



# 32. DEUTSCHE HOLZSCHUTZTAGUNG



Organisiert vom  
Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH

Dresden | 25. und 26. April 2024

**Herausgeber:**

© IHD 2024

Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH (IHD)  
Zellescher Weg 24  
01217 Dresden  
Germany

Telefon +49 351 4662 0  
[www.ihd-dresden.de](http://www.ihd-dresden.de)

Die im Folgenden wiedergegebenen Texte stammen von den jeweiligen Autoren und stellen nicht notwendigerweise den Standpunkt der Lektoren des Tagungsbandes dar.

Allen Besuchern des Kolloquiums werden die von den Referenten freigegebenen Unterlagen im Nachgang der Veranstaltung per E-Mail zugestellt.

# DEUTSCHE HOLZSCHUTZTAGUNG



Organisiert vom  
Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH

Dresden | 25. und 26. April 2024

# Referentenporträt

**Dr.  
Jan Benthien**

**Thünen-Institut für Holzforschung  
Gesundheit und Verbraucherschutz  
Wissenschaftler**



## **Ausbildung:**

- Berufsausbildung: Tischler, Tischlerei Bendschneider
- Studium: Holzwirtschaft, Univ. Hamburg
- Promotion: Fachbereich Biologie, Univ. Hamburg

## **Berufliche Stationen:**

- Tischlerei Suhm, Geselle
- Univ. H. und Bundesf. für Forst- und Holzwirtschaft, studentische Hilfskraft
- Univ. Hamburg, Wissenschaftler
  - Holz-Kunststoff-Verbundwerkstoff (WPC)
- Thünen-Institut für Holzforschung, Wissenschaftler
  - Faservermessung für die MDF-Produktion
  - Leichte Spanplatte mittels Spanorientierung und -geometrie
  - Durchtrittbeständigkeit von Stallbohlen
  - Bildanalytische Spanvermessung (3D ParticleView)
  - Unterwasser-Bohrwiderstandsmessung
  - Alternative Behandlungsmethoden von Rundholz im Export

## **Tätigkeitsfeld/Schwerpunkte:**

- Alternative Behandlungsmethoden von Rundholz im Export
- Einfluss von Spangeometrie auf Platteneigenschaften
- Hygroskopische Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen
- Kriechverhalten von Furnierschichtholz aus Buche
- Unterwasser-Bohrwiderstandsmessung

Telefon: +49 40 73962 652

E-Mail: [jan.benthien@thuenen.de](mailto:jan.benthien@thuenen.de)

# Substitution von Sulfuryldifluorid (SF) im Rundholzexport

<sup>1)</sup> Jan T. Benthien, Andreas Krause, Jochen Trautner (Thünen-Institut für Holzforschung)

<sup>2)</sup> Eckhard Melcher

## 1 EINLEITUNG

Der Export von berindetem Rundholz setzt in der Regel dessen phytosanitäre Behandlung voraus, um die Verschleppung von Quarantäneorganismen zu vermeiden. Das hierfür angewendete Verfahren muss vom Importland anerkannt sein und den gesetzlichen Bestimmungen des Behandlungslands genügen.

Mit Anteilen von rund 30 bis 48 % in den Jahren 2019 – 2023 war China das mengenmäßig bedeutendste Exportland für Rundholz aus Deutschland (Anhang, Tabelle 9).

Von China anerkannte Behandlungsmethoden sind die Wärmebehandlung, die Wässerung (Unterwasserlagerung) sowie das Ausräuchern (Begasung), z. B. mit Sulfuryldifluorid ( $\text{SO}_2\text{F}_2$ , kurz SF) bei 5 – 10 °C mit 104 g/m<sup>3</sup> für mindestens 24 Stunden bzw. > 10 °C, 80 g/m<sup>3</sup>, ≥ 20 h (JKI 2020).

In Deutschland kommt in der Regel die Containerbegasung mit dem Pflanzenschutzmittel ProFume (Douglas Products, Missouri, USA) mit SF als Wirkstoff zum Einsatz. Dabei ist es aktuelle Praxis, das Gas im Anschluss an die Behandlung in die Atmosphäre zu entlassen (Containerlüftung). Sulfuryldifluorid ist in der Europäischen Union (EU) in geringfügiger Anwendung bis 31.01.2027 als Wirkstoff für Pflanzenschutzmittel zugelassen (Durchführungsverordnung (EU) 2023/1757). Das Pflanzenschutzmittel ProFume hat für

Deutschland bis 31.10.2024 eine Zulassung. In dieser wird bezüglich des Mittelaufwands hinweisend erläutert, dass Einwirkungszeit und Dosierung von „relevanten Einflussfaktoren“ (z. B. der Temperatur) abhängig sind, wobei als maximale Gaskonzentration 128 g/m<sup>3</sup> angegeben wird. Zur Anwendungstechnik ist für eine hinreichende Wirksamkeit eine Temperatur von 20 °C im Begasungsobjekt erforderlich (BVL 2024).

Die Substanz SF wird mit – je nach Quelle und Annahmen für die Berechnung – einem um den Faktor 4090 (UBA 2022), 4750 (Sulbaek Andersen et al. 2009) bzw. 4780 (Papadimitriou et al. 2008) größeren Erwärmungspotenzial (bezogen auf einen Zeitraum von 100 Jahren) (engl. Global Warming Potential, kurz GWP100) als Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) als klimawirksam beschrieben. Wenngleich SF-Emissionen bei den gesetzten Klimaschutzziele (Reduktion von Treibhausgasemissionen bis 2045 auf Netto-Null, negative Kohlenstoffbilanz ab 2050 – § 3 Abs. 2 KSG) keine Berücksichtigung finden, sind diese doch real. Ist also die tatsächliche, nicht die formelle Zielerreichung beabsichtigt, müsste auch die Reduktion dieser Emissionen angegangen werden.

Vor dem Hintergrund der in den Jahren 2019 – 2022 gegenüber dem vierjährigen Mittel der vorangegangenen Jahre um den

Faktor 2,0 – 3,0 gestiegenen Rohholzexporten aus Deutschland – insbesondere den um den Faktor 6,4 – 12,3 nach China gestiegenen Rundholzexporten (Anhang, Tabelle 9) – ist jedoch allein im Hamburger Hafen die Einsatzmenge an SF um den Faktor 4,0 – 8,3 gestiegen (Tabelle 1). Die sich beim Heranziehen des Faktors von 4090 aus diesen SF-Emissionen berechnenden CO<sub>2</sub>-Äquivalente werden in Tabelle 1 ergänzend aufgelistet.

Tabelle 1: Einsatzmenge SF im Hamburger Hafen nach Jahren (2015–2022); unter Verwendung des Faktors 4090 berechnete CO<sub>2</sub>-Äquivalente. 1) Drucksache, 21/19518, 2) Quellen siehe Anhang, Tabelle 8

Jahr	SF (t)	CO <sub>2</sub> -Äquivalente (Tsd. t)
2015	16,7 <sup>1)</sup>	68
2016	24,5 <sup>1)</sup>	100
2017	18,9 <sup>1)</sup>	77
2018	51,2 <sup>1)</sup>	209
2019	203,7 <sup>2)</sup>	833
2020	230,2 <sup>2)</sup>	941
2021	110,4 <sup>2)</sup>	452
2022	162,0 <sup>2)</sup>	663

Als Grund für die gestiegenen Exporte sind Preisrückgänge aufgrund eines gestiegenen Schadholzaufkommens (gestiegener Schadholzeinschlag), insbesondere aufgrund von Käferkalamitäten (Schadholzeinschlag aufgrund von Insektenbefall) naheliegend (Anhang, Tabelle 10). Der Anteil von Nadelholz an dem nach China exportierten Rundholz betrug in den Jahren 2019 – 2022 im Mittel 92 % (Anhang, Tabelle 7).

Vor dem Hintergrund der im Widerstreit miteinander stehenden, im KSG formulierten Zielen und den gestiegenen SF-Emissionen im Kontext des Holzexports wird im Rahmen des Klimaschutz-Sofortprogrammes 2022 zur Umsetzung der „Forschungsinitiative zur Erreichung der Klimaschutz-

ziele 2030“ das Forschungsverbundprojekt KLIMATiv (Klimaneutrale Begasungsverfahren und alternative Behandlungsmethoden für Rundholz im Export) finanziert. Projektpartner sind das Thünen-Institut für Holzforschung (TI-HF) und das Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Nationale und Internationale Angelegenheiten der Pflanzengesundheit, Institut für Waldschutz (beide Braunschweig) und Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz (Berlin).

Inhalt des Projektteiles des TI-HF ist es, die Wirksamkeit und Praktikabilität weniger klimabelastender Alternativen zur Behandlung mit SF, nämlich der Wärmebehandlung, aber auch Wasserlagerung, Lagerung in Stickstoff- oder CO<sub>2</sub>-Atmosphäre, Unterdruckbehandlung sowie Kombinationen aus Inertgas-, Überdruck- und Wärmebehandlung, zu untersuchen.

Bei den nachfolgend vorgestellten Untersuchungen zur Wärmebehandlung von beirndetem Fichtenholz war es die Absicht, erste praktische Vorstellungen zur Vakuum/Dampf-Behandlung zu gewinnen, wie sie mit Anlagen der Welker Vakuum GmbH (Neustadt an der Weinstraße) möglich ist. Neben dieser wurden vergleichend eine Behandlung mit trockener Heißluft sowie eine Satttdampfbehandlung bei Atmosphärendruck durchgeführt.

Für die Untersuchung wurde davon ausgegangen, dass eine Temperatur von  $\geq 56$  °C über einen Zeitraum von  $\geq 30$  Minuten für holzerstörende Insekten tödlich wirkt, wie es ISPM 15 – Internationaler Standard für die Verringerung des Risikos der Einschleppung und Ausbreitung von Quarantäneschädlingen im Zusammenhang mit der

Verbringung von Holzverpackungsmaterial (FAO 2018) nahelegt.  
aus Rohholz im internationalen Handel –

## 2 AUFBAU UND ERGEBNISSE DER DURCHGEFÜHRTEN WÄRMEBEHANDLUNGEN

Als Untersuchungsmaterial kamen Stammabschnitte (á 1 m lang) von insgesamt vier frisch gefällten Fichten (ohne erkennbaren Schädlingsbefall) mit einem Durchmesser um 25 cm aus der Lüneburger Heide (Niedersächsische Landesforsten, Forstamt Sellhorn, Bispingen) zum Einsatz (Abbildung 1). Der Einschnitt erfolgte fünf Tage vor den Behandlungen in KW4, 2024. Angaben zu den Abmessungen und der Masse der Stammabschnitte sind in Tabelle 2 zu finden.

Für die Untersuchungen kam eine Anlage im Technikum der Welker Vakuum GmbH (Abbildung 2) zum Einsatz, bei der die Behandlungskammer evakuiert, mit Druck beaufschlagt, mit Dampf und/oder elektrisch beheizt sowie das ggf. enthaltene Gas (Luft, Dampf oder Luft-Dampf-Gemisch) verwirbelt (vakuumfester Ventilator) werden kann. Für die Durchführung von Dampfbehandlungen ist in der Anlage ein „Eco-Heater“ verbaut, der für die Dampferzeugung bei niedrigen Temperaturen warmes

Wasser bereitstellt (Dampfentwicklung dann infolge der Druckabsenkung). Für die Dampfbehandlung bei Normaldruck wird über höhere Wassertemperaturen direkt Dampf erzeugt. Das Nutzvolumen der Behandlungskammer beträgt 1,37 m<sup>3</sup>, (1,44, 1,01, 0,82/1,07) m (Tiefe, Breite, Höhe). Zur Beobachtung der Aufheizung des Holzes standen fünf Temperatursensoren mit automatischer Messwertaufzeichnung zur Verfügung. Der Bedarf an elektrischer Energie für die jeweiligen Versuche wurde über einen elektronischen „Stromzähler“ bestimmt, der der Hauptstromversorgung vorgeschaltet war.

