). The relationship between phosphine, methane, and ozone over paddy field in Guangzhou, China. Global Ecology and Conservation, Volume 17, January 2019, e00581, ISSN 2351-9894. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00581.

Montrealer Protokoll (1997). The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. https://ozone.unep.org/treaties/montreal-protocol/montreal-protocol-substances-deplete-ozone-layer [Letzter Abruf am 06.05.2026].

Mühle, J., Huang, J., Weiss, R. F., Prinn, R. G., Miller, B. R., Salameh, P. K., Harth, C. M., Fraser, P. J., Porter, L. W., Greally, B. R., O'Doherty, S., & Simmonds, P. G. (2009). Sulfuryl fluoride in the global atmosphere. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 114, D05306. https://doi.org/10.1029/2008JD011162.

Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestvedt, J., Huang, J., Koch, D., Lamarque, J.-F., Lee, D. S., Mendoza, B., Nakajima, T., Robock, A., Stephens, G., Takemura, T., & Zhang, H. (2013). Anthropogenic and natural radiative forcing. In T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P. M. Midgley (Eds.), Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (S. 659–740). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.012

New Zealand (2004). Use of Phosphine Fumigation on New Zealand Pinus radiata Logs. Report prepared for New Zealand Ministry of Agriculture and Forestry. https://www.ippc.int/static/media/files/publications/en/2013/06/05/1161772059329_2007_TPPT_112a_NEW_ZEALAND_Pho-1546610646.doc [Letzter Abruf am 26.11.2025].

New Zealand (2022). Approval for new export log fumigant takes effect.https://www.epa.govt.nz/news-and-alerts/latest-news/approval-for-new-export-log-fumigant-takes-effect/ [Letzter Abruf am 26.11.2025].

NVWA (2024). NVWA will no longer issue export certificates for tree logs treated with Sulfuryl fluoride as of January 1, 2025. Netherlands Food and Consumer Product Safety Authority. News item, 06-12-2024. https://english.nvwa.nl/latest/news/2024/12/06/nvwa-will-no-longer-issue-export-certificates-for-tree-logs-treated-with-sulfuryl-fluoride-as-of-january-1-2025 [Letzter Abruf am 28.07.2026].

ÖkoBauDat (2026). ÖkoBauDat des Bundeministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen. Eintrag zu Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE). https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=7aba3603-0689-4da5-8d24-fd92ae398d07&version=00.00.032&stock=OBD_2024_II&lang=de [Letzter Abruf am 30.07.2026]

Ozon-VO (2024). Verordnung (EU) 2024/590 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 7. Februar 2024 über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen, und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1005/2009. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32024R0590 [Letzter Abruf 05.05.2026].

Pein, P. S. & Smirnova, I. (2023). Studie zur Entwicklung einer SF Abgasreinigungsanlage. Abschlussbericht. 12.05.2023. https://daten.transparenz.hamburg.de/Dataport.HmbTG.ZS.Webservice.GetRessource100/GetRessource100.svc/3679218c-eaac-4c03-980a-34b5a73970aa/Upload__Abschlussbericht_Laborstudie.PDF [Letzter Abruf am 28.07.2026].

Pflanzenbeschauverordnung (PflBeschV). (2023, 13. Oktober),BGBl. 2023 I Nr. 277, S. 3. https://www.gesetze-im-internet.de/pflbeschv/BJNR1150C0023.html [Letzter Abruf 05.05.2026].

Pflanzenschutzgesetz (PflSchG). (2012, 6. Februar), BGBl. I S. 148, 1281. https://www.gesetze-im-internet.de/pflschg_2012/PflSchG.pdf [Letzter Abruf 05.05.2026].

Prinn, R. G., Weiss, R. F., Arduini, J., Arnold, T., DeWitt, H. L., Fraser, P. J., Ganesan, A. L., Gasore, J., Harth, C. M., Hermansen, O., Kim, J., Krummel, P. B., Li, S., Loh, Z. M., Lunder, C. R., Maione, M., Manning, A. J., Miller, B. R., Mitrevski, B., … Zhou, L. (2018). History of chemically and radiatively important atmospheric gases from the Advanced Global Atmospheric Gases Experiment (AGAGE). Earth System Science Data, 10(2), 985–1018. https://doi.org/10.5194/essd-10-985-2018.

PSM-VO (2009). Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln und zur Aufhebung der Richtlinien 79/117/EWG und 91/414/EWG des Rates. Amtsblatt der Europäischen Union L 309 vom 24.11.2009, pp. 1–50. http://data.europa.eu/eli/reg/2009/1107/oj [Letzter Abruf 05.05.2026].

