

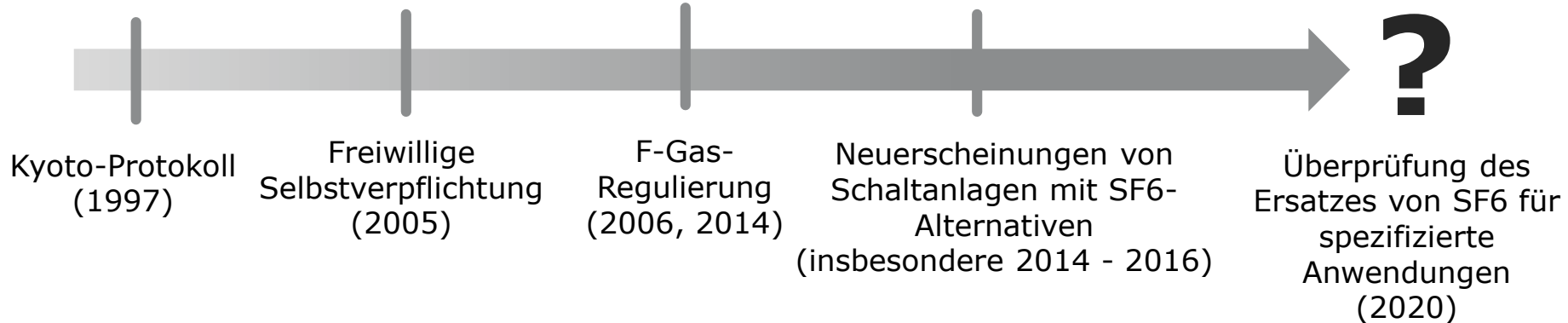
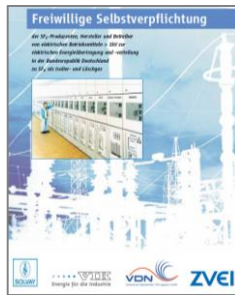


Einordnung von Alternativen zum Einsatz von SF6 in der elektrischen Energieversorgung

Überblick zum Stand einer Untersuchung im Auftrag des BMUB / UBA

Mohamed Rabie (ETH Zürich), Charlotte Hussy (Ecofys)

Neuentwicklungen geben der Diskussion um SF6-Alternativen eine neue Dynamik.



Das BMUB / UBA wünscht eine neutrale Einordnung der aktuellen technischen Entwicklung im Bereich SF6-Alternativen.

- > BMUB und UBA beauftragten die Studie
„Konzept zur SF₆-freien Übertragung und Verteilung elektrischer Energie“

- > Projektteam: Ecofys, ETH Zürich
 - Projektzeitraum: 2015 – 2018
 - Projektschwerpunkt: Detaillierte Erstellung eines aktuellen Überblicks über den Stand der Technik für Anlagen mit und ohne SF6-Nutzung
 - Untersuchungsgegenstand:
 - Schaltanlagen in der Hoch- und Mittelspannung
 - Weitere Betriebsmittel mit SF6 in der Energieversorgung
 - Nur Neuanlagen

Die Untersuchung besteht aus fünf Arbeitspaketen.

AP1: Recherchen

AP2: Erarbeitung von Konzepten

AP3: Fachgespräche

AP4: Präsentationen

AP5: Vorstellung bei der Europäischen Kommission

Die intensive Einbeziehung aller Stakeholder ist für uns ein zentrales Element der Untersuchung.

- > **Experteninterviews** mit verschiedenen Herstellern und Anwendern von elektrischen Mittel- und Hochspannungsschaltanlagen
- > **Zwischenberichte** (auch als Grundlage für weitere Stakeholder-Konsultation)
- > **Präsentationen** und **Fachgespräche/Workshops** zur Überprüfung der Belastbarkeit der Rechercheergebnisse vor internationalem Fachpublikum
- > Teilnahme an **Gremienveranstaltungen**

Projektzeitplan



> Bereits abgeschlossen

- Interviews mit 15 Herstellern und Anwendern
- Inventarisierung von Betriebsmitteln mit SF6 sowie Alternativen
- Sichtung des regulatorischen Rahmens in Deutschland sowie ausgewählten Ländern
- Analyse globaler und regionaler SF6 Emissionen

