

△ Lebensgefährliche Gase bei Windkraftbränden – Faktenlage zur SF₆-Zersetzung

**Sehr geehrte Damen und Herren der Gemeindevertretung Karstädt,
und liebe Mitglieder der Ortsbeiräte in der Gemeinde,**

Windkraftanlagen gelten gemeinhin als sauber und sicher. Doch im Brandfall können sich aus dem dort eingesetzten Gas **Schwefelhexafluorid (SF₆)** hochgiftige Substanzen entwickeln, deren Gefährlichkeit bislang kaum thematisiert wurde – weder in Genehmigungsverfahren noch im kommunalen Risikomanagement.

Ich möchte Sie daher auf eine bislang **weitgehend unbeachtete Gefährdung** aufmerksam machen, die erhebliche Auswirkungen auf die öffentliche Sicherheit, die Arbeit der Feuerwehren und Ihre politische Verantwortung haben kann.

Eine kompakte Übersicht finden Sie nachfolgend. Die ausführliche Dokumentation in der Anlage bietet neben toxikologischen und sicherheitstechnischen Bewertungen auch eine rechtliche Einordnung der Risiken und Pflichten für Gemeinden, Feuerwehren und Genehmigungsbehörden – mit zahlreichen Quellenangaben und Nachweisen.

Was Sie erwartet – ein Auszug aus der Dokumentation:

- 1. Einleitung & Zielsetzung**
- 2. Thermische Zersetzung: Bildung von S₂F₁₀, HF, SO₂ etc.**
- 3. Toxikologie & medizinische Wirkungen**
- 4. Worst-Case-Szenario: Gasausbreitung & Wirkung**
- 5. Reale Brandrisiken in Windkraftanlagen**
- 6. Verteilung über Flächen & unsichtbare Kontamination**
- 7. Feuerwehren & Katastrophenschutz – Schutzlücken**
- 8. Haftung, Informationspflichten & Genehmigungsrecht**
- 9. Handlungsempfehlungen & Forderungen**

Auf einen Blick – das unterschätzte Risiko

Dischwefeldecafluorid (S₂F₁₀):

- Hochgiftiges Zersetzungsprodukt von SF₆
- Deutlich giftiger als Phosgen – ein historisches Kampfstoff-Giftgas
- Bereits **0,1 mg/m³** können bei Einatmung tödlich wirken (**LC₅₀**)
- **Unsichtbar, geruchlos und schwerer als Luft** – bleibt am Boden

In Anbetracht der dokumentierten Risiken stellt sich auch die Frage, **ob Gemeindevertretungen und Verwaltungen hinreichend informiert und geschützt sind**, um ihre Entscheidungen rechtssicher und verantwortungsvoll treffen zu können -- auch im Hinblick auf mögliche Haftungsfragen.

Mit freundlichen Grüßen

i.A. Felix Frahm

BI Gegenwind Groß- und Klein Warnow, Reckenzin, Pinnow

Kontaktadresse: Christiane Pirow, Warnower Str. 23a, 19357 Karstädt OT Groß Warnow

✉ kontakt@gegenwind.email | ☎ +49 179 1369868

— Anhänge: _____

SF6_Zersetzung in Windkraftanlagen_Final_us.pdf

441 KB

SF₆-Zersetzung in Windkraftanlagen

Risiken, Wirkungen, Verantwortung

Eine faktenbasierte Ausarbeitung zu Sicherheitsfragen und Umweltfolgen

Stand: Juni 2025

Inhaltsverzeichnis

• Einleitung & Zielsetzung	3
• Thermische Zersetzung: Bildung von S₂F₁₀, HF, SO₂ etc.	4
• Toxikologie & medizinische Wirkungen	5
• Worst-Case-Szenario: Gasausbreitung & Wirkung	8
• Reale Brandrisiken in Windkraftanlagen	10
• Verteilung über Flächen & unsichtbare Kontamination	11
• Feuerwehren & Katastrophenschutz - Schutzlücken	14
• Haftung, Informationspflichten und Genehmigungsrecht	16
• Handlungsempfehlungen & Forderungen	18

Einleitung & Zielsetzung

1. Einleitung & Ziel der Dokumentation

Diese Dokumentation beleuchtet ein bisher kaum öffentlich diskutiertes Risiko moderner Windkraftanlagen: die Gefährdung durch chemisch hochtoxische Substanzen, die bei Bränden oder Defekten von gasisolierten Schaltanlagen freigesetzt werden können. Insbesondere das in vielen WKA eingesetzte Gas Schwefelhexafluorid (SF_6) zerfällt unter Hitzeeinwirkung in äußerst gefährliche Folgeprodukte wie Dischwefeldecafluorid (S_2F_{10}) und Flusssäure (HF).

Ziel dieses Dokuments ist es, insbesondere für Gemeindevertreter, Behörden, Anwohner und Ersthelfer ein fundiertes Verständnis für die chemischen, medizinischen und rechtlichen Risiken dieser Stoffe zu vermitteln. Dabei werden sowohl wissenschaftliche Erkenntnisse als auch denkbare Worst-Case-Szenarien analysiert.