Ramadan, G. R. M., Zhu, K. Y., Abdelgaleil, S. A. M., Shawir, M. S., El-Bakary, A. S., Edde, P. A., & Phillips, T. W. (2020). Ethanedinitrile as a Fumigant for Lasioderma serricorne (Coleoptera: Anobiidae), and Rhyzopertha dominica (Coleoptera: Bostrichidae): Toxicity and Mode of Action. Journal of Economic Entomology, Volume 113, Issue 3, June 2020, Pages 1519–1527. https://doi.org/10.1093/jee/toz343.

Richtlinie (EU) 2026/805 (2026). Richtlinie (EU) 2026/805 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. März 2026 zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, der Richtlinie 2006/118/EG zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung und der Richtlinie 2008/105/EG über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik. (2026, 20. April) Amtsblatt der Europäischen Union L 2026/805. http://data.europa.eu/eli/dir/2026/805/oj [Letzter Abruf 05.05.2026].

Rijksoverheid Nederland (2024). Afzetgegevens gewasbeschermingsmiddelen in Nederland https://www.rijksoverheid.nl/documenten/2022/05/19/afzetgegevens-gewasbeschermingsmiddelen-in-nederland [Letzter Abruf am 07.07.2026].

SAIO (2022). Verordnung (EU) 2022/2379 des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. November 2022 über Statistiken zu landwirtschaftlichen Betriebsmitteln und zur landwirtschaftlichen Erzeugung, zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 617/2008 der Kommission sowie zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 1165/2008, (EG) Nr. 543/2009 und (EG) Nr. 1185/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie der Richtlinie 96/16/EG des Rates. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2022/2379/oj/eng [Letzter Abruf 05.05.2026].

Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M.B., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., & Midgley, P.M. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/ [Letzter Abruf am 22.04.2026].

TA Luft (2021). Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft). 18. August 2021, GMBl 2021 S. 1050. https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_18082021_IGI25025005.htm [Letzter Abruf 05.05.2026].

TRGS 512 (2012). Technische Regeln für Gefahrstoffe: Begasung https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/TRGS-512 [Letzter Abruf am 30.12.2025].

UBA (2016). Reihlen, A., Bunke, D., Gruhlke, A., Groß, R., & Blum, C. Leitfaden Nachhaltige Chemikalien – Eine Entscheidungshilfe für Stoffhersteller, Formulierer und Endanwender von Chemikalien. Umweltbundesamt, ed., November 2016. https://doi.org/10.60810/openumwelt-5089.

UBA (2020). Gartiser, S., Petersen, E., & Smolka, S. Alternativen zum Biozid-Einsatz: Reduzierung der Verwendung von Bioziden – Prüfung von Alternativen zum Biozid-Einsatz. Umweltbundesamt, ed., Juli 2020. https://doi.org/10.60810/openumwelt-6371.

UBA (2021). Schütze, G., Günther, J., Fee, E., Klatt, A., Döring, U., Schmitz, D., Behnke, A., Reichart, A., Nowack, A., Brozowski, F., Fischer, J., Güth, M., Schwanemann, T., & Hofmeier, K. Umweltschutz, Wald und nachhaltige Holznutzung in Deutschland. Umweltbundesamt, ed., März 2021. https://doi.org/10.60810/openumwelt-3402.

UBA (2022a). Umweltbundesamt. Die Treibhausgase. Stand 14.11.2022. https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen/die-treibhausgase [Letzter Abruf am 13.02.2026].

UBA (2022b). Kohlendioxid-Emissionsfaktoren für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen. https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.umweltbundesamt.de%2Fsystem%2Ffiles%2Fmedien%2F361%2Fdokumente%2Fco2_ef_liste_2022_brennstoffe_und_industrie_final.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK [Letzter Abruf am 30.07.2026].

UBA (2023a). Monitoringbericht 2023 zur Anpassungsstrategie an den Klimawandel: FW-I-5 Schadholz – Umfang nicht planmäßiger Nutzungen. Stand 28.11.2023. https://www.umweltbundesamt.de/monitoring-zur-das/handlungsfelder/wald-und-forstwirtschaft/fw-i-5/indikator#fw-i-5-schadholz-umfang-nicht-planmiger-nutzungen [Letzter Abruf am 29.01.2026].

UBA (2023b). Monitoringbericht 2023 zur Anpassungsstrategie an den Klimawandel: FW-R-4 + 5: Rohholzverwendung und Holzbauquote. Stand 28.11.2013. https://www.umweltbundesamt.de/monitoring-zur-das/handlungsfelder/wald-und-forstwirtschaft/fw-r-4_fw-r-5/indikator#fw-r-4-rohholzverwendung [Letzter Abruf am 29.01.2026].

UBA (2023c). Feinstaubbelastung durch Holzfeuerungen. Stand 14.02.2023. https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/feinstaub/feinstaubemission-aus-kaminen-holzoefen [Letzter Abruf am 16.06.2026].