Zur Aufheizung des Untersuchungsmaterials auf 56 °C und dem anschließenden Halten bei mindestens dieser Temperatur für 30 Minuten wurden vier unterschiedliche Prozesse gefahren. Hierbei wurden je Versuch drei Stammabschnitte nebeneinander auf einer Holzpalette in der Behandlungskammer platziert. Die Charakteristika

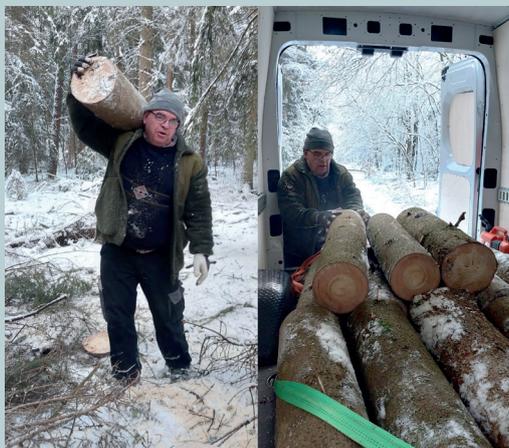


Abbildung 1: Rücken und Verladen der Stammabschnitte mit Unterstützung durch Bernd Bartels (Thünen-Institut) (Fotos: ©Thünen-Institut/Jan Benthien)



Abbildung 2: Technikumsanlage (Vapomat 1245) bei Welker Vakuum GmbH (Foto: ©Thünen-Institut/Jan Benthien)

der eingesetzten Stammabschnitte sind in Tabelle 2 aufgeführt. Als Arbeitstemperatur in der Behandlungskammer wurden einheitlich 90 °C gewählt. Die Details der gewählten Prozesse sind nachfolgend angeführt, wobei das Aufheizen bei Versuch 1 allein mittels elektrischer Konvektoren (ohne Dampf), bei den Versuchen 2 – 4 allein mittels Dampf (ohne elektrische Zusatzbeheizung) umgesetzt wurde:

#### VERSUCH 1 – TROCKENE HITZE

- Aufheizen der Behandlungskammer in zwei Schritten mittels elektrischer Konvektoren auf 90 °C
- Druckausgleich nach jedem Aufheisschritt
- Halten der Kammertemperatur, bis alle Stämme für 30 Minuten eine Kerntemperatur von min. 56 °C haben

#### VERSUCH 2 – VAKUUM/DAMPF (3 VAKUUMPHASEN)

- Schrittweises Aufheizen der Stämme mit vor- bzw. zwischengeschaltetem Vakuum mittels Dampf (Dampf Temperatur 90 °C)
  - Schritt 1: 95%iges Vakuum (ca. 50 mbar Restdruck)
  - Schritt 2: Dampf, bis alle Stämme 25 °C im Kern erreicht haben; Halten der Prozessparameter für 5 Minuten
  - Schritt 3: 85%iges Vakuum (ca. 150 mbar Restdruck)
  - Schritt 4: Dampf, 40 °C Kerntemperatur, Halten für 5 min
  - Schritt 5: 85%iges Vakuum (ca. 150 mbar Restdruck)
  - Schritt 6: Dampf, min. 56 °C Kerntemperatur
- Halten der Kerntemperatur für 30 Minuten

Tabelle 2: Charakteristika der eingesetzten Stammabschnitte (Nr.), vor und nach der Behandlung, zu den jeweiligen Versuchen. Als Durchmesser ist der Mittelwert aus vier Messwerten, zwei zueinander senkrechten Messungen je Abschnittseite, angegeben. „Dichte“ ist die des grünen, waldfrischen Holzes.

Nr.	Vor Behandlung					Nach Behandlung	
	Masse (kg)	Durchmesser (cm)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Dichte (kg/m <sup>3</sup> )	Feuchte (%)	Masseabnahme (%)	Feuchte (%)
Versuch 1 – Trockene Hitze							
1A	46,3	24,5	0,048	968	146	2,1	141
1B	41,6	24,3	0,046	906	154	2,3	148
1C	36,3	24,4	0,046	794	118	3,3	111
Versuch 2 – Vakuum/Dampf (3 Vakuumphasen)							
2A	44,0	25,4	0,051	859	140	1,1	137
2B	48,0	25,3	0,051	950	149	1,5	146
2C	35,1	22,0	0,038	928	163	1,0	160
Versuch 3 – Vakuum/Dampf (1 Vakuumphase)							
3A	45,0	25,0	0,050	907	154	2,2	149
3B	45,6	24,7	0,048	953	153	2,4	147
3C	39,0	23,6	0,044	894	155	2,0	150
Versuch 4 – Sattedampf							
4A	49,0	26,9	0,060	823	147	1,3	144
4B	39,6	25,4	0,050	793	120	0,9	118
4C	35,6	23,7	0,045	789	128	0,7	127

### VERSUCH 3 – VAKUUM/DAMPF (1 VAKUUMPHASE)

- 95%iges Vakuum (ca. 50 mbar Restdruck)
- Aufheizen mittels Dampf (90 °C), bis alle Stämme min. 56 °C im Kern erreicht haben
- Halten der Kerntemperatur für 30 Minuten

### VERSUCH 4 – SATTDAMPF

- Aufheizen der Behandlungskammer in drei Schritten (70 °C, 80 °C, 90 °C) mittels Dampf (120 °C)
- sofortiger Druckausgleich nach den ersten zwei Aufheizschritten; Druckausgleich beim dritten Heizschritt nach 1 h
- weitere Dampf-Druckausgleichszyklen (Druckausgleich nach je 1 h), bis alle Stämme min. 56 °C für 30 Minuten im Kern haben

Für die Versuche wurden drei der fünf Temperatursensoren so in den Stammabschnitten platziert, dass jeweils mittig (ca. 50 cm von der Hirnschnittfläche) die Kerntemperatur zu erfassen war. Zusätzlich wurden bei dem mittig liegenden Stammabschnitt zwei Sensoren so platziert, dass die Temperatur (a) mittig auf halber Strecke zum Kern und (b) die Kerntemperatur (ca. 20 cm von der Hirnschnittfläche) gemessen werden konnte. Durch diese Anordnung sollte das

Erreichen und Halten einer Kerntemperatur von 56 °C für die Dauer von 30 Minuten dokumentiert, die Temperaturentwicklung in radialer Richtung in der Stammmitte beobachtet und eine möglicherweise schnellere Aufwärmung des Kerns in Stammmitte über die axiale Richtung als radial diagnostiziert werden.

Sowohl für ganze Stammabschnitte als auch für Prüfkörper über den Querschnitt wurde die (Holz-) Feuchte mittels Darrverfahren (DIN EN 13183-1:2002-7) bestimmt. Die Stammabschnitte wurden vor und nach der Behandlung gewogen, anschließend seitlich der Mitte ein ca. 15 cm langer Abschnitt herausgeschnitten, dieser gewogen, bei 103 °C gedarrt und erneut gewogen. Auf Basis der erhaltenen Daten wurde die Feuchte der Stammabschnitte berechnet. Für die Bestimmung der Holzfeuchteverteilung über den Querschnitt der ausgesuchten Stammabschnitte wurden Prüfkörper geschnitten (Abbildung 4), deren Feucht- und Darrmasse bestimmt und die Holzfeuchte in Prozent als Massenverhältnis von Wasser zu trockener Holzsubstanz angegeben:

$$\text{Holzfeuchte [\%]} = ((\text{Feuchtmasse} - \text{Trockenmasse}) / \text{Trockenmasse}) \times 100$$

Die Dichte der grünen, waldfrischen Stammabschnitte wurde anhand von Stammvolumen ( $V = (d^2 \times \pi) / 4 \times l$ , mit  $d$  = mittlere Durchmesser und  $l$  = Stammabschnittslänge) und Masse berechnet: Dichte = Masse / Volumen. Für die Bestimmung der Rohdichte wurden die zuvor für die Feuchtebestimmung gedarrten Abschnitte bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte klimatisiert, aus diesen rechteckige Prüfkörper geschnitten



Abbildung 3: Positionen der Temperatursensoren in den Stammabschnitten

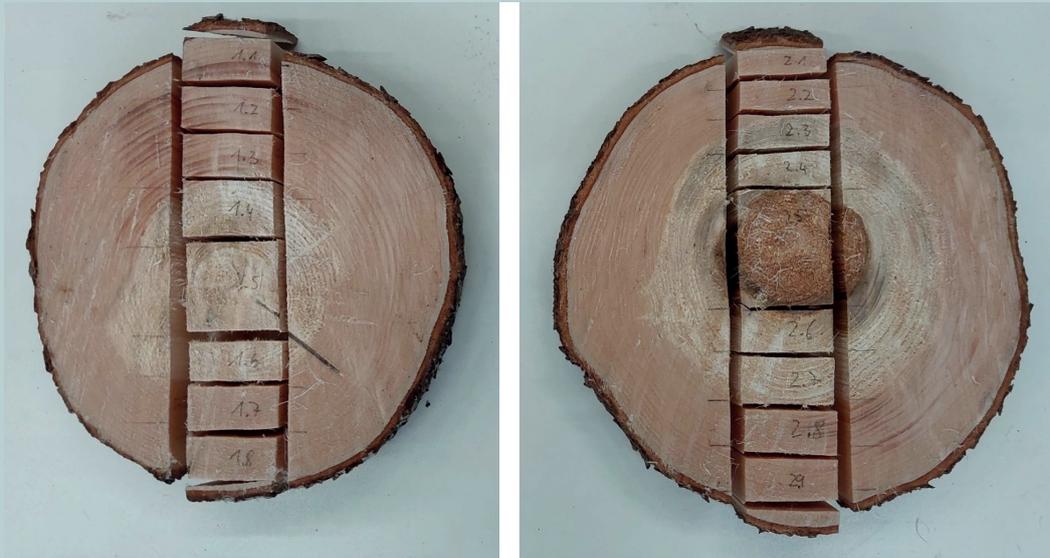


Abbildung 4: Prüfkörperentnahme zur Bestimmung der Feuchteverteilung über den Querschnitt, links: Referenz 1 (R 1.0–R 1.9), rechts: Referenz 2 (mit Kernfäule im Reifholz) (R 2.0–R 2.10) (Foto: ©Thünen-Institut/Jan Benthien)

und deren Abmessungen und Masse bestimmt.

Die in Abbildung 5 dargestellten Ergebnisse zeigen das typische Profil der Feuchteverteilung über den Querschnitt grüner Fichte. Die Kernfeuchten betragen in der Regel zwischen 32 und 40 % und lagen damit nahe Fasersättigung. Demgegenüber wurden erwartungsgemäß sehr hohe Holzfeuchten im Splint von bis zu 231 % berechnet. Die ermittelte Kernfeuchte von 72 % für Referenz 2 ist höchstwahrscheinlich Folge der vorliegenden Kernfäule. Sowohl diese als auch die über den Querschnitt unterschiedlich verteilte Feuchte lässt sich visuell in Abbildung 4 nachvollziehen (satt-nass wirkender Splint, hell-trocken wirkendes Kernholz, rot-braun fauliger Kern bei Referenz 2). Die Feuchte der Randstücke – immer mit Rinde aber jeweils unterschiedlicher Menge an Holz – beträgt im Schnitt 122 %.

Die Feuchte (über alles) der jeweils eingesetzten Stammabschnitte ist in Tabelle 2 aufgelistet und beträgt im Mittel 144 %. Die Holzfeuchte nahm im Zuge der Behand-

lung im Mittel um 4 %-Punkte ab; minimal um 2, maximal um 7 %-Punkte. In Bezug auf die mittlere Stammfeuchte sowie den Umstand, dass die Feuchte auch nach der Behandlung noch weit über Fasersättigung liegt, ist der Feuchteverlust über die Behandlung ohne praktische Relevanz. Die Beobachtung einer etwaigen Austrocknung der Stammenden könnte hilfreiche Zusatzkenntnisse bringen.

Die Dichte der grünen, waldfrischen Stammabschnitte ist in Tabelle 2 aufgelistet. Die Rohdichte der bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte klimatisierten Prüfkörper betrug im Mittel 415 kg/m<sup>3</sup>, der Minimalwert 373 kg/m<sup>3</sup>, der Maximalwert 453 kg/m<sup>3</sup>.