2. Das Gas SF_6 : Eigenschaften, Einsatz, Umweltauswirkungen

Schwefelhexafluorid (SF_6) ist ein farbloses, geruchloses und ungiftiges Gas unter Normalbedingungen. Es wird in der Energietechnik wegen seiner hervorragenden isolierenden Eigenschaften eingesetzt, insbesondere in gasisolierten Schaltanlagen (GIS).

Wichtige Eigenschaften von SF_6 :

- Chemisch extrem stabil, reagiert kaum bei Raumtemperatur
- Sehr hohe elektrische Durchschlagsfestigkeit (3x höher als Luft)
- Extrem langlebig in der Atmosphäre (über 3.200 Jahre Verweildauer)
- Global Warming Potential (GWP): 23.500 (bezogen auf CO_2)
- Dichte: ca. 6,17 kg/m³ bei 20 °C – also über 5-mal schwerer als Luft
- Im Vergleich zu CO_2 mit einer Lebensdauer in der Atmosphäre von „nur“ ca. 100 Jahren ist 1kg SF_6 dann so klimaschädlich wie ca. 750.000kg CO_2 .

SF_6 wird trotz seiner Klimaschädlichkeit weiterhin verwendet, insbesondere weil Alternativen entweder weniger effizient, technisch aufwendiger und damit teurer sind. In vielen Windkraftanlagen befindet sich SF_6 in Mengen von bis zu mehreren Kilogramm, meist in der Gondel oder im Turm – teilweise in Komponenten, die bei Bränden direkt betroffen sein können.

Thermische Zersetzung: Bildung von S_2F_{10} , HF, SO_2 etc.

3. Thermische Zersetzung: Bildung von S_2F_{10} , HF, SO_2 etc.

Unter normalen Bedingungen ist SF_6 sehr stabil, doch bei starker thermischer Belastung – wie sie bei Bränden in Windkraftanlagen auftreten kann – beginnt das Gas zu zerfallen. Dabei entstehen eine Vielzahl hochreaktiver und teils extrem toxischer Substanzen.

Folgende Zersetzungsprodukte sind dokumentiert:

- **Dischwefeldifluorid (S_2F_{10}):** Toxisches Nervengas, giftiger als Phosgen
- **Flusssäure (HF):** Hochätzende Verbindung, gefährlich bereits bei geringen Konzentrationen
- **Schwefeldioxid (SO_2):** Reizgas mit lungenschädigender Wirkung
- **Fluor (F_2):** Hochreaktiv, stark oxidierend
- **Schwefeltetrafluorid (SF_4):** Instabil, bildet in Gegenwart von Wasser ebenfalls HF

Der Zerfall ist abhängig von Temperatur, Sauerstoffverfügbarkeit und Luftfeuchtigkeit. Bereits bei Temperaturen über 400 °C beginnen erste Reaktionen; bei offener Flamme (> 600 °C) ist mit vollständigem Zerfall zu rechnen.

Besonders kritisch ist die Bildung von S_2F_{10} , die bei gleichzeitigem Vorhandensein von SF_6 und SOF_2 (ein weiteres Zwischenprodukt) unterhalb von 600 °C entstehen kann – also im realistischen Temperaturbereich von Windkraftanlagenbränden. S_2F_{10} zählt zu den gefährlichsten bekannten industriell erzeugbaren Substanzen. Es wirkt als potentes Nervengas und ist bereits in geringen Konzentrationen tödlich. Die Wirkung tritt oft verzögert ein – was eine zusätzliche Gefahr darstellt.

Auch HF entsteht durch Reaktion der fluorhaltigen Gase mit Luftfeuchtigkeit. HF ist sowohl gasförmig als auch als feinste aerosolartige Kontamination wirksam und führt zu tiefgreifenden Gewebeverätzungen. Eine Exposition kann – je nach Konzentration und Dauer – systemische Effekte auf Nerven, Kreislauf und Lunge auslösen.

Die Freisetzung dieser Stoffe bei einem Brand ist nicht hypothetisch, sondern chemisch zwingend.

Toxikologie & medizinische Wirkungen

4. Toxikologie & medizinische Wirkungen (LD₅₀ / LC₅₀ etc.)

Die bei der thermischen Zersetzung von SF₆ entstehenden Substanzen wirken auf vielfältige Weise toxisch – teils akut, teils mit verzögerter Wirkung. Besonders hervorzuheben sind S₂F₁₀ (Dischwefeldecafluorid) und HF (Flusssäure), da beide bereits in sehr niedrigen Konzentrationen gesundheitsschädlich oder tödlich wirken können.