Aktueller Projektstand

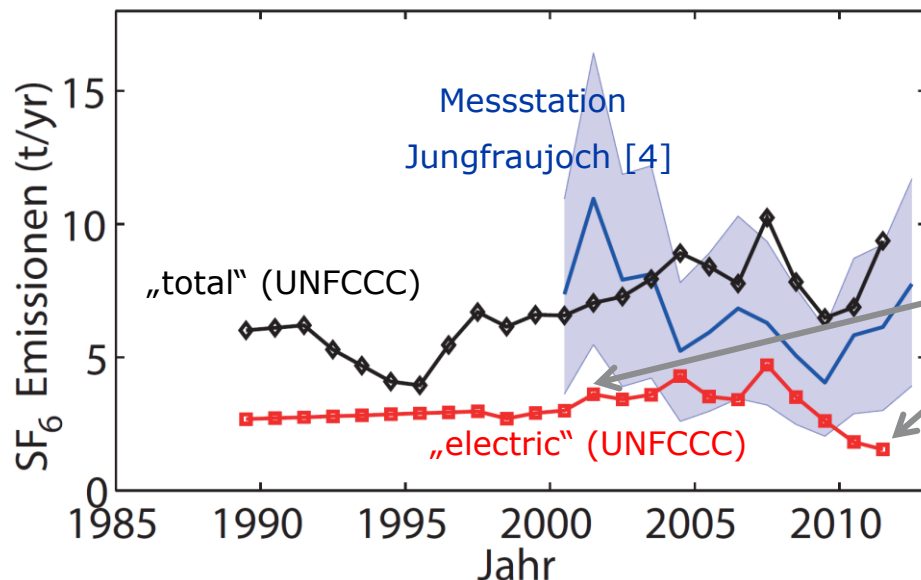
Klimarelevanz von SF6

Berichtete und "gemessene" Emissionen

IPCC Fifth Assessment Report

- > GWP (über 100 Jahre): 23500
- > Atmosphärische Lebensdauer: 3200 Jahre → «Irreversibilität»
- > Globale Emissionen steigen

- > In vielen Ländern: Diskrepanz zwischen gemessenen und berichteten SF6-Emissionen [1-3]
- > Anteil der elektrischen Industrie an totalen berichteten SF6-Emissionen in der **EU: ~30%** (2002-2012, UNFCCC)

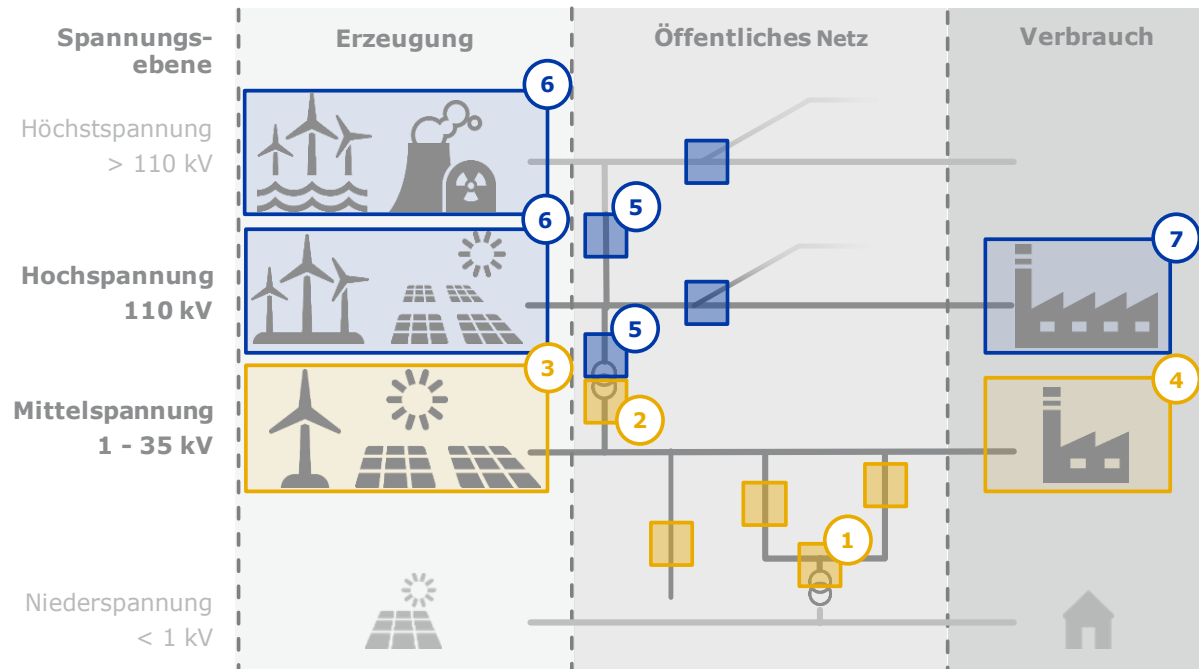


- > Anteil der elektrischen Industrie an totalen gemeldeten SF6-Emissionen in der **Schweiz:**