In Abbildung 6 werden anhand von Versuch 2 (Vakuum/Dampf, 3 Vakuumphasen) die über den Prozess erhobenen Daten veranschaulicht. Deutlich wird, dass sich die drei in der Behandlungskammer befindlichen Stammabschnitte unterschiedlich schnell erwärmen. Ferner ist ersichtlich, dass an den Sensoren „mittig-halb“ und „Hirn-Mitte“ nach einem deutlich kürzeren Zeitraum

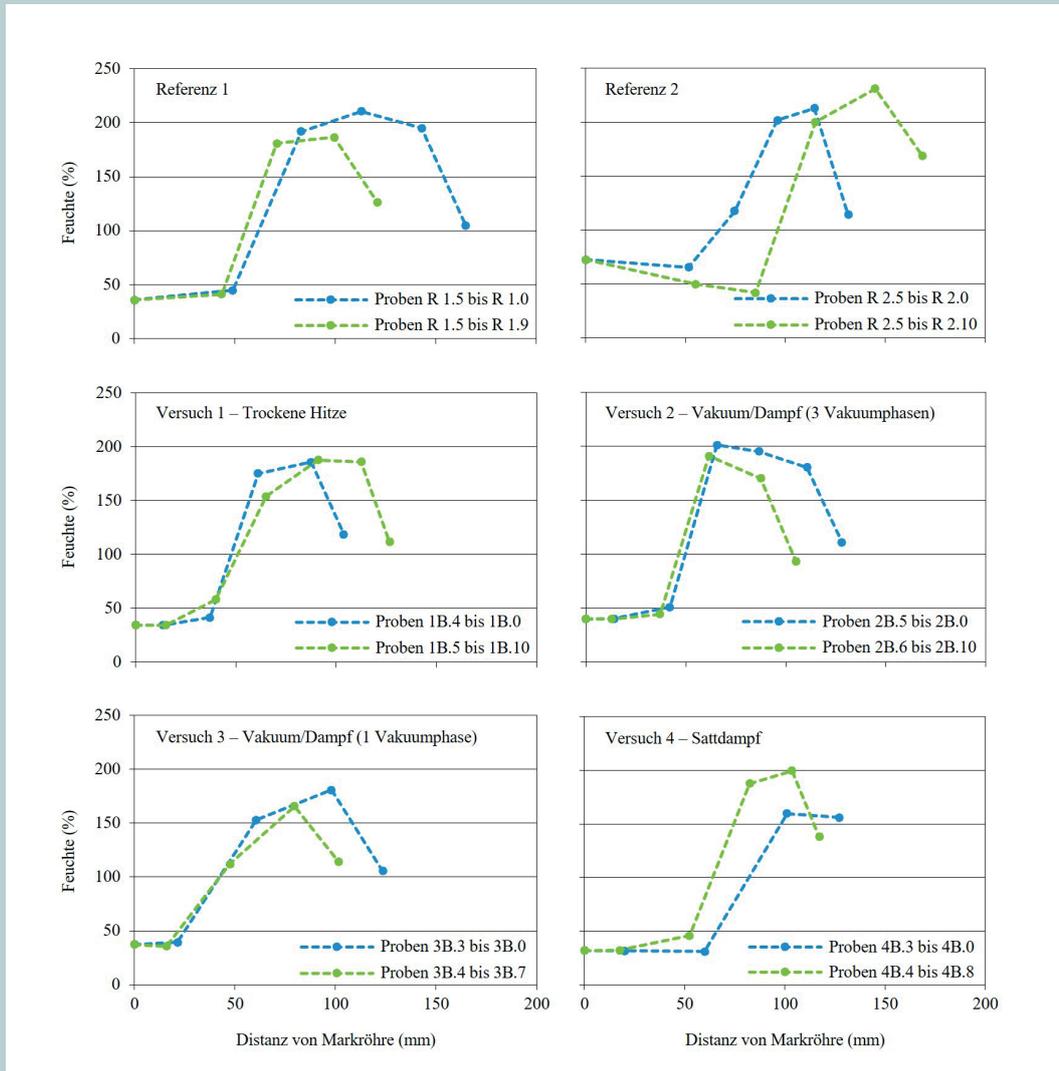


Abbildung 5: Feuchteverteilung über den Querschnitt der Referenzen (Referenz 1, Referenz 2) sowie der Proben, die nach den Behandlungen aus der Stammmitte des jeweils mittig in der Behandlungskammer liegenden Stamms (Versuch 1, Stamm 1B; Versuch 2, Stamm 2B; Versuch 3, Stamm 3B; Versuch 4, Stamm 4B) geschnitten wurden

eine höhere Temperatur als an den Positionen „Mitte-mittig-Mitte“ zu messen ist. Auffällig ist, dass über die Vakuumschritte die Kammertemperatur absinkt, was mit dem vermehrten Verdampfen von Wasser durch Abnahme des Kammerdrucks zu erklären ist. Dass im Kern der Stammabschnitte die Zieltemperatur von 56 °C erreicht und über 30 Minuten gehalten wurde, wird mit dem Überschreiten der 56 °C-Linie durch alle Kurven der Temperatursensoren und deren anschließend

offensichtlichem Verbleib oberhalb dieses Niveaus (für 30 Minuten) anschaulich.

Da das Untersuchungsmaterial unmittelbar vor den Versuchsdurchführungen während einer Frostperiode geschlagen wurde und keine Möglichkeit bestand, dass die Stammabschnitte vor dem Versuchsbeginn eine einheitliche Ausgangstemperatur annehmen, unterschieden sich die Temperaturen der Stammabschnitte zwischen den jeweiligen Versuchen. Bei der Versuchsauswertung wurde versucht, diesem Umstand

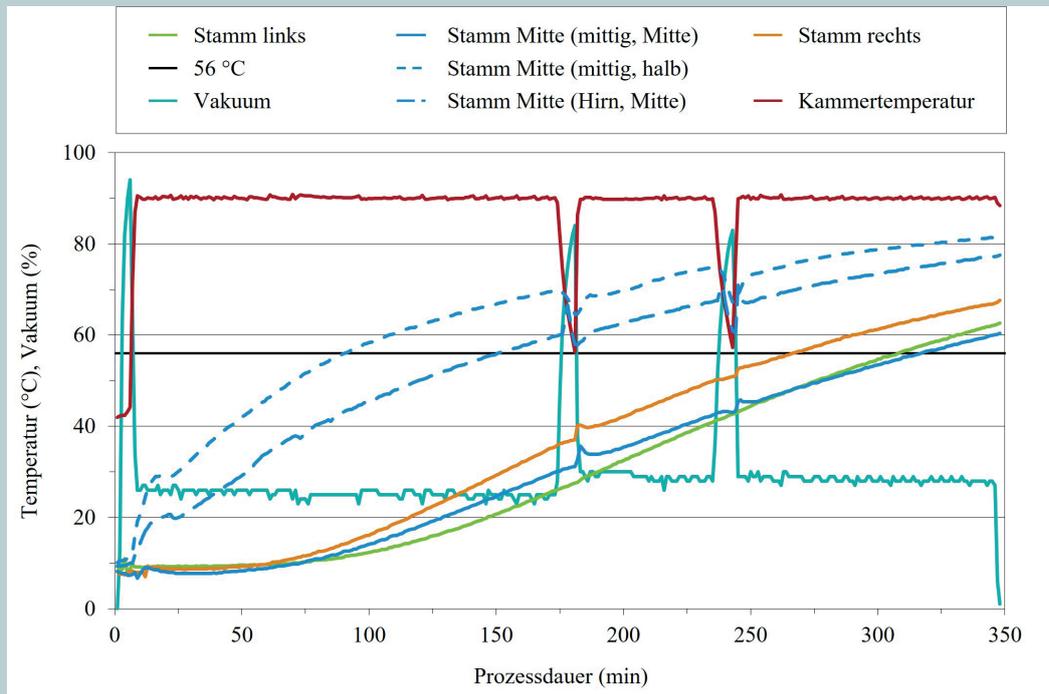


Abbildung 6: Prozessdaten zu Versuch 2 (Vakuum/Dampf, 3 Vakuumphasen)

Tabelle 3: Starttemperaturen der in den Versuchen eingesetzten Stämme

	links (°C)	Mitte			rechts (°C)
		mittig		Hirn	
		Mitte (°C)	halb (°C)	Mitte (°C)	
Versuch 1 – Trockene Hitze	0,1	3,1	4,3	4,6	5,6
Versuch 2 – Vakuum/Dampf (3 Vakuumphasen)	9,2	8,2	10,1	9,4	8,2
Versuch 3 – Vakuum/Dampf (1 Vakuumphase)	10,9	12,5	12,7	13,5	10,6
Versuch 4 – Sattdampf	0	0,9	6,4	5,7	0

zu begegnen, indem für den Vergleich der vier Behandlungen sowohl die Prozesslaufzeiten insgesamt als auch die Zeitspannen herangezogen wurden, in denen eine Erwärmung von 15 °C auf 56 °C erfolgte.

Eine Übersicht der gemessenen Temperaturen zum jeweiligen Prozessstart liefert Tabelle 3. Augenscheinlich wird hier beispielsweise, dass die für Versuch 3 eingesetzten Stammabschnitte im Mittel bereits eine Temperatur von rund 11 °C hatten. Die für Versuch 4 eingesetzten Stamm-

abschnitte hatten hingegen im Kern noch eine Temperatur nahe dem Gefrierpunkt.

Die Prozesslaufzeiten betragen:

- Versuch 1 – Trockene Hitze: 10,9 h
- Versuch 2 – Vakuum/Dampf (3 Vakuumphasen): 5,8 h
- Versuch 3 – Vakuum/Dampf (1 Vakuumphase): 5,6 h
- Versuch 4 – Sattdampf: 7,7 h

Eine Übersicht der Zeitspannen, innerhalb derer eine Aufheizung von 15 °C auf 56 °C erfolgte, wird in Tabelle 4 gegeben.

Tabelle 4: Zeitspannen innerhalb derer eine Aufheizung von 15 °C auf 56 °C erfolgte

	Stamm links		Stamm Mitte		Stamm rechts	
	Nr.	Dauer (h)	Nr.	Dauer (h)	Nr.	Dauer (h)
Versuch 1 – Trockene Hitze	1A	4,95	1B	4,87	1C	5,42
Versuch 2 – Vakuum/Dampf (3Vakuumphasen)	2A	3,15	2B	3,55	2C	2,9
Versuch 3 – Vakuum/Dampf (1Vakuumphase)	3A	3,17	3B	3,2	3C	3,13
Versuch 4 – Sattdampf	4A	2,93	4B	2,68	4C	2,42

Tabelle 5: Früheres Erreichen der Temperatur von 56 °C an den Positionen „Mitte-mittig-half“ und „Mitte-Hirn-Mitte“ im Vergleich zu Position „Mitte-mittig-Mitte“ sowie deren Differenz (Delta).

	Hirn-Mitte (hh:mm)	mittig-half (hh:mm)	Delta (min)
Versuch 1 – Trockene Hitze	02:36	02:22	14
Versuch 2 – Vakuum/Dampf (3 Vakuumphasen)	01:34	01:37	-3
Versuch 3 – Vakuum/Dampf (1 Vakuumphase)	01:25	01:24	1
Versuch 4 – Sattdampf	01:45	01:41	4

Eine Übersicht darüber, wie viel früher an den Positionen „Mitte-mittig-half“ und „Mitte-Hirn-Mitte“ im Vergleich zur Position „Mitte-mittig-Mitte“ eine Temperatur von 56 °C erreicht wurde, ist Tabelle 5 zu entnehmen. Zusätzlich wird hier die Differenz zwischen den Zeitpunkten des Erreichens der Zieltemperatur an den Positionen „Mitte-mittig-half“ und „Mitte-Hirn-Mitte“ angegeben.