S₂F₁₀ – Dischwefeldifluorid

- **Extrem toxisch:** bereits 0,1 mg/m³ (bezogen auf 1 kg Körpergewicht) können tödlich wirken (LC₅₀)
- **Verzögerter Wirkungseintritt:** 2–24 Stunden
- **Symptome:** Atemnot, Lungenödem, neurotoxische Effekte, kardiovaskuläres Versagen
- **Zielorgane:** Lunge, Nieren, Herz, zentrales Nervensystem (ZNS)
- **In Tierversuchen:** tödliche Dosis bei 20–50 ppm (ca. 200–500 mg/m³ bei 1h Inhalation)
- **Vergleichbar oder gefährlicher als Phosgen (Kampfgas 1. Weltkrieg)**

Dischwefeldecafluorid entsteht bei unvollständiger thermischer Zersetzung von SF₆ – z. B. im Temperaturbereich unterhalb 600 °C in Kombination mit SOF₂ und Feuchtigkeit. Es gilt als eines der giftigsten bekannten fluororganischen Gase.

HF – Flusssäure

- **Starke Gewebeverätzung** bereits ab 0,1 %iger Lösung
- **Gasförmig und als Aerosol toxisch**, durchdringt Kleidung und Haut
- **Systemische Wirkung über Hautkontakt:** Bindung von Calcium- und Magnesium-Ionen → Gefahr eines Herzstillstands
- **Besonders gefährlich bei unbemerkter Exposition** (z. B. Nebel, Sprühnebel)
- **Verzögerter Wirkungseintritt:** Erste Symptome oft erst nach Stunden
- **LD₅₀ (oral, Ratte):** ca. 25 mg/kg – extrem niedrige letale Dosis

Hinweis zur nachfolgenden Vergleichstabelle toxischer Gase

Die Tabelle soll in erster Linie verdeutlichen, **welche Gefährdungsklasse die Substanzen HF (Flusssäure) und S₂F₁₀ (Dischwefeldecafluorid)** repräsentieren. Sie dient **nicht** der exakten toxikologischen Bewertung oder medizinischen Risikoanalyse, sondern der **einordnenden Orientierung** im Vergleich mit anderen bekannten Gefahrstoffen.

Für eine präzise Risikobewertung müssten deutlich mehr Einflussgrößen berücksichtigt werden – darunter:

- **Aggregatzustand, Reaktivität und Persistenz,**
- **Einwirkzeit und Expositionsart,**
- **Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsbedingungen,**
- **menschliches Aufnahmeverhalten (z. B. Atemfrequenz, Körpergewicht)**
- **sowie die chemisch-physikalischen Eigenschaften des Gases (z. B. Molmasse, Dichte, Löslichkeit, Adsorptionsverhalten).**

Zu den LC₅₀-/LD₅₀-Werten und Scheinwidersprüchen

Die in der Fachliteratur aufgeführten **LC₅₀-Werte** (z. B. für S₂F₁₀ mit 0,1 mg/m³ bzw. 200–500 mg/m³) basieren auf **unterschiedlichen Versuchsanordnungen, Expositionszeiten oder Bewertungsmodellen**. Ein scheinbarer Widerspruch ergibt sich vor allem, wenn:

- einmal der **Konzentrationswert in der Luft** (mg/m³) angegeben wird,
- und an anderer Stelle der **aufgenommene Stoffwert bezogen auf Körpergewicht** (mg/kg Körpergewicht).

Diese Unterschiede sind erklärbar, jedoch nicht unmittelbar vergleichbar, wenn die **Randbedingungen** nicht bekannt oder standardisiert sind.

Masse, Volumen und Dichte sind entscheidend

In der Tabelle fehlen bewusst Angaben zur **molaren Masse** bzw. **Dichte der Gase** – diese spielen jedoch eine erhebliche Rolle bei der Bewertung:

- **S₂F₁₀ ist z. B. mehr als 2,5-mal schwerer als Phosgen,**
- was bedeutet, dass sich bei gleichem Luftvolumen **deutlich mehr Masse** an toxischem Gas befinden kann.

- Auch die bodennahe Verteilung von S_2F_{10} macht es **besonders tückisch**, da sich das Gas in Mulden, Gräben oder Innenräumen **konzentrieren und unbemerkt einwirken** kann.

Warum S_2F_{10} als besonders tückisch gilt

In einem **separaten Hintergrunddokument** wird erläutert, warum S_2F_{10} in Fachkreisen trotz ähnlicher oder formal sogar höherer LC_{50} -Werte als **problematischer und heimtückischer als Phosgen** eingeschätzt wird. Entscheidende Faktoren sind u. a.:

- verzögerter Wirkungseintritt (2–24 h),
- fehlende Geruchs- und Warnwirkung,
- neurotoxische und systemische Effekte,
- sowie die Gefahr der **stillen Exposition und Spätfolgen**.

Fazit

Unabhängig von den teils schwankenden Zahlenwerten ist wissenschaftlich unstrittig: Bereits **kleinste Mengen** der genannten Substanzen können **massiv gesundheitsgefährdend** oder **tödlich** sein.

