

Konzept zur SF₆-freien Übertragung und Verteilung elektrischer Energie

Zusammenfassung des Abschlussberichts

Zusammenfassung des Abschlussberichts

Von

Ecofys: Dr.-Ing. Karsten Burges, Michael Döring, Charlotte Hussy, Jan-Martin Rhiemeier

ETH: Prof. Dr. Christian Franck, Mohamed Rabie

Datum: 28. Februar 2018

Projekt-Nummer: ESMDE16264

BMU Kennzeichen: 03KE0017

Ecofys - A Navigant Company

Ecofys Germany GmbH
Albrechtstraße 10 c, 10117 Berlin

Tel: +49 (0) 30 29773579-0

Fax: +49 (0) 30 29773579-99

info@ecofys.com

ecofys.com

1 Zusammenfassung

In der elektrischen Energietechnik hat das Gas Schwefelhexafluorid (SF₆) derzeit eine zentrale Bedeutung als Isolier- und Löschmedium, insbesondere in Schaltanlagen. Neben den vielfältigen Vorteilen hinsichtlich seiner technischen Eigenschaften hat SF₆ den Nachteil eines sehr hohen Treibhauspotentials. Es ist das stärkste bekannte Treibhausgas.

Seit dem Kyoto Protokoll von 1997 werden Maßnahmen mit dem Ziel der Emissionsreduktion von SF₆ diskutiert. Ein Beispiel ist die freiwillige Selbstverpflichtung der Industrie in Deutschland. Auf europäischer Ebene wurde 2014 ein Verbot für bestimmte Anwendungsfälle im Rahmen der F-Gase-Verordnung (EU, Nr. 517/2014) diskutiert, aber wieder verworfen. Für die Revision im Jahr 2020 ist die Überprüfung der Verfügbarkeit von Alternativen für SF₆ in spezifischen Schaltanlagen in der Mittelspannung vorgesehen.

Vor dem Hintergrund dieser klimapolitisch motivierten Bestrebungen wurden Ecofys, Teil der Navigant Gruppe, und die ETH Zürich beauftragt, technologische Alternativen und konkrete Handlungsoptionen für den verminderten Einsatz oder den Ersatz von SF₆ in neu errichteten elektrischen Betriebsmitteln aufzuzeigen und einzuordnen. Der Schwerpunkt des Berichts liegt auf Schaltanlagen, Messwandlern und Leitungen in der Mittel- (1 bis 52 kV) und Hochspannung (> 52 kV) in Deutschland.

Konkret haben wir die vorhandenen SF₆-Alternativen hinsichtlich ihrer Einsatzfähigkeit, ihrer Vorteile und Einsatzgrenzen sowie Umweltauswirkungen geprüft. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen gleichzeitig der wissenschaftlichen Ermittlung des Klimaschutzpotentials durch den SF₆ Ersatz in Mittel- und Hochspannungsanlagen. Für die ermittelten Potentiale