- **2002: 51%**
- **2012: 16%**

- [1] Harnisch et al., ESPR, 9, 315–319, 2002
- [2] Levin et al., Atmos. Chem. Phys., 10, 2655, 2010
- [3] Rigby et al., Atmos. Chem. Phys., 10, 10305, 2010
- [4] Switzerland's GHG Inventory 1990–2013, 2015

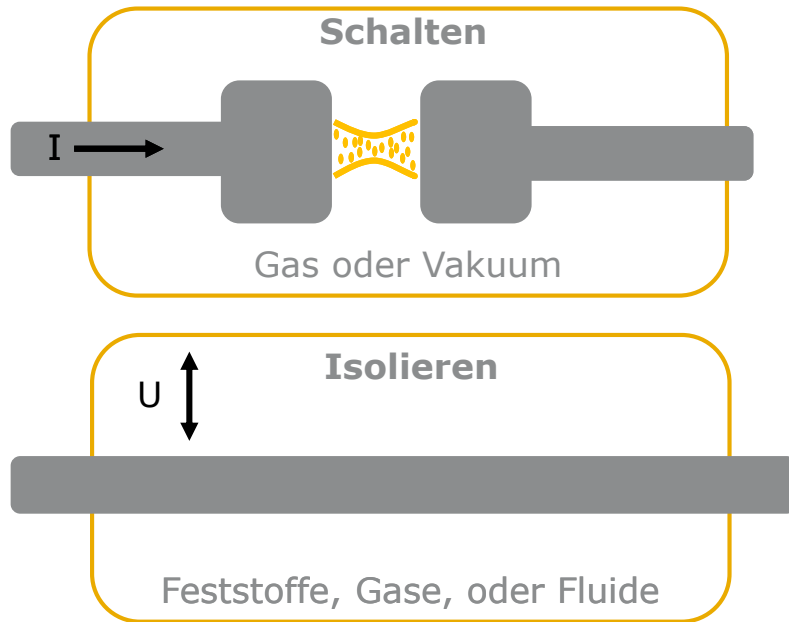
Einsatz von SF6 als Isolier- und Löschmedium



Betriebsmittel:

- > Schaltanlagen in Mittel- und Hochspannung
- > Andere: Gasisolierte Leitungen (GIL), Leistungsschalter und Messwandler für Freiluftschaltanlagen

Aufgaben SF6-freier Technologien



> Mittelspannung MS

- **Schalten:** Vakuumschalter in Schaltanlagen für die Primärverteilung und Sekundärverteilung/RMU
- **Isolation:** Feststoffe, Alternativgase (worunter technische Luft), Fluide (z.B. synthetische Ester)

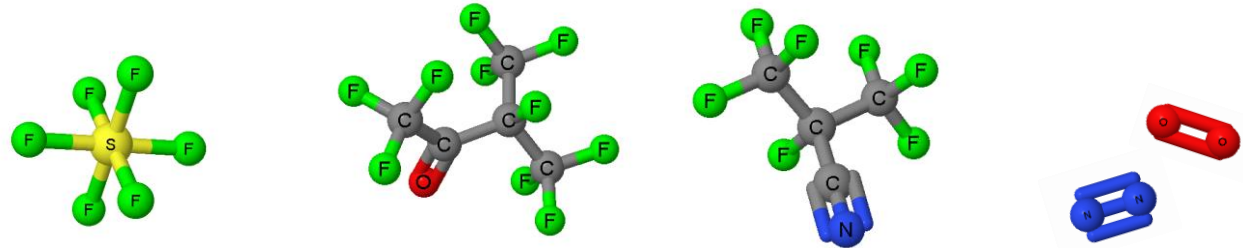
> Hochspannung HS

- **Schalten:** Vakuumschalter (momentan bis ~ 145 kV)
- **Isolation:** Alternativgase

Bewertungskriterien

- > Bemessungsspannung und -strom
- > Klimatischer Einsatzbereich
- > Kosten
- > Lebensdauer/Langzeitstabilität
- > Wartungsaufwand
- > Baugröße/Gewicht
- > Gesundheits- und Umweltrisiken
- > Brandsicherheit
- > Toxizität (v.a. von Schaltprodukten)
- > GWP
- > Materialkompatibilität von Isoliertgasen
- > ...