Für die weitere Auswertung wurde über die in Tabelle 4 aufgelisteten Aufheizdauern (von 15 °C auf 56 °C) je Versuch der Mittelwert gebildet und auf die Summe der jeweils in der Behandlungskammer befindlichen Masse an Stammholz bezogen. Als Ergebnis wird je Versuch die mittlere Aufheizdauer pro Kilogramm Stammholz erhalten und weiter die auf 126 kg (mittlere Kammerbeladung) bezogene Aufheizdauer berechnet:

- Versuch 1: 5,08 h/ 124,3 kg → 5,1 h/126 kg
- Versuch 2: 3,20 h/ 127,1 kg → 3,2 h/126 kg

- Versuch 3: 3,17 h/ 129,6 kg → 3,1 h/126 kg
  - Versuch 4: 2,68 h/ 124,2 kg → 2,7 h/126 kg
- Eine deutliche Differenz zwischen dem Zeitpunkt des Erreichens der Zieltemperatur an der Position „Mitte-mittig-half“ und „Mitte-Hirn-Mitte“ zeigte sich lediglich im Fall von Versuch 1 (Trockene Hitze) (14 Minuten). In den übrigen Fällen wurde die Zieltemperatur an Position „Mitte-mittig-half“ nahezu gleichzeitig (Versuch 3, 1 Minute früher) wie an Position „Mitte-Hirn-Mitte“, weniger als 5 Minuten früher (Versuch 4, 4 Minuten) oder sogar 3 Minuten später (Versuch 2) erreicht. Damit liefert lediglich Versuch 1 einen brauchbaren Hinweis darauf, dass der Wärmeeintrag in der Mitte des Stamms in die Mitte des Kerns in radialer Richtung erfolgt und die Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse auf längere Stämme (z. B. 11,8 m) nicht durch einen schnelleren Wärmetransport in axialer Stammrichtung eingeschränkt ist. Ein belastbarer Beleg hierfür müsste

Tabelle 6: Energiebedarfe für die untersuchten Wärmebehandlungen

	Energiebedarf je Stunde (kWh)	Dauer je 126 kg Stammmasse (h)	Energiebedarf für 126 kg Stammmasse (kWh)
Versuch 1 – Trockene Hitze	7,9	5,1	40,9
Versuch 2 – Vakuum/Dampf (3 Vakuumphasen)	9,7	3,2	30,8
Versuch 3 – Vakuum/Dampf (1 Vakuumphase)	10,3	3,1	31,7
Versuch 4 – Sattedampf	13,3	2,7	36,0

jedoch über Versuche mit einer deutlich größeren Anzahl an Temperatursensoren erbracht werden.

Für alle Versuche wurden die Rohdaten zum Energiebedarf um den Anteil bereinigt, der für den Bereitschaftsbetrieb des EcoHeaters zwischen dem Prozessende mit automatischer Öffnung der Kammertür (z. B. in der Nacht) und der Ablesung des „Stromzählers“ (am folgenden Morgen) berechnet wurde. Der so erhaltene Energiebedarf je Versuch wird – dividiert durch die Aufheizdauer von 15 °C auf 56 °C – in Tabelle 6 in Kilowattstunden je Stunde angegeben.

Die auf 126 kg Stammmasse bezogenen Energiebedarfe für die untersuchten Wärmebehandlungen erstrecken sich über eine Spanne von rund 31 bis 41 kWh, wobei der Energiebedarf für Versuch 1 (Trockene Hitze) der Größte und für Versuch 2 (Vakuum/Dampf, 3 Vakuumphasen) der Kleinste war. Wie auch der Umstand, dass bereits die unterschiedlichen Temperaturen der Stammabschnitte zwischen den Versuchen für eine gewisse Unschärfe bei

den Prozess- bzw. Aufheizdauern sorgen, sind weiter die berechneten Energiebedarfe lediglich als Anhaltspunkte zu verstehen, die einer Überprüfung bedürfen. So wären im Fall der Erhitzung mittels elektrischen Konvektors (Versuch 1 – Trockene Hitze) die Daten nicht nur um den Energiebedarf für den Bereitschaftsbetrieb des EcoHeaters außerhalb der eigentlichen Prozesslaufzeit zu bereinigen, sondern besser die Anlage ganz ohne diesen zu betreiben. Bei der Erhitzung mittels Sattedampf (Versuch 4) müsste der Energiebedarf für den Bereitschaftsbetrieb des EcoHeaters bei 120 °C abgezogen werden. Weiter zeigte ein undokumentierter Wiederholungsversuch zur Erhitzung mit Sattedampf von bereits zuvor genutzten Stammabschnitten eine geringe Prozessdauer und einen geringeren Energiebedarf, aber längere Aufheizdauern von 15 auf 56 °C, was die Notwendigkeit von Versuchswiederholungen und einem noch gewissenhafteren Versuchsaufbau verdeutlicht, um eine wirklich belastbare und für Hochskalierungen geeignete Datenbasis zu erhalten.

### 3 FAZIT

Ungeachtet der Unzulänglichkeiten wird aus der vorliegenden Untersuchung deutlich, dass die Wärmebehandlung technisch eine Alternative zur Begasung von Exportholz mit SF ist. Die Bedingungen, für die eine Abtötung holzerstörender Insekten anzunehmen ist ( $\geq 56$  °C für  $\geq 30$  Minuten in Stammmitte), lassen sich mit allen der vier angewendeten Prozesse sicher erreichen. Auch praktisch dürfte die Wärmebehandlung eine Alternative zur Begasung sein. Schließlich sind entsprechende Anlagen am Markt verfügbar. Auch wird die Wärmebehandlung vom eingangs als mengenmäßig bedeutendstem Exportland für Rohholz aus Deutschland als Behandlungsverfahren anerkannt. Zwar fordert China eine höhere Kerntemperatur ( $\geq 71,1$  °C) über einen längeren Zeitraum ( $\geq 75$  Minuten) (JKI 2020), jedoch dürfte dies keine grundlegende Veränderung des Verfahrens, sondern lediglich einen höheren Energiebedarf erfordern. Solange aufgrund der Behandlung keine Trocknung des Holzes unter Fasersättigung (ca. 30 %) erfolgt – weder insgesamt, noch an den Hirnschnittflächen oder der Mantelfläche des Stammzylinders – ist auch nicht

von einer Beeinträchtigung der Holzqualität auszugehen. Ob die Wärmebehandlung auch ökonomisch eine Alternative zur SF-Begasung ist, hängt von verschiedenen Parametern ab. Musterkalkulationen hierzu werden angefertigt, sobald belastbare Daten zum Energiebedarf vorliegen. Anhand der Untersuchungsergebnisse ist anzunehmen, dass die Dauer einer Wärmebehandlung die Dauer einer Begasung ( $\geq 24$  bzw.  $\geq 20$  h) unterschreiten dürfte. 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<sub>2</sub> für die Aufheizung des Holzes in einem Container lediglich unter der 4090fachen Menge an SF bleiben, die für eine Containerbegasung nötig ist. Veranschlagt man für einen 40-Fuß-Container ein Volumen von 68 m<sup>3</sup> und eine SF-Menge von 80 g/m<sup>3</sup>, so ergäbe dies 22.250 kg CO<sub>2</sub>, die für die Wärmebehandlung emittiert werden könnten, ohne dass eine schlechtere Bilanz vorläge.

### 4 DANKSAGUNG

Die Autoren bedanken sich herzlich bei Herrn Victor Steinmann und Herrn Ulf Eggert, Niedersächsische Landesforsten, Forstamt Sellhorn, Bispingen, für die außergewöhnlich gute Zusammenarbeit, der Firma Welker Vakuum GmbH für die Bereitstellung der Technikumsanlage, insbesondere Frau Tambrey Brunsmann für die praktische

Begleitung der Versuchsdurchführungen, Frau Dr. Susanne Iost, Thünen-Institut für Waldwirtschaft, Hamburg, für die freundschaftliche Zuarbeit bei Außenhandels- und Holzeinschlagsdaten sowie Frau Christina Waitkus, Thünen-Institut, Hamburg, für die Nachbearbeitung von Fotos.

## 5 QUELLEN

- JKI (2020) Rohholz – Behandlungsmethoden 2001/202 vom 29.06.2001, 30. Oktober 2020, URL: <https://pflanzengesundheit.julius-kuehn.de/index.php?menuid=28&downloadid=1081&reporeid=84> (letzter Zugriff 08.03.2024)
- Durchführungsverordnung (EU) 2023/1757 der Kommission vom 11. September 2023; ABL. L 224 vom 12.9.2023, S. 28–33
- BVL – Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (2024) Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel, Stand 01. März 2024, Profume, Anwendungsliste, Anwendungsnummer 025395-00/03-001. [https://psm-zulassung.bvl.bund.de/psm/jsp/BlattAnwendg.jsp?awg\\_id=025395-00/03-001&kennr=025395-00](https://psm-zulassung.bvl.bund.de/psm/jsp/BlattAnwendg.jsp?awg_id=025395-00/03-001&kennr=025395-00) (letzter Zugriff 08.03.2024)
- UBA – Umweltbundesamt (2022) Treibhauspotentiale (Global Warming Potential, GWP) ausgewählter Verbindungen und deren Gemische gemäß Viertem (AR4) und Fünftem (AR5) Sachstandsbericht des IPCC bezogen auf einen Zeitraum von 100 Jahren. S. 13. URL: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/10594/dokumente/2024-03\\_treibhauspotentiale\\_gwp\\_ar4\\_ar5\\_vo2024-573\\_homepage\\_deutsch.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/10594/dokumente/2024-03_treibhauspotentiale_gwp_ar4_ar5_vo2024-573_homepage_deutsch.pdf) (letzter Zugriff 02.04.2024)
- Sulbaek Andersen MP, Blade DR, Rowland FS, Hurley MD, Wallington TJ (2009) Atmospheric Chemistry of Sulfuryl Fluoride: Reaction with OH Radicals, Cl Atoms and O<sub>3</sub>, Atmospheric Lifetime, IR Spectrum, and Global Warming Potential. *Environmental Science and Technology* 43:1067–1070
- Papadimitriou VC, Portmann RW, Fahey DW, Mühle J, Weiss RF, Burkholder JB (2008) Experimental and Theoretical Study of the Atmospheric Chemistry and Global Warming Potential of SO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>. *Journal of Physical Chemistry A* 112:12657–12666
- KSG: Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3905) geändert worden ist
- Drucksache, 21/19518. (2020, 10. Januar). URL: [https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/69257/begasung\\_mit\\_sulfurylfluorid.pdf](https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/69257/begasung_mit_sulfurylfluorid.pdf) (letzter Zugriff 26.02.2024)
- FAO – Food and Agriculture Organization (2018) International Standard for Phytosanitary Measures 15 (ISPM 15) – Regulation of wood packaging material in international trade [Internationale Norm für phytosanitäre Maßnahmen 15 – Regulierung von Verpackungsmaterial aus Holz im internationalen Handel]
- DIN EN 13183-1:2002-7, Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz – Teil 1: Bestimmung durch Darrverfahren. Berlin: Beuth
- TI-WF – Thünen-Institut für Waldwirtschaft (2024) TI-WF auf Basis der vorläufigen Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamtes (2024)

Drucksache, 22/4884. (2021, 18. Juni). URL: [https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/76274/umweltkosten\\_oder\\_wirtschaftlicher\\_benefit\\_wer\\_zahlt\\_und\\_wer\\_verdient\\_am\\_sulfurylfluorid\\_einsatz.pdf](https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/76274/umweltkosten_oder_wirtschaftlicher_benefit_wer_zahlt_und_wer_verdient_am_sulfurylfluorid_einsatz.pdf) (letzter Zugriff 26.02.2024)

Drucksache, 22/9380. (2022, 22. September). URL: [https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/81113/wie\\_ist\\_der\\_sachstand\\_beim\\_sulfuryldifluorid.pdf](https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/81113/wie_ist_der_sachstand_beim_sulfuryldifluorid.pdf) (letzter Zugriff 26.02.2024)

Drucksache, 22/12853. (2023, 12. September). URL: [https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/84818/wie\\_ist\\_der\\_sachstand\\_beim\\_sulfurylfluorid.pdf](https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/84818/wie_ist_der_sachstand_beim_sulfurylfluorid.pdf) (letzter Zugriff 26.02.2024)

Destatis – Statistisches Bundesamt (2023) Code 41261-0002 (letzter Zugriff 15.03.2024)

Destatis – Statistisches Bundesamt (2023) Code 41261-0003 (letzter Zugriff 15.03.2024)

## 6 ANHANG

Tabelle 7: Rohholzexport aus Deutschland in den Jahren 2015–2023 nach China (TI-WF 2024)

Jahr	Nadelholz (NH) (Tsd. m <sup>3</sup> )	Laubholz (LH) (Tsd. m <sup>3</sup> )	NH + LH (Tsd. m <sup>3</sup> )	Anteil NH (%)
2015	3	377	379	0,7
2016	1	386	387	0,2
2017	3	452	455	0,7
2018	365	497	862	42,3
2019	3027	397	3424	88,4
2020	6107	309	6415	95,2
2021	4032	330	4362	92,4
2022	3030	325	3355	90,3
2023	2303	282	2585	89,1

Tabelle 8: Einsatzmenge SF im Hamburger Hafen nach Monaten und Jahren (2019 – 2023). 1) Drucksache 22/4884, 2) Drucksache 22/9380, 3) Drucksache 22/12853