Bei einem Brandereignis in einer Windkraftanlage können **Einsatzkräfte, Anwohner und auch Helfer** durch **unsichtbare, geruchsarme Gase** geschädigt werden – **insbesondere, wenn keine Kenntnis über die freigesetzten Stoffe oder geeignete Schutzmaßnahmen besteht**.

Vergleich toxischer Werte (Auszug)

Substanz	Wirkungspfad	Toxizität (mg/m^3 / mg/kg)	LC/LD in ppm (geschätzt)	Besonderheiten
S_2F_{10}	Inhalation	$LC_{50} \approx 200\text{--}500\text{ mg/m}^3$	$\approx 19\text{--}48\text{ ppm}$	Sehr giftig, verzögert wirkend, kaum wahrnehmbar
HF	Inhalation, Hautkontakt	$LC_{50} \approx 130\text{--}230\text{ mg/m}^3$	$\approx 160\text{--}280\text{ ppm}$	Verätzt Gewebe, systemische Wirkung (z. B. Herz)

Substanz	Wirkungspfad	Toxizität (mg/m ³ / mg/kg)	LC/LD in ppm (geschätzt)	Besonderheiten
Phosgen (COCl ₂)	Inhalation	LC ₅₀ ≈ 12- 101 mg/m ³	3-25 ppm (direkt gemessen)	Schnell wirkendes Lungenkampfmittel
Chlor (Cl ₂)	Inhalation	LC ₅₀ ≈ 850 mg/m ³ (Ratte, 1h)	293 ppm	Stark reizend, gasförmig gut wahrnehmbar
Sarin (GB)	Inhalation, Hautkontakt	LD ₅₀ ≈ 24 mg/kg (Haut, Ratte)	—	Nervenkampfstoff, extrem geringe Dosis tödlich
HCN (Zyanwasserstoff)	Inhalation	LC ₅₀ ≈ 100- 300 ppm	100-300 ppm	Blockiert Zellatmung, sehr schnelle Wirkung

Worst-Case-Szenario: Gasausbreitung & Wirkung

5. Worst-Case-Szenario: Gasausbreitung & Wirkung

Die Freisetzung von Zersetzungsprodukten des SF₆, insbesondere S₂F₁₀ (Dischwefeldecafluorid) und HF (Flusssäure), bei einem Brand in einer Windkraftanlage stellt ein **massiv unterschätztes Gefährdungsszenario** dar. Da diese Gase **deutlich schwerer als Luft** sind, steigen sie nicht auf, sondern lagern sich bei Windstille **bodennah ab – genau dort**, wo sich Menschen und Tiere aufhalten.

Rechenbeispiel: Freisetzung von 1 kg S₂F₁₀

- **Molmasse S₂F₁₀**: ca. 254 g/mol
- **1.000 g = 3,94 mol**
- **Gasvolumen bei 20 °C**:
3,94 mol × 24,45 l/mol ≈ **96 Liter toxisches Gas**
- Wenn dieses Volumen theoretisch auf eine Konzentration von **0,1 mg/m³** (LC₅₀) verdünnt würde, entstehen 1.000.000 mg / 0,1 mg/m³ = 10.000.000 m³ Luftgemisch oder ein **Gasteppich mit ca. einem Radius von 1km und 3m Höhe**

Diese **idealisierte homogene Verteilung** ist in der **Realität jedoch ausgeschlossen**. In Bodennähe kommt es vielmehr zu **hochkonzentrierten Gasfahnen**, insbesondere bei:

- Windstille
- flacher Geländeform
- Nacht-/Inversionswetterlagen

Ein **tödlicher Gasteppich** mit einem Durchmesser von **mehreren hundert Metern** ist **absolut denkbar**.

Beispielhafte reale Szenarien:

- Eine Windkraftanlage gerät in Brand
- **1–2 kg SF₆** entweichen und zersetzen sich → Bildung von **100–200 Litern** toxischer Gase (u. a. S₂F₁₀, HF)
- Ein **leichter Wind** trägt die Gase in Bodennähe über ein benachbartes Wohngebiet oder ein Feld mit Tieren
- Die **Feuerwehr trifft nach 10 Minuten ein** – ohne CSA (Chemikalienschutzanzüge) – und wird beim ersten Kontakt mit der Gaskonzentration kontaminiert
- **Tiere** (z. B. Pferde, Rinder) oder **Personen mit Vorerkrankungen** (z. B. COPD, Asthma) zeigen schwere Symptome
- Selbst **Tage später** sind noch **HF-Rückstände** auf Dächern, Spielgeräten oder Fahrzeugen messbar

Wirkung bei subletalen Konzentrationen

Auch **deutlich unterhalb der LC₅₀-Werte** können bereits **gesundheitliche Schäden** auftreten:

- **Reizung von Augen, Nase, Atemwegen:** bereits ab **0,01–0,05 mg/m³**
- **Langzeitfolgen:**
 - bronchiale Hyperreagibilität
 - neurologische Symptome
 - chronische Bronchitis