UBA (2024). Ansatz zur Neubewertung von CO2-Emissionen aus der Holzverbrennung. Umweltbundesamt, 30.10.2024. https://doi.org/10.60810/openumwelt-7639.

UBA (2025). Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2025 - Nationales Inventardokument zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2023. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Juni 2025, Climate Change 39/2025, Seite 391-393. https://doi.org/10.60810/openumwelt-7957.

UBA (2026). Eser, N., Matthey, A., & Bünger, B. Handbuch Umweltkosten - Methodenkonvention 4.0. Umweltbundesamt, Februar 2026. https://doi.org/10.60810/openumwelt-8330.

UMK (2021). Endgültiges Ergebnisprotokoll der 97. Umweltministerkonferenz am 26. November 2021 per Videokonferenz. TOP 27: Fluorierte Treibhausgase konsequent reduzieren. https://www.umweltministerkonferenz.de/documents/endgueltiges-protokoll-97-umk-am-26-november-2021.pdf [Letzter Abruf am 16.03.2026].

Umweltinstitut München (2025a). Umweltinstitut München e.V. Sulfurylfluorid: Klimagift-Einsatz wird massiv unterschätzt. https://umweltinstitut.org/energie-und-klima/meldungen/sulfurylfluorid-klimagift-einsatz-wird-massiv-unterschaetzt/ [Letzter Abruf am 24.02.2026].

Umweltinstitut München (2025b). Umweltinstitut München e.V. Sulfurylfluorid Verbrauchsmengen laut Informationsanfragen des Umweltinstituts an die Bundesländer [t]. https://umweltinstitut.org/wp-content/uploads/2026/02/2025_Sulfurylfluorid_Recherche_Umweltinstitut_update.xlsx [Letzter Abruf am 25.02.2026].

UNEP (2020). Handbook for the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. Ozone Secretariat, The Secretariat for the Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer and for the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, Fourteenth edition (2020). ISBN: 978-9966-076-79-3. https://ozone.unep.org/sites/default/files/Handbooks/MP-Handbook-2020-English.pdf [Letzter Abruf am 06.05.2026].

Vaquer, B. (2023). Method for phytosanitary treatment of wood by steam, in particular in a maritime shipping container, and associated system (EP4147725A1), Europäisches Patentamt. https://register.epo.org/application?number=EP22192079 [Letzter Abruf am 12.06.2026].

Verordnung (EU) Nr. 283/2013 der Kommission vom 1. März 2013 zur Festlegung der Datenanforderungen für Wirkstoffe gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln. (2013, 3. April). Amtsblatt der Europäischen Union L S. 1-84. http://data.europa.eu/eli/reg/2013/283/oj [Letzter Abruf 05.05.2026].

Waldkontor (2026). Telefonat P. Buchleitner (Waldkontor GmbH) am 02.02.2026.

Warncke, K. & Gschrey, B. (2021). Inventarermittlung der F-Gase 2019/2020 – Daten von HF(C)KW, FKW, SF6, NF3, SF5CF3, H(C) FE und PFPMIE für die nationale Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention für die Berichtsjahre 2019 und 2020. Umweltbundesamt, ed., Dessau-Roßlau, Dezember 2021, Texte 164/2021, Projektnummer 141272, Seite 70. https://doi.org/10.60810/openumwelt-5819.

Western, L. M., Rigby, M., Mühle, J., Krummel, P. B., Lunder, C. R., O'Doherty, S., Reimann, S., Vollmer, M. K., Young, D., Adam, B., Fraser, P. J., Ganesan, A. L., Harth, C. M., Hermansen, O., Kim, J., Langenfelds, R. L., Loh, Z. M., Mitrevski, B., Pitt, J. R., Salameh, P. K., Schmidt, R., Stanley, K., Stavert, A. R., Wang, H.-J., Weiss, R. F., & Prinn, R. G. (2025). Global emissions and abundances of chemically and radiatively important trace gases from the AGAGE network. Earth Syst. Sci. Data, 17, 6557–6582. https://doi.org/10.5194/essd-17-6557-2025.

Western, L. M., Rigby, M., Mühle, J., Krummel, P. B., Lunder, C. R., O'Doherty, S., Reimann, S., Vollmer, M. K., Adam, B., Fraser, P. J., Ganesan, A. L., Harth, C. M., Hermansen, O., Kim, J., Langenfelds, R. L., Loh, Z. M., Mitrevski, B., Pitt, J. R., Salameh, P. K., Schmidt, R., Stanley, K., Stavert, A. R., Wang, H.-J., Young, D., Weiss, R. L., & Prinn, R. G. (2026). Global Emissions and Abundances of Chemically and Radiatively Important Trace Gases from the AGAGE Network (Version 20260305) [Data set]. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.18878005.



▸ **Unsere Broschüren als Download**
Kurzlink: bit.ly/2dowYYI