	SF (t)				
	2019	2020	2021	2022	2023
Januar	11,0 <sup>1)</sup>	19,2 <sup>1)</sup>	6,6 <sup>1)</sup>	8,0 <sup>2)</sup>	14,6 <sup>3)</sup>
Februar	12,7 <sup>1)</sup>	22,5 <sup>1)</sup>	5,9 <sup>1)</sup>	9,9 <sup>2)</sup>	20,7 <sup>3)</sup>
März	13,7 <sup>1)</sup>	8,4 <sup>1)</sup>	16,6 <sup>1)</sup>	15,6 <sup>2)</sup>	27,1 <sup>3)</sup>
April	16,2 <sup>1)</sup>	16,7 <sup>1)</sup>	11,4 <sup>1)</sup>	13,4 <sup>2)</sup>	16,6 <sup>3)</sup>
Mai	15,3 <sup>1)</sup>	21,1 <sup>1)</sup>	9,8 <sup>1)</sup>	12,7 <sup>2)</sup>	14,4 <sup>3)</sup>
Juni	14,1 <sup>1)</sup>	14,5 <sup>1)</sup>	7,7 <sup>2)</sup>	12,4 <sup>2)</sup>	14,7 <sup>3)</sup>
Juli	15,5 <sup>1)</sup>	17,8 <sup>1)</sup>	6,2 <sup>2)</sup>	11,0 <sup>2)</sup>	9,1 <sup>3)</sup>
August	17,5 <sup>1)</sup>	25,7 <sup>1)</sup>	7,0 <sup>2)</sup>	11,5 <sup>2)</sup>	-
September	28,4 <sup>1)</sup>	22,9 <sup>1)</sup>	9,6 <sup>2)</sup>	13,8 <sup>3)</sup>	-
Oktober	25,4 <sup>1)</sup>	27,7 <sup>1)</sup>	13,3 <sup>2)</sup>	15,6 <sup>3)</sup>	-
November	20,2 <sup>1)</sup>	24,1 <sup>1)</sup>	10,5 <sup>2)</sup>	20,6 <sup>3)</sup>	-
Dezember	13,7 <sup>1)</sup>	9,7 <sup>1)</sup>	5,8 <sup>2)</sup>	17,6 <sup>3)</sup>	-
Summe	203,7	230,2	110,4	162,0	117,2

Tabelle 9: Rohholzexport aus Deutschland in den Jahren 2015–2023 insgesamt sowie davon nach China (TI-WF 2024)

Jahr	Gesamt	China	
	(Mio. m <sup>3</sup> )	(Mio. m <sup>3</sup> )	(%)
2015	3,93	0,38	9,7
2016	4,09	0,39	9,5
2017	4,38	0,45	10,4
2018	5,50	0,86	15,7
2019	9,04	3,42	37,9
2020	13,29	6,42	48,3
2021	12,11	4,36	36,0
2022	10,59	3,36	31,7
2023	8,58	2,58	30,1

Tabelle 10: Holzeinschlag in Deutschland in den Jahren 2015 – 2023 insgesamt (Destatis 2023, Code 41261-0002) sowie davon Schadholzeinschlag insgesamt und Schadholzeinschlag aufgrund von Insektenbefall (Destatis 2023, Code 41261-0003)

Jahr	Holzeinschlag insgesamt	Schadholz insgesamt		Schadholz Insektenbefall	
	(Mio. m <sup>3</sup> )	(Mio. m <sup>3</sup> )	(%)	(Mio. m <sup>3</sup> )	(%)
2015	55,6	12,9	23,2	3,3	6,0
2016	52,2	7,8	14,9	4,7	8,9
2017	53,5	12,3	22,9	6,0	11,2
2018	64,6	31,9	49,5	11,3	17,5
2019	68,9	46,2	67,1	31,7	46,0
2020	80,4	60,1	74,8	43,3	53,8
2021	83,0	50,5	60,9	41,1	49,5
2022	78,7	44,7	56,7	26,6	33,7

# Substitution von Sulfuryldifluorid (SF<sub>6</sub>) im Rundholzexport

Jan T. Benthien<sup>1</sup>, Eckhard Melcher<sup>2</sup>, Andreas Krause<sup>1</sup>, Jochen Trautner<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Thünen-Institut für Holzforschung, <sup>2</sup>21465 Wentorf, Wischhoff 28c



©Susanne Bollmus

# SF in den Medien

https://www.abendblatt.de/hamburg/article228117645/hamburg-hafen-extremes-klimakiller-gas-immer-haeufiger-in-einsatz-sulfonyldifluorid.html  
https://www.welt.de/regionales/hamburg/article247967680/Umweltschuetzer-nennen-es-Klimabombe-Das-Problem-gas-in-den-Haefen.html  
https://www.mopo.de/hamburg/viel-schlimmer-als-co2-hafen-setzt-giftiges-klimakiller-gas-ein-33738558/  
https://www.ndr.de/nachrichten/info/EU-entscheidet-ueber-klimaschaedliches-Gas-Sulfonyldifluorid,audio1420648.html  
https://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/borkenkaefer-gas-sulfonyldifluorid-der-unbekannte-klimakiller-a-859c1ccc-77ed-4e22-8650-f9c28c20f48c  
https://www.dvz.de/unternehmen/see/detail/news/sulfonyldifluorid-hafenwirtschaft-fuehlt-sich-zu-unrecht-an-den-pranger-gestellt.htm

**Hamburger Abendblatt**  
Abendblatt | Abo | Home | Hamburg | HSV | Sport | Kultur | Wirtschaft | Politik | Schleswig-Holstein | Niedersachsen | Gastronomie  
Home > Hamburg > Hamburger Hafen: Klimakiller-Gas wird immer öfter eingesetzt  
SCHÄDLINGSKÄMPFUNG  
**Hamburger Hafen: Klimakiller-Gas wird immer öfter eingesetzt**  
12.01.2023, 12:02 Uhr · Lesedauer: 7 Minuten  
Von Jens Meyer-Wollmann



Im Hamburger Hafen kamen im vergangenen Jahr mehr als 200 Tonnen Sulfonyldifluorid zum Einsatz. Foto: BSW/ST

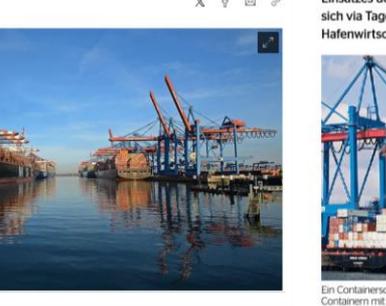
14.01.2023 / 0:46 | Von: NDR1  
**Viel schlimmer als CO2: Hafen setzt giftiges Klimakiller-Gas ein**  
Es ist 4000 Mal so schlimm für die Klima wie CO2 – und kommt dennoch regelmäßig im Hamburger Hafen zum Einsatz: Das giftige Gas Sulfonyldifluorid. Die Umweltschützer wollen die Verwendung jetzt verbieten.

verlag | veranstaltungen | shop | fragen & hilfe | abo | gen  
**taz**  
THEMEN POLITIK ÖKO GESELLSCHAFT KULTUR SPORT BERLIN NORD WAHRHEIT  
Emissionen von Pestiziden  
**Klimagift unter dem Radar**  
Das Pestizid Sulfonylfuorid heizt die Erde auf. Umweltsinstit München fordert ein EU-weites Verbot.  
SCHWERPUNKT PESTIZIDE  
Öko / Ökologie  
Wirkung wie der innerdeutsche Flugverkehr  
**Deutschlands unbekannter Klimakiller**  
Sein Name ist unaussprechlich, die Klimawirkung tausendfach stärker als die von CO2: Sulfonylfuorid, in großen Mengen eingesetzt, entweicht direkt in die Atmosphäre – ohne in der Klimabilanz aufzutauhen. Der Schaden ist enorm.  
Von Susanne Götz  
31.03.2023, 10:38 Uhr

**EU entscheidet über klimaschädliches Gas Sulfonylfuorid**  
Wiederholen  
04:23 00:00

**EU entscheidet über klimaschädliches Gas Sulfonylfuorid**  
Wirtschaft | 11.07.2023 | 06:41 Uhr | von Astrid Kühn  
Min | Verfügbar bis 18.07.2025  
Der Name ist unaussprechlich, wohl auch deshalb ist Sulfonylfuorid der Öffentlichkeit nahezu unbekannt. Dieses Gas, das vor allem zur Behandlung von Holz eingesetzt wird, ist tausendfach klimaschädlicher als CO2 – und entweicht in großen Mengen in die Atmosphäre. In der Klimabilanz aber taucht es nicht auf. Nun entscheidet die EU darüber, ob dieses Mittel weiter zugelassen wird. Was genau ist Sulfonylfuorid und wofür wird es eingesetzt?

**WELT**  
HAMBURG & SCHLESWIG-HOLSTEIN  
POLITIK | WIRTSCHAFT | UMWELT | KULTUR  
Das Problemgas in den Häfen  
Veröffentlicht am 20.03.2023 | Lesedauer: 8 Minuten  
Von Julia Wille gemeldet  
Werbung Editor Hamburg  
f x in



14.01.2020  
**Stellungnahme zum Einsatz von Sulfonyldifluorid im Hamburger Hafen**  
Aufgrund neuer Flugdaten in Ländern wie Australien und Neuseeland fordern sich die Anwohnerinnen an die Begabung von Capricorn aus der EU in die entsprechenden Empfängerländer verhö. Die Hamburger Hafen und Logistik AG (HLG) wie auch die anderen Transporter der Hamburger, Deutschen und europäischen Hafenswirtschaft haben sich darauf eingelassen, um die CO2-Emissionen dieser Länder zu verhö.

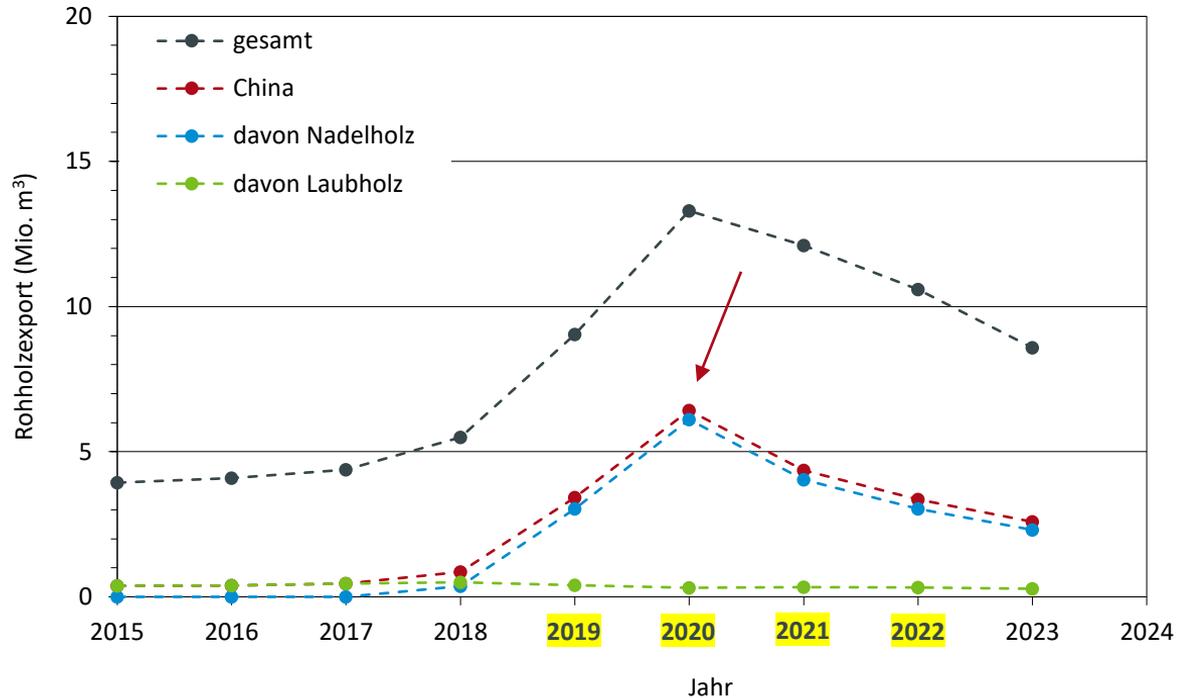


**Sulfonyldifluorid: Hafenswirtschaft fühlt sich zu Unrecht an den Pranger gestellt**  
Unternehmensverband und HHLA verweisen auf neue Regularien in Australien und Neuseeland und eine entsprechende Genehmigung des Einsatzes des Gases durch die Umweltschützer. Das ist eben jene, die sich via Tagespresse „direkte und frühzeitige Hinweise der Hafenswirtschaft“ gewünscht hat.  
Ein Containerschiff am Container Terminal Altenwerder. Dort ist die Begabung von Containern mit dem Gas im vergangenen Herbst genehmigt worden. Foto: Hapag-Lloyd