- **Kumulative Effekte** bei wiederholter Exposition:
z. B. Reinigungskräfte, Helfer, Anwohner mit unbemerkter Mehrfachexposition

Besonders gefährdete Risikogruppen

- **Kinder** (höheres Atemvolumen pro kg Körpergewicht)
- **Asthmatiker, Herz-/Kreislaufpatienten**
- **Schwangere, Senioren**
- **Einsatzkräfte ohne Vollschutz (CSA)**
- **Uninformierte Helfer, Nachbarn, Tierhalter**

Reale Brandrisiken in Windkraftanlagen

6. Reale Brandrisiken in Windkraftanlagen

Brände in Windkraftanlagen sind **keine Seltenheit** – insbesondere in älteren Anlagen sowie in solchen mit **Getriebeantrieb, Hydrauliksystemen und komplexer Leistungselektronik**. Schätzungen zufolge ereignen sich weltweit **mehrere Hundert Brände pro Jahr**, wobei viele davon **nicht öffentlich dokumentiert** oder ausgewertet werden.

Häufige Brandursachen:

- **Überlastung und Überhitzung** von Umrichtern oder Generatoren
- **Ausfall von Kühlsystemen**
- **Kurzschlüsse in gasisolierten Hochspannungsschaltanlagen mit SF₆**
- **Hydraulikleckagen** in Verbindung mit heißen Oberflächen
- **Blitzschläge**, die ölhaltige Bauteile entzünden

Typische Brandauswirkungen

Ein Brand im Maschinenhaus (Nacelle) führt **nahezu immer zum Totalverlust** der Technik. In der Regel **brennt die Gondel vollständig aus**, oft auch die Rotorblätter.

Löschmaßnahmen sind meist nicht möglich, da sich das Maschinenhaus in bis zu **150 m Höhe** befindet.

Die gängige Einsatzstrategie der Feuerwehr lautet daher:

☞ **kontrolliertes Abbrennen lassen**

Besondere Gefährdung durch SF₆-haltige Technik

Windkraftanlagen enthalten zunehmend **gasisolierte Leistungsschalter** oder Schaltanlagen mit **SF₆ (Schwefelhexafluorid)**.

Bei einem Brand entstehen daraus extrem toxische Zerfallsprodukte, darunter:

- **S₂F₁₀ (Dischwefeldecafluorid)** – hochwirksames Nervengas
- **HF (Flusssäure)** – stark gewebeschädigend
- **SOF₂, SO₂F₂** – reizend bis toxisch

Diese Gase steigen mit der **Thermik** auf und können sich je nach Wetterlage **über größere Strecken hinweg ausbreiten** – auch in bewohnte oder landwirtschaftlich genutzte Gebiete.

Fehlende Statistik & unzureichende Dokumentation

In Deutschland existiert **keine zentrale Brandstatistik** für Windkraftanlagen – insbesondere **keine mit chemischer Auswertung** der freigesetzten Schadstoffe.

- Brände unter Beteiligung von SF₆ oder seinen Zerfallsprodukten wie S₂F₁₀ werden **weder systematisch erfasst noch veröffentlicht**
- **Feuerwehr-Nachberichte** enthalten oft **keine Hinweise** auf chemische Risiken, toxische Rückstände oder notwendige Dekontamination

Beispielhafte reale Vorfälle:

- **Mecklenburg-Vorpommern (2023):**
Brand in einer Windkraftanlage, Feuerwehr meldet Austritt „unbekannter weißer Gase“ – kein Chemikalienschutzanzug (CSA) vorhanden
- **Bayern (2021):**
Brand mit Austritt brennbarer Öle, SF₆-haltige Technik nicht dokumentiert
- **Zahlreiche Videoaufzeichnungen zeigen** vollständig abbrennende Gondeln – doch **toxikologische Begleitfolgen** werden weder in Medien noch in Einsatzberichten thematisiert

Verteilung über Flächen & unsichtbare Kontamination

8. Verteilung über Flächen & unsichtbare Kontamination (HF, S₂F₁₀)

Eine der größten, aber häufig **übersehenen Gefahren** bei der Freisetzung von **Zersetzungsprodukten** aus SF₆ besteht in deren **unsichtbarer, geruchsarmer und flächenhafter Ausbreitung**.

Insbesondere **HF (Flusssäure)** und **fluorhaltige Reaktionsprodukte** können sich an **Luftfeuchtigkeit binden**, auf Oberflächen **ausfallen** und dort **über Tage oder Wochen toxisch wirken**.