Eigenschaften von Alternativgasen und SF6



	Schwefelhexafluorid SF6	Fluoriertes Keton C5-PFK	Fluoriertes Nitril C4-PFN	Luft N2/O2
Summenformel	SF6	C5F10O	C4F7N	N2, O2
Siedepunkt	-64°C	+27°C	-4.7 °C	-196°C, -183°C
Einsatzbereich	MS + HS	MS + HS	HS	MS + HS
Atmosphärische Lebensdauer	3200 Jahre	16 Tage	32 Jahre	
GWP	23500	<1	2100	0
Gasmischungen in Anwendung	meistens pur (100%) für kalte Regionen: N2 oder CF4 GIL: ~20% SF6 in N2	MS GIS: ~7...14% in Luft HS GIS: ~6% in O2 und CO2	~4-10% in CO2 GWP: ~330-690	~20% O2 in N2
Minimale Betriebstemperatur	~-40°C	MS GIS: -15/-25°C HS GIS: -5°C	-25°C	-50°C

SF6-freie Anlagen europäischer Hersteller für die **Mittelspannung** mit Vakuumschalter (Beispiele)

Primärverteilung

Eaton Xpert UX
Feststoff



Eaton Xpert FMX
Feststoff



Siemens NXAIR
Luft



Sekundärverteilung

Schneider Premset
Feststoff



Eaton Xiria
Feststoff



Cellpack ECOS-C
Ester



ABB AirPlus
Keton



Überblick über den Stand der Technik Schaltanlagen für die **Mittelspannung**

Isoliermedium	Luft (AIS)	Alternativgas	Alternativgas	Feststoff	Fluid
Schaltmedium	Vakuum	Vakuum	Alternativgas	Vakuum	Vakuum
MS- Schaltanlage Primärverteilung	umgesetzt, >5 Jahre am Markt	umgesetzt, < 5 Jahre am Markt	nicht umgesetzt	umgesetzt, >5 Jahre am Markt	nicht umgesetzt
MS- Schaltanlage Sekundärverteilung	umgesetzt, >5 Jahre am Markt	umgesetzt, < 5 Jahre am Markt	nicht umgesetzt	umgesetzt, >5 Jahre am Markt	umgesetzt, >5 Jahre am Markt

Gegenüberstellung von Anlagen europäischer Hersteller für die **Hochspannung**



	ABB ELK-14C 245 kV	ABB GLK-14 170 kV Pilot-Anlage	ABB ELK-04C 170 kV	GE F35 145 kV	GE F35 g3 145kV	Siemens 8VN1 145 kV
Isolation	SF6	C5-PFK/CO2/O2	SF6	SF6	C4-PFN/CO2	Luft (N2/O2)
Leistungsschalter	SF6	C5-PFK/CO2/O2	SF6	SF6	C4-PFN/CO2	Vakuum
Bemessungsstrom (A)	3150	1250	4000	3150	3150	3150
~Volumen (m³)	21	21	17-19	7	7	18
~Gewicht (Tonnen)	6	6	2.4-3.8	2.5	2.5	5
Minimale Temperatur (°C)	-25	-5	-30	-30	-25	-50

Überblick über den Stand der Technik Schaltanlagen für die **Hochspannung**

Isoliermedium Schaltmedium	Alternativgas Vakuum	Alternativgas Alternativgas	Feststoff Vakuum	Fluid Vakuum
HS Schaltanlagen	umgesetzt, <5 Jahre am Markt	umgesetzt, <5 Jahre am Markt	nicht umgesetzt	nicht umgesetzt

- > In der **Mittelspannung** sind SF6-freie Technologien teilweise seit Jahren verfügbar und im Einsatz. Eine **vollständige Abdeckung scheint technisch möglich** zu sein. Mehrkosten sind zu erwarten.
- > Eine SF6-freie Technologie in der **Hochspannung** erscheint in absehbarer Zeit **nicht ohne technische Kompromisse** möglich zu sein.
- > Im Moment zeigen sich zahlreiche Entwicklungen im Bereich SF6-freier Schaltanlagen.

- > Stetige Einbindung der Stakeholder in den weiteren Arbeitsschritten:
Ihre Einschätzung ist ausdrücklich willkommen!
- > Im Rahmen der Fachgespräche mit Herstellern und Anwendern stellen wir die Ergebnisse zum technischen Sachstand zur Diskussion.
- > Ableitung und Einordnung von regulatorischen Handlungsmöglichkeiten («Konzept»).



Herzliche Einladung zum weiteren Austausch

- > Direkt per E-Mail/telefonisch
- > Fachgespräch am 6. März 2017 in Berlin (BMUB)

Ecofys

Charlotte Hussy

c.hussy@ecofys.com

ETH

Mohamed Rabie

rabie@eeh.ee.ethz.ch