# Rundholzexport im Container



# Hauptexportland: China

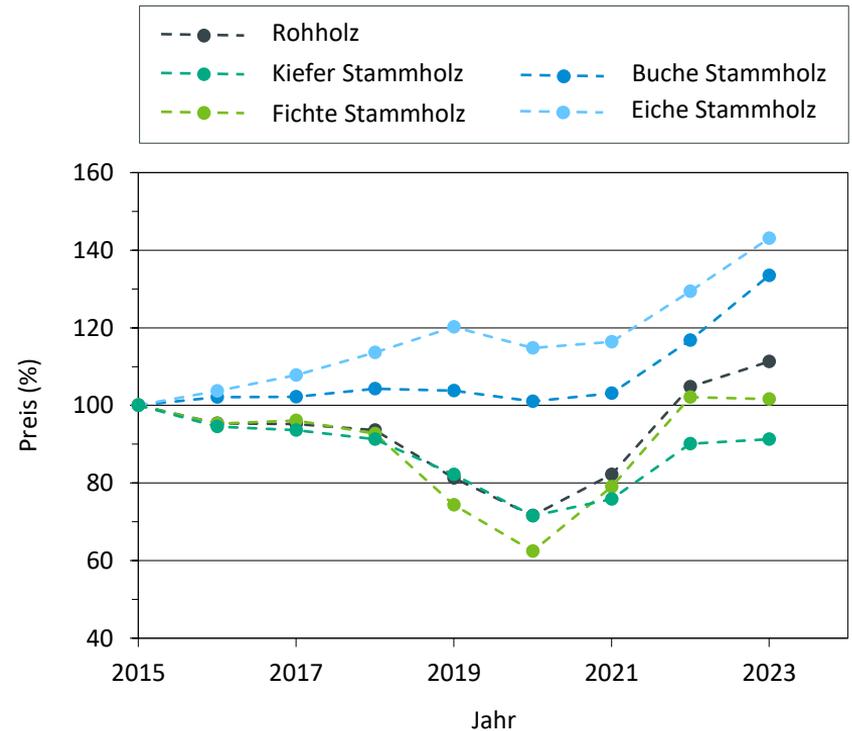
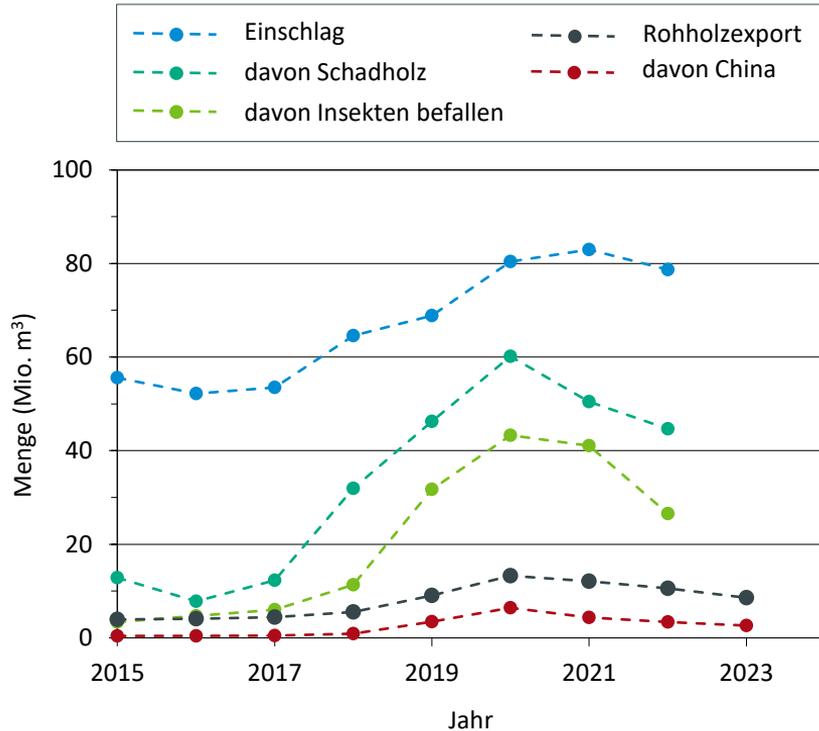


## 2019–2022

- Anteil bis zu **48,3 %**
- Anteil Nadelholz im Mittel **92 %**

Quelle: TI-WF – Thünen-Institut für Waldwirtschaft (2024) TI-WF auf Basis der vorläufigen Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamtes (2024)

# Gründe für gestiegenen Export (nach China)



Quellen: TI-WF (2024), Destatis (2023, 2024) Code 61231-0001, 41261-0002, 4161-0003

# China: Anforderungen und anerkannte Behandlungsmethoden

- Holz wirksam behandelt und frei von Schadorganismen
- Wärmebehandlung
- Wässerung
- Begasung mit z. B. SF
  - 5–10 °C, 104 g/m<sup>3</sup>, min. 24 h
  - >10 °C, 80 g/m<sup>3</sup>, min. 20 h

<https://pflanzengesundheits.julius-kuehn.de/index.php?menuid=28&downloadid=255&reporeid=84>

## Announcement of CIQ SA No.2, 2001

6<sup>th</sup> February 2001

In order to avoid harmful organisms accompanying log imports into China, the quarantine requirements for log imports, in accordance with regulations of exit-entry quarantine on animals and plants, are as the following:

1. **The log imports shall have** plants quarantine certificate issued by exporting countries or regions, indicating that there are **no harmful quarantine organisms** as are concerned by China or harmful organisms or soil listed in bilateral plant quarantine agreements.
2. As to **imported logs** with bark, they **should be effectively treated** in exporting countries or regions, eliminating harmful components, and the method of treatment, medicament, dosage, processing time and temperature should be indicated in the

<https://pflanzengesundheits.julius-kuehn.de/index.php?menuid=28&downloadid=1081&reporeid=84>

Übersetzung

Ka/-, 02.08.2005

Dokument Guo Zhi Jian Han 202 (2001) der State General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine

Mitteilung über die Herausgabe der „Methoden und technische Anforderungen bei der Ungezieferbeseitigung von nach China importiertem Rohholz“

An alle nachgeordneten Inspektions- und Quarantänebehörden:

# Problem von Sulfuryldifluorid bzw. ProFume

- Wirkstoff: SF
- Produkt: ProFume
- Treibhausgaspotenzial:  
Faktor → CO<sub>2</sub>-Äquivalente
  - 4090 (UBA 2022)
  - 4630 (Verordnung (EU) 2024/573)
  - 4750 (Sulbaek Andersen et al. 2009)
  - 4780 (Papadimitriou et al. 2008)



[https://psm-zulassung.bvl.bund.de/psm/jsp/BlattAnwendg.jsp?awg\\_id=025395-00/02-001&kenr=025395-00](https://psm-zulassung.bvl.bund.de/psm/jsp/BlattAnwendg.jsp?awg_id=025395-00/02-001&kenr=025395-00)

Datenblatt Anwendung    Suche >>    Mittel-Liste >>    Anwendungsliste (alle Anwendungen)    Anwendungsliste (Auswahl Suche)

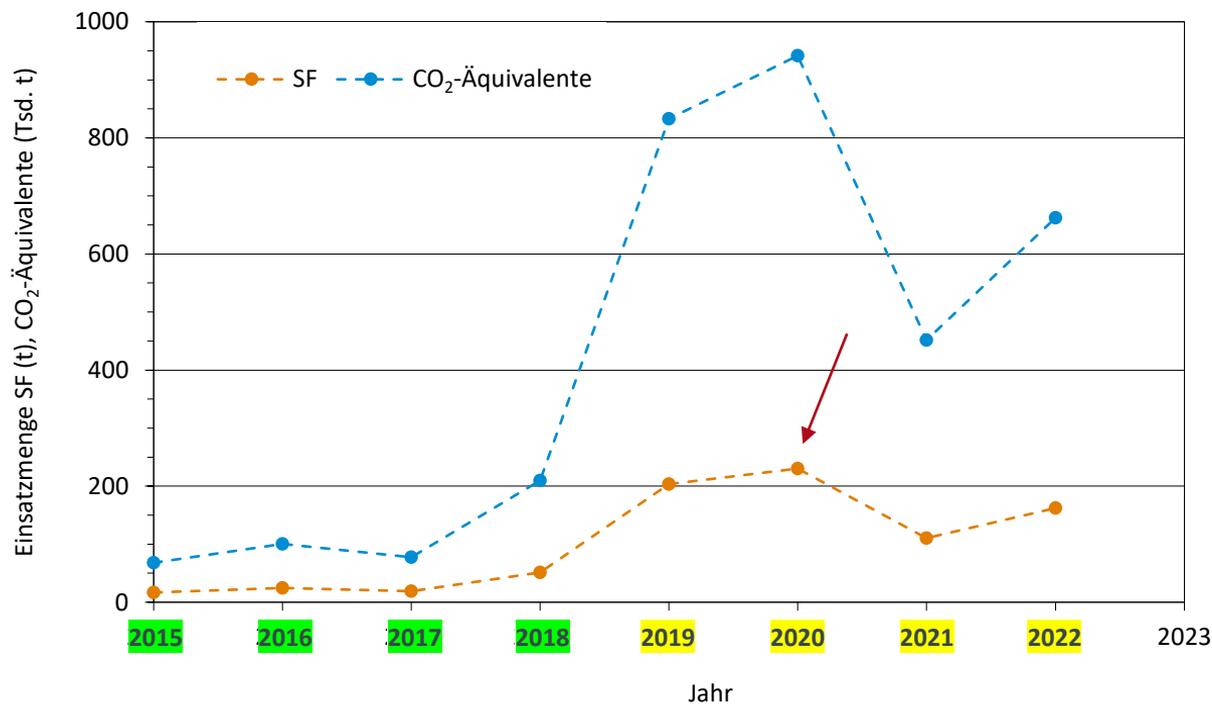
## Handelsbezeichnung: ProFume

Anwendungsnummer: 025395-00/03-001

Status	Ausweitung auf geringfügige Verwendung, bis 31. Oktober 2024
Wirkungsbereich	Insektizid
Einsatzgebiet	Vorratsschutz
Anwendungsbereich	Container (für Warensendungen)
Kultur/Objekt	Nadelholz, Laubholz
Schadorganismus/Zweck	Insekten (Rinden- und holzbrütende Käfer)
Stadium Schadorganismus	Larven bis Imago
Anwendungszeitpunkt	ganzjährig, bei Befall
Max. Zahl Behandlungen	In der Anwendung: 1 In der Kultur bzw. je Jahr: 1
Anwendungstechnik	begasen
Aufwand	1.500g h/m <sup>3</sup>
Weitere Erläuterungen	Hinweis zum Mittelaufwand: Je Jahr darf insgesamt nicht mehr als 4500 g h/m <sup>3</sup> angewendet werden Hinweis zum Mittelaufwand: maximale Gaskonzentration: 128 g/m <sup>3</sup> pro Begasung Hinweis zum Mittelaufwand: Einwirkungszeit und Dosierung werden in Abhängigkeit von relevanten Einflussfaktoren durch den ProFume Fumiguide berechnet. Anwendung des Mittels nur bei Nutzung des spezifischen Computerprogrammes ProFume Fumiguide Anwendungstechnik: aus Gasflasche Anwendungstechnik: Für eine hinreichende Wirksamkeit ist eine Temperatur von 20 °C im Begasungsobjekt erforderlich. Kultur/Objekt: Paletten-, Pack- und Stauholz zur Verschiffung

©Katja Volkert

# Einsatzmenge SF im z. B. dem Hamburger Hafen



2019–2022 vs. 2015–2018

- Anstieg um bis zu 830 %

Quellen:

- Drucksache, 21/19518. (2020, 10. Januar). URL: [https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/69257/begasung\\_mit\\_sulfonylfluorid.pdf](https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/69257/begasung_mit_sulfonylfluorid.pdf)
- Drucksache, 22/4884. (2021, 18. Juni). URL: [https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/76274/umweltkosten\\_oder\\_wirtschaftlicher\\_benefit\\_wer\\_zahlt\\_und\\_wer\\_verdient\\_am\\_sulfonylfluorid\\_einsatz.pdf](https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/76274/umweltkosten_oder_wirtschaftlicher_benefit_wer_zahlt_und_wer_verdient_am_sulfonylfluorid_einsatz.pdf)
- Drucksache, 22/9380. (2022, 22. September). URL: [https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/81113/wie\\_ist\\_der\\_sachstand\\_beim\\_sulfonyldifluorid.pdf](https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/81113/wie_ist_der_sachstand_beim_sulfonyldifluorid.pdf)
- Drucksache, 22/12853. (2023, 12. September). URL: [https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/84818/wie\\_ist\\_der\\_sachstand\\_beim\\_sulfonylfluorid.pdf](https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/84818/wie_ist_der_sachstand_beim_sulfonylfluorid.pdf)

Ein Service des Bundesministeriums der Justiz sowie des Bundesamts für Justiz - www.gesetze-im-internet.de

### Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)

KSG

Ausfertigungsdatum: 12.12.2019

Vollzitat:

"Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3905) geändert worden ist"

**Stand:** Geändert durch Art. 1 G v. 18.8.2021 | 3905

#### § 1 Zweck des Gesetzes

Zweck dieses Gesetzes ist es, zum Schutz vor den Auswirkungen des weltweiten Klimawandels die Erfüllung der nationalen Klimaschutzziele sowie die Einhaltung der europäischen Zielvorgaben zu gewährleisten. Die ökologischen, sozialen und ökonomischen Folgen werden berücksichtigt. Grundlage bildet die Verpflichtung nach dem Übereinkommen von Paris aufgrund der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen, wonach der Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 Grad Celsius und möglichst auf 1,5 Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen ist, um die Auswirkungen des weltweiten Klimawandels so gering wie möglich zu halten.