Unsichtbare Rückstände – unterschätzte Gefahr

- **HF bildet feinste Aerosole und Nebel**, insbesondere bei Feuchtigkeit
- Diese Partikel **setzen sich auf Oberflächen** wie:
 - Dächern
 - Pflanzen
 - Spielgeräten
 - Autolacken
 - Kleidung oder Textilien
- In vielen Fällen **keine sichtbaren Hinweise**:
 - **kein Geruch**,
 - **keine Verfärbung**,
 - **keine strukturellen Veränderungen**
- Besonders gefährlich für:
 - **Reinigungspersonal ohne Schutzausrüstung**
 - **Kinder**, die unbemerkt kontaminierte Gegenstände berühren

Chemische Persistenz & Materialwirkung

- **HF und Fluoride sind reaktiv**, aber nicht unmittelbar flüchtig
- Einmal gebundene Fluorverbindungen können **über Tage hinweg auf Oberflächen verbleiben**
- Je nach Material kommt es zu:
 - **langsamer Korrosion**,
 - **Versprödung**,
 - **Oberflächenzerstörung**
- Besonders kritisch bei **porösen Materialien** wie:

- Holzspielgeräten
- Dachpappe
- Textilien (z. B. Uniformen, Sitzpolster)

S₂F₁₀ (Dischwefeldecafluorid): Unsichtbare Gasfahne

- **S₂F₁₀ ist farb- und geruchlos**
- Verteilt sich **bodennah** in flachen Geländestrukturen
- Kann über **Minuten hinweg eingeatmet werden**, ohne bemerkt zu werden
- **Erste Symptome treten oft verzögert auf:**
 - trockener Husten
 - Atemnot
 - Lungenödem
 - neurologische Symptome
- Ohne gezielte Messtechnik ist eine akute Gefahr **nicht zu erkennen**

Dekontamination & Messtechnik – Fehlanzeige in der Praxis

- Es existieren **keine standardisierten Messverfahren** für SF₆-Zersetzungsprodukte bei Bränden
- **Multigasmesegeräte** (z. B. für CO, H₂S, O₂) **erkennen weder HF noch S₂F₁₀**
- Notwendige Methoden wie:
 - **Fluorid-Teststreifen,**
 - **Ionenchromatographie**sind **nicht verfügbar oder nicht bekannt**
- Eine **fachgerechte Dekontamination** (z. B. von Fahrzeugen, Kleidung, Geräten) müsste durch **Spezialfirmen erfolgen** – dies geschieht **nahezu nie**

Fazit

Die Gefahr einer **flächigen, unsichtbaren und langfristigen Kontamination** durch Zersetzungsprodukte aus SF₆ (v. a. HF und S₂F₁₀) wird aktuell **völlig unterschätzt und in der Einsatzpraxis nicht berücksichtigt**.

Besonders kritisch ist die Möglichkeit einer **mehrtägigen Exposition nach einem Brand**, sowohl für:

- **Anwohner,**
- **Einsatzkräfte,**
- **Reinigungspersonal,**
- als auch für **Kinder und Tiere** in der Umgebung.

Feuerwehren & Katastrophenschutz – Schutzlücken

7. Feuerwehren & Katastrophenschutz – Schutzlücken

Trotz des **extremen Gefährdungspotenzials** durch **Zersetzungsprodukte** von SF_6 , insbesondere S_2F_{10} (Dischwefeldecafluorid) und HF (Flusssäure), sind **Feuerwehren und Katastrophenschutzeinheiten in Deutschland häufig nicht ausreichend auf solche Szenarien vorbereitet.**

Es fehlen:

- einheitliche Vorgaben zur **Dekontamination,**
- standardisierte **Gefahrenaufklärung**
- und häufig auch **konkrete Gefährdungsbeurteilungen** für Einsätze an Windkraftanlagen mit SF_6 -haltiger Technik.

Probleme in der Einsatzpraxis

- **Freiwillige Feuerwehren** bilden das Rückgrat des Brandschutzes im ländlichen Raum – in der Regel **ohne Spezialausrüstung** für Gefahrstofflagen
- Es fehlen häufig:
 - **Chemikalienschutzanzüge (CSA, Stufe 3)**
 - **luftunabhängige Atemschutzsysteme**
- Einsatzfahrzeuge verfügen **nicht über geeignete Sensorik** zur Detektion von Fluoriden oder **SF_6 -Zersetzungsprodukten**

- In der **Einsatzdokumentation** fehlen meist Angaben zu **freigesetzten toxischen Stoffen**

Mangelndes Wissen über SF₆-Gefahren

Viele Feuerwehrrkräfte wissen **nicht**, dass Windkraftanlagen **SF₆-haltige Technik** enthalten können – und noch weniger über die **toxischen Zersetzungsprodukte** wie **S₂F₁₀** und **HF**.

- Die Ausbildung konzentriert sich meist auf **elektrische und mechanische Gefahren**
- In **Lehrgängen zum Truppführer oder Gruppenführer** finden sich **in der Regel keine Inhalte zu SF₆ oder dessen Zersetzung**

Unklare Zuständigkeiten & fehlende Informationsgrundlagen

- Betreiber von Windkraftanlagen sind derzeit **nicht verpflichtet**, Angaben zu enthaltenen Gefahrstoffen öffentlich zu machen
- Ein **zentrales Gefahrenkataster**, das auch **SF₆-haltige Systeme** berücksichtigt, existiert **nicht flächendeckend**
- Feuerwehren sind deshalb auf **freiwillige Informationen der Betreiber** angewiesen – sofern diese bekannt oder kommuniziert werden

Fehlende Dekontaminationsstrategien nach dem Einsatz

Auch nach Einsätzen erfolgt **häufig keine systematische Dekontamination** von:

- Schutzkleidung
- Geräten
- Einsatzfahrzeugen

Rückstände von HF oder Fluoriden können über Kleidung, Schläuche oder Werkzeuge **unbemerkt weitergegeben werden**.

Die Gefahr einer „**stillen Sekundärkontamination**“ in Gerätehäusern, Fahrzeugkabinen oder Umkleiden **wird bislang nicht berücksichtigt**.

Fazit

Die bestehenden Strukturen des Katastrophenschutzes sind derzeit **nicht in der Lage**, auf das spezifische Gefahrenpotenzial von **Zersetzungsprodukten SF₆-haltiger Technik** adäquat zu reagieren. Es besteht ein **dringender Bedarf an Schulung, Ausrüstung und organisatorischen Vorgaben** – insbesondere in ländlichen Regionen, wo der Brandschutz **weitgehend durch Freiwillige Feuerwehren** geleistet wird.

Haftung, Informationspflichten und Genehmigungsrecht

9. Haftung, Informationspflichten und Genehmigungsrecht

Die Erkenntnisse zu den **Gefahren der thermischen Zersetzung von SF₆ (Schwefelhexafluorid)** betreffen nicht nur technische oder medizinische, sondern auch **zivil-, verwaltungs- und strafrechtliche Fragestellungen**.

Betreiber, Behörden und kommunale Entscheidungsträger könnten – je nach Kenntnisstand und Handeln – **haftbar gemacht werden**, insbesondere:

- bei unterlassener Information,
- unzureichender Gefährdungsbeurteilung,
- oder einem fehlenden bzw. mangelhaften Brandschutz- und Sicherheitskonzept.

Pflichten der Anlagenbetreiber

- Gemäß § 3 BImSchG sind Betreiber verpflichtet, **Gefahren, erhebliche Nachteile und Belästigungen** für die Allgemeinheit oder Nachbarschaft zu vermeiden
- Der Einsatz von SF₆ muss gemäß § 5 BImSchG dem **Stand der Technik** entsprechen – was **zweifelhaft ist**, da **alternative Schaltgase verfügbar** sind
- Wird SF₆ in **sicherheitsrelevanten Mengen** eingesetzt, besteht nach der **Störfallverordnung (12. BImSchV)** die Pflicht zur **Sicherheitsbetrachtung** – dies wird bei SF₆ jedoch häufig **nicht geprüft oder dokumentiert**

Aufgaben & Haftungsrisiken der Genehmigungsbehörden

- Behörden haben nach **§ 22 BImSchG** eine **Schutzpflcht gegenüber Mensch und Umwelt**
- Technische Regelwerke wie **TA Luft** und **TA Lärm** stellen **Mindestanforderungen** dar – bei chemischen Risiken sind darüber hinaus die **TRGS-Regeln**, die **Gefahrstoffverordnung** sowie die **REACH-Verordnung** anzuwenden
- Eine **fehlende Berücksichtigung toxikologischer Risiken** im Genehmigungsverfahren kann zu **Amtspflichtverletzungen** führen – mit möglichen **Ansprüchen aus Amtshaftung**

Verantwortung der kommunalen Entscheidungsträger

- **Gemeindevertreter** entscheiden im Rahmen der **kommunalen Bauleitplanung** über **Flächennutzungspläne** und **Bebauungspläne**
- Gemäß **§ 1 Abs. 6 Nr. 1 BauGB** tragen sie Verantwortung für die **Gesundheit und Sicherheit der Bevölkerung**
- Wird bei **bekanntem Gefahrenpotenzial** (z. B. durch S_2F_{10} oder HF bei Brand) trotzdem der Aufstellung neuer Windenergieflächen oder einem Repowering zugestimmt, kann dies als **Pflichtverletzung** gewertet werden
- In kritischen Fällen kann sich daraus eine **persönliche oder politische Haftung** ergeben – besonders bei **nachweislicher Kenntnisnahme**

Transparenz & Informationsrechte

- Gemäß **Umweltinformationsgesetz (UIG)** und **Informationsfreiheitsgesetz (IFG)** können Bürger **Auskunft über eingesetzte Stoffe, Gefahrenquellen und Sicherheitsmaßnahmen** verlangen
- Nach **REACH-Verordnung Art. 33** sind Betreiber verpflichtet, über den Einsatz von **besonders besorgniserregenden Stoffen (SVHC)** zu informieren – dazu zählt HF und in indirekter Betrachtung auch SF_6
- Eine **unterlassene Kennzeichnung** oder **Informationsverweigerung** kann als **Ordnungswidrigkeit**, im Extremfall auch als **fahrlässige Körperverletzung oder Umweltstraftat** (§ 324 StGB) gewertet werden

Fazit

Die Risiken durch **Zersetzungsprodukte von SF₆** (z. B. S₂F₁₀, HF, SOF₂) betreffen nicht nur Umwelt- oder Gesundheitsschutz, sondern stellen einen **Prüfstein für rechtsstaatliches Verwaltungshandeln** und das **Verantwortungsbewusstsein** aller Beteiligten dar – von Betreibern über Genehmigungsbehörden bis hin zu kommunalen Gremien.