#### § 2 Begriffsbestimmungen

Im Sinne dieses Gesetz ist oder sind:

- Treibhausgase:** Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O), Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>), Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>) sowie tetrafluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW) und perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFKW) gemäß **Anhang V Teil 2 der Europäischen Governance-Verordnung** in der jeweils geltenden Fassung.

#### Abchnitt 3 Klimaschutzplanung

##### § 9 Klimaschutzprogramme

(1) Die Bundesregierung beschließt mindestens nach jeder Fortschreibung des Klimaschutzplans ein Klimaschutzprogramm; darüber hinaus wird bei Zielverfehlungen eine Aktualisierung des bestehenden Klimaschutzprogramms um Maßnahmen nach § 8 Absatz 2 vorgenommen. In jedem Klimaschutzprogramm legt die Bundesregierung unter Berücksichtigung des jeweils aktuellen Klimaschutz-Projektionsberichts nach § 10 Absatz 2 fest, welche Maßnahmen sie zur Erreichung der nationalen Klimaschutzziele in den einzelnen

- Seite 6 von 10 -

### Klimaschutz-Sofortprogramm 2022 (KSSP 2022)

Amtsblatt der Europäischen Union

DE  
Reihe L

2024/573

20.2.2024

#### 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

#### FLUORIERTRE TREIBHAUSGASE GEMÄß ARTIKEL 2 BUCHSTABE A <sup>(1)</sup> — UNGESÄTTIGTE TEIL(CHLOR)FLUORIERTRE KOHLENWASSERSTOFFE, ALS INHALATIONSNARKOTIKA VERWENDETE FLUORIERTRE STOFFE UND ANDERE FLUORIERTRE STOFFE

Gebrauchs-/industrielle Bezeichnung	Stoff	Chemische Formel	GWP <sup>(2)</sup>	GWP, bezogen auf 10 Jahre <sup>(3)</sup> , nur zur Information
<b>Gruppe 1: Ungesättigte teil(chlor)fluorierte Kohlenwasserstoffe</b>				
HFCKW-1224yd		CF <sub>2</sub> CF=CHCl	0,06 <sup>(*)</sup>	(*)
Trans-1,2-Difluorethen (HFCKW-1132) und Isomere		CHF=CHF	>1	(*)
1,1-Difluorethen (HFCKW-1132 a)		CH <sub>2</sub> =CF <sub>2</sub>	0,052	0,189
1,1,1,2,3,4,5,5,5(oder1,1,1,3,4,4,5,5,5)-Nonafluor-4(oder 2)-(trifluormethyl)pent-2-en		CF <sub>3</sub> CF=CF(CF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> ) oder CF <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> C=CF(CF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> )	1 <sup>(*)</sup>	(*)
HFKW-1234yf		CF <sub>2</sub> CF=CH <sub>2</sub>	0,501	1,81
HFKW-1234ze und Isomere		CHF=CHCF <sub>3</sub>	1,37	4,94
HFKW-1336mzz(E)		(E)-CF <sub>2</sub> CH=CHCF <sub>3</sub>	17,9	64,3
HFKW-1336mzz(Z)		(Z)-CF <sub>2</sub> CH=CHCF <sub>3</sub>	2,08	7,48
HFCKW-1233zd und Isomere		CF <sub>2</sub> CH=CHCl	3,88	14
HFCKW-1233zf		CF <sub>2</sub> CCl=CH <sub>2</sub>	1 <sup>(*)</sup>	(*)
<b>Gruppe 2: Als Inhalationsnarkotika verwendete fluorierte Stoffe</b>				
HFE-347mmz1 (Sevofluran) und Isomere		(CF <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHOCH <sub>2</sub> F	195	702
HCFE-235ca2 (Enfluran) und Isomere		CHF <sub>2</sub> OCF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> Cl	654	2 320
HCFE-233da2 (Isofluran) und Isomere		CHF <sub>2</sub> OCH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	539	1 930
HFE-236ea2 (Desfluran) und Isomere		CHF <sub>2</sub> OCH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	2 590	7 020
<b>Gruppe 3: Andere fluorierte Stoffe</b>				
Stickstofftrifluorid		NF <sub>3</sub>	17 400	13 400
Sulfurylfluorid		SO <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	4 630	7 510

SF



### **Johann Heinrich von Thünen-Institut**

Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei

- Thünen-Institut für Holzforschung (Hamburg)



### **Julius Kühn-Institut (JKI)**

Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen

- Institut für Nationale und Internationale Angelegenheiten der Pflanzengesundheit (Braunschweig)
- Institut für Waldschutz (Braunschweig)
- Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz (Berlin)



- Wärmebehandlung
- Wasserlagerung
- Lagerung in „reiner“ Stickstoff- oder CO<sub>2</sub>-Atmosphäre
- Kombinationen aus
  - N<sub>2</sub>- oder CO<sub>2</sub>-Atmosphäre,
  - Überdruck- und
  - Wärmebehandlung



# Wärmebehandlungen bei Welker Vakuum GmbH

- Technikumsanlage: „Vapomat 1245“
  - Vakuum
  - Beheizung
    - Dampf
    - Elektrische Konvektor-Heizung
  - Vakuum-fester Ventilator



# Versuche

1. **Trockene Hitze**  
(Elek. Konvektor-Heizung)
2. **Vakuum/Dampf**  
(3 Vakuumphasen)
3. **Vakuum/Dampf**  
(1 Vakuumphase)
4. **Sattdampf**  
(ohne Vakuum)

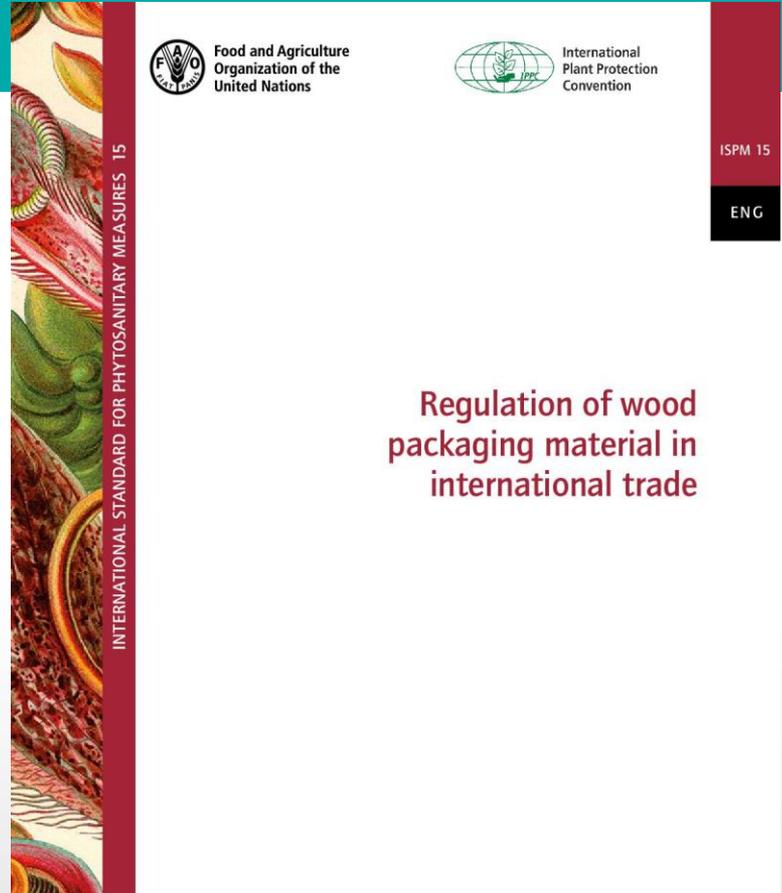
alle 90 °C Kammertemperatur

Ziel: 56 °C im Kern



# Behandlungs- und Untersuchungsziel

- 56 °C für min. 30 min im Kern
- Annahme: tödlich für holzerstörende Insekten
- Vergleich der Wärmebehandlungsmethoden
  - Dauer
  - Energiebedarf



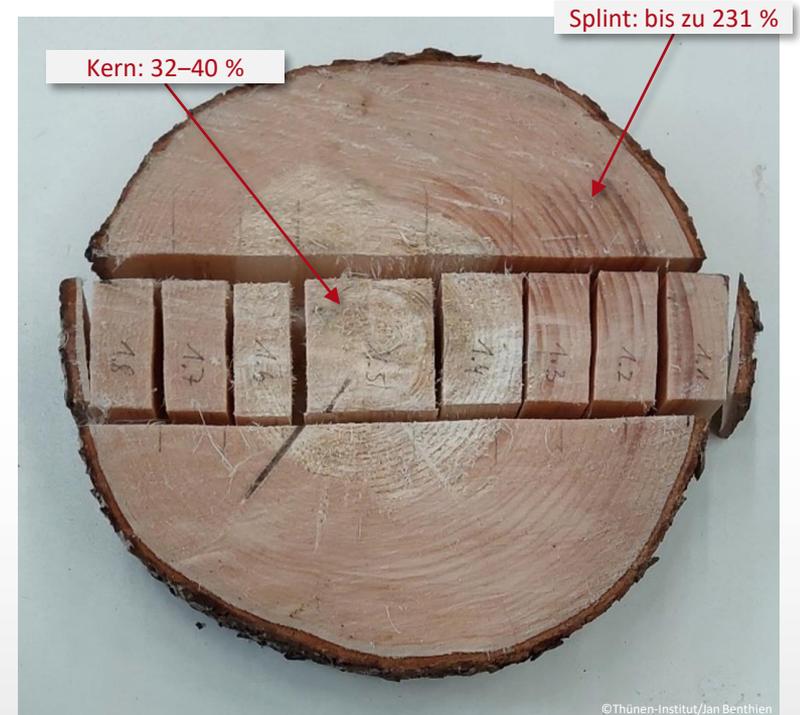
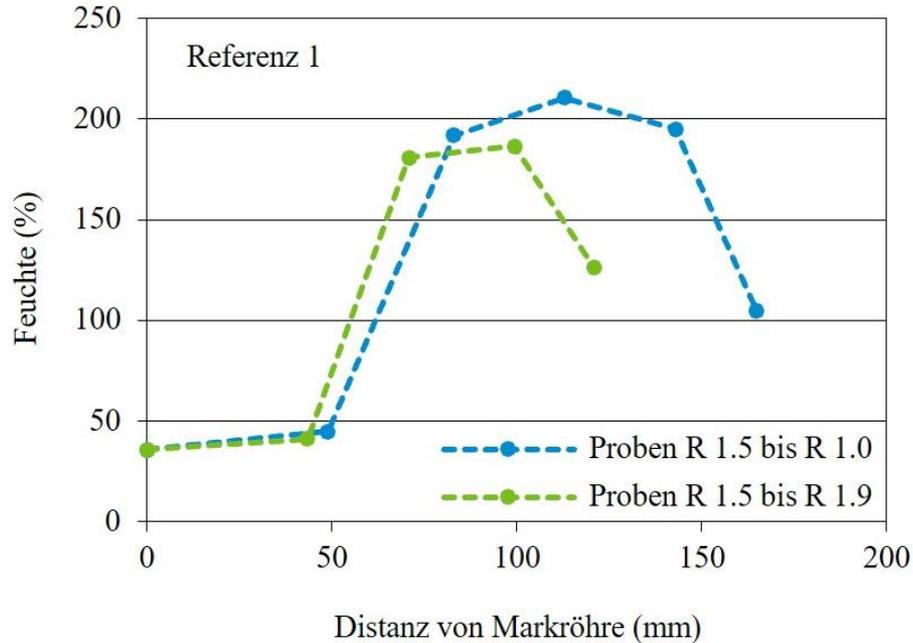
# Material

- Fichtenabschnitte
- 1 m lang
- $\varnothing = 24,6 \text{ cm}$
- $u = 144 \%$
- $m = 42,1 \text{ kg}$
- $\rho_{\text{nass}} = 880 \text{ kg/m}^3$
- $\rho_{20/65} = 415 \text{ kg/m}^3$

	Versuch	links	Mitte	rechts
1	Trockene Hitze	0,1 °C	3,1 °C	5,6 °C
2	Vakuum/Dampf (3)	9,2 °C	8,2 °C	8,2 °C
3	Vakuum/Dampf (1)	10,9 °C	12,5 °C	10,6 °C
4	Sattdampf	0 °C	0,9 °C	0 °C

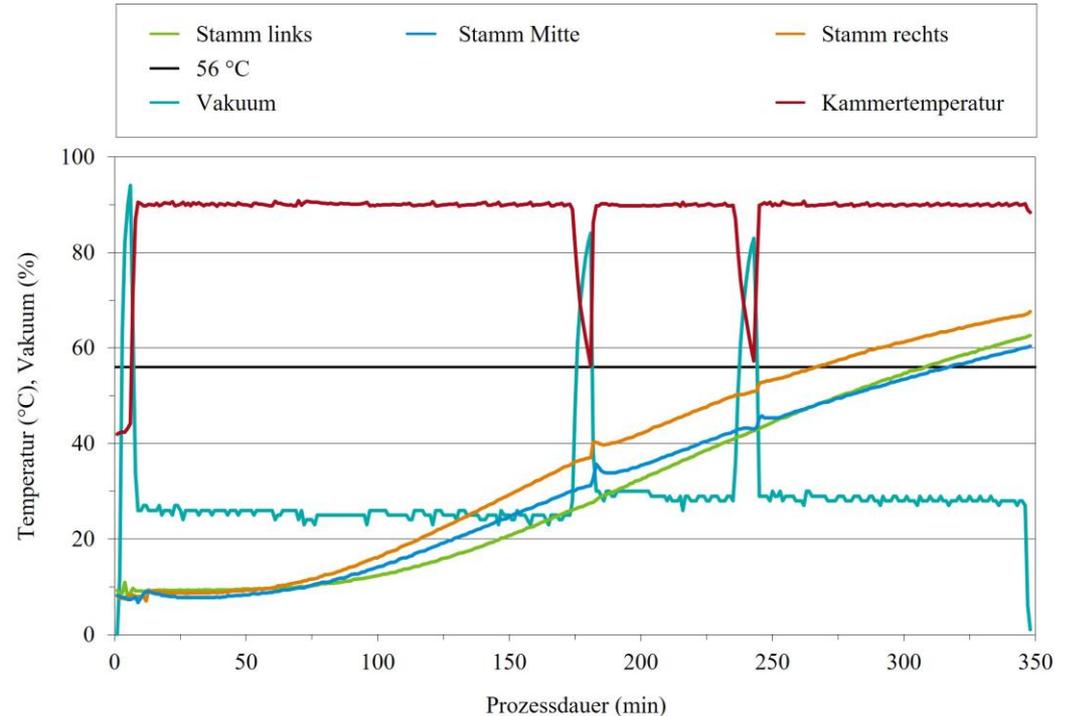


# Feuchteverteilung über den Querschnitt



# Prozessdaten zu Versuch 2 (Vakuum/Dampf, 3 Vakuumphasen)

- Prozesslaufzeit (gesamt)  
hier: **5,8 h**
- Dauer für Aufheizung  
15 → 56 °C  
hier: **3,2 h**
- Energiebedarf  
für 126 kg Stammmasse  
hier: **30,8 kWh**



# Ergebnisse

	Versuch	Prozessdauer (h)	15 → 56 °C	
			Dauer (h)	Energie (kWh)
1	Trockene Hitze	10,9	5,1	40,9
2	Vakuum/Dampf (3 Vakuum)	5,8	3,2	30,8
3	Vakuum/Dampf (1 Vakuum)	5,6	3,1	31,7
4	Sattdampf	7,6	2,7	36,0

# Diskussion der Ergebnisse

- Prozessdauer: unterschiedliche Starttemperaturen
  - Trockene Hitze:  $\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$
  - Vakuum/Dampf:  $\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$
  - Sattedampf:  $\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $15 \rightarrow 56\text{ }^{\circ}\text{C}$ :  $\Delta T$  zwischen Mantel und Kern unterschiedlich
- Energie: ungenaue Datenerfassung
  - Messdauer  $\neq$  Prozessdauer
  - Bereitschaftsbetrieb Dampferzeuger (Trockene Hitze)
- Ergebnisse lediglich als Anhaltspunkte zu verstehen!



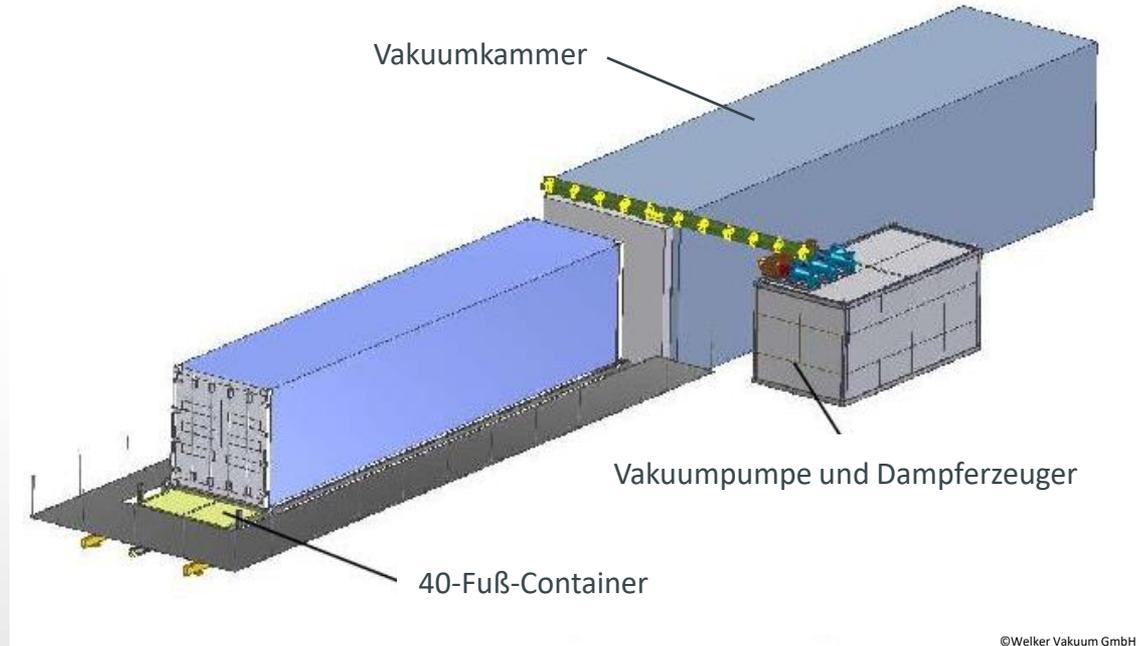
# Diskussion der Ergebnisse

- Messdaten aus
  - spezifischer Anlage
  - spezifische Beladung
- Anlage nicht optimiert für
  - Trockene Hitze
  - Sattedampf (ohne Vakuum)
- Vorteile Vakuum?
  - Kern: Tüpfelverschluss
  - Splint: Wasser gesättigt



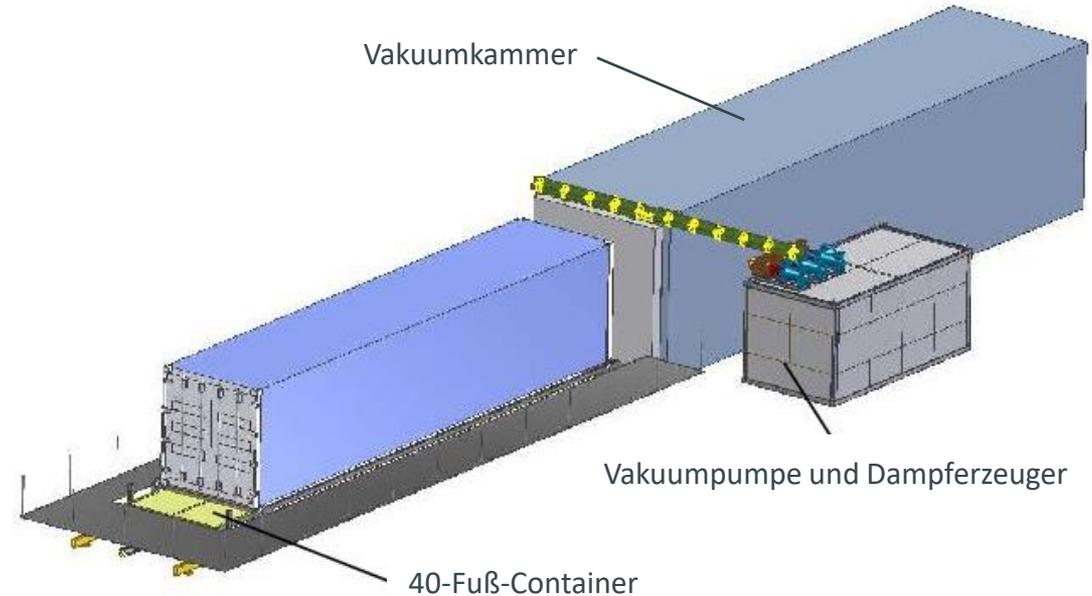
# Fazit: Alternative zu SF-Begasung?

- Technisch
  - Letale Temperaturen
  - Anlagen verfügbar
  - 71,1 °C, 75 Minuten



# Fazit: Alternative zu SF-Begasung?

- Technisch
  - Letale Temperaturen
  - Anlagen verfügbar
  - 71,1 °C, 75 Minuten
- Ökonomisch
  - Dauer: <20 h (?)
  - Energie: in Arbeit



©Welker Vakuum GmbH

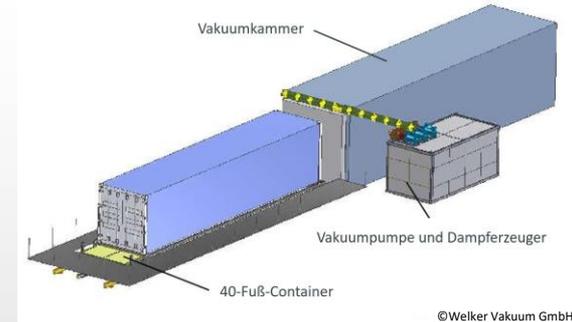
# Fazit:

## Alternative zu SF-Begasung?

- Technisch
  - Letale Temperaturen
  - Anlagen verfügbar
  - 71,1 °C, 75 Minuten
- Ökonomisch
  - Dauer: <20 h (?)
  - Energie: in Arbeit
- Klimatechnisch
  - wahrscheinlich...

### Überschlagsrechnung

- 80 g/m<sup>3</sup> SF
- 40-Fuß-Container = 68 m<sup>3</sup>
- → 5,44 kg SF
- Faktor: 4630
- 25,2 t CO<sub>2</sub> (-Äquivalente)
- 6,9 t Kohlenstoff
- 9,2 t Erdgas (Methan)



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

**Jan T. Benthien**

Thünen-Institut für Holzforschung

Leuschnerstr. 91 · 21031 Hamburg · Deutschland

Tel: +49 40 73962 -652 · Email: [jan.benthien@thuenen.de](mailto:jan.benthien@thuenen.de)