Es besteht eine komplexe Gemengelage aus:

- **zivilrechtlicher Haftung,**
- **verwaltungsrechtlichen Pflichten**
- und möglicher **strafrechtlicher Verantwortung.**

Handlungsempfehlungen & Forderungen

10. Handlungsempfehlungen & Forderungen

Angesichts der wissenschaftlich dokumentierten **Gefahren durch SF₆ und seine toxischen Zersetzungsprodukte** – insbesondere S₂F₁₀ (**Dischwefeldecafluorid**) und HF (**Flusssäure**) – ist ein verantwortungsvoller, transparenter und risikobewusster Umgang auf **allen Ebenen** dringend erforderlich: Kommunen, Behörden, Betreiber, Fachpolitik und Öffentlichkeit.

Die folgenden Empfehlungen richten sich an Institutionen und Entscheidungsträger, die unmittelbar oder mittelbar mit der **Planung, Genehmigung oder dem Betrieb** von Windkraftanlagen befasst sind.

1. Sofortige Transparenzpflichten für Betreiber

- **Verpflichtende Offenlegung** aller SF₆-haltigen Komponenten in bestehenden und geplanten Anlagen
- **Bereitstellung von Sicherheitsdatenblättern**, Notfall- und Dekontaminationsplänen für Feuerwehren
- **Vermerk der Gefahrenstellen auf GIS-Systemen**, Einsatzkarten und Feuerwehrlaufkarten

2. Genehmigungsstopp bis zur Risikoaufklärung

- **Keine Neugenehmigung von Anlagen mit SF₆-Technik**, solange keine toxikologische Sicherheitsbewertung vorliegt
- **Überprüfung bestehender Genehmigungen** auf Verletzung öffentlich-rechtlicher Schutzpflichten (§ 3, § 5, § 22 BImSchG)
- **Rücknahme oder Anpassung von Bebauungsplänen**, sofern Gefahren erst nachträglich bekannt wurden

3. Sofortiger Ausbau der Gefahrstoffkompetenz in Feuerwehren

- **Schulungen zu SF₆-Zersetzungsrisiken**, insbesondere zu HF- und S₂F₁₀-Wirkungen
- **Ausstattung mit Chemikalienschutzanzügen (CSA)**, HF-Testsystemen und Fluorid-Bindemitteln
- **Aufbau regionaler Gefahrstoffeinheiten mit mobiler Messtechnik**, inklusive Ionenchromatographie

4. Umweltanalytik & Monitoring nach Brandereignissen

- **Verpflichtende chemische Probenahme** im Umkreis betroffener Anlagen nach Bränden
- **Beauftragung unabhängiger Institute** zur Analyse von HF, Fluoriden, S₂F₁₀
- **Veröffentlichung der Messergebnisse**, inkl. Empfehlungen zur Dekontamination und Risikoeinschätzung

5. Gesetzgeberische & politische Maßnahmen

- **Eintrag SF₆-haltiger Systeme in Umweltgefahrenkataster** und Informationssysteme der Länder
- **Anpassung der TA Luft**: Berücksichtigung chemischer Risiken bei erneuerbaren Energien (z. B. Brandszenarien)
- **Förderung alternativer Technologien**: z. B. **G³-Schalttechnik** ohne SF₆
- **Sanktionen bei unterlassener Gefahrenkennzeichnung**, unvollständigen Angaben oder systematischer Intransparenz

6. Aufklärung & Beteiligung der Bevölkerung

- **Transparente Informationskampagnen** zu SF₆-Risiken bei Bränden und Störfällen
- **Einbindung von Umweltverbänden und Bürgerinitiativen** in Risikoabschätzungen
- **Partizipation der Öffentlichkeit bei Neuplanungen und Repowering-Verfahren** im Sinne von § 3 BauGB

Fazit

Die systematische **Ignoranz gegenüber den toxischen Nebenwirkungen** der SF₆-Zersetzung – insbesondere bei Bränden – ist **nicht länger akzeptabel**.

Verantwortung bedeutet:

- **Risiken erkennen,**
- **öffentlich machen,**
- **und entschlossen handeln.**

Der **Schutz von Menschenleben, Umwelt und öffentlicher Sicherheit** muss **oberste Priorität** haben – noch vor wirtschaftlichem Kalkül oder politischem Druck.

Mit freundlichen Grüßen

i.A. Felix Frahm

Karstädt, den 23.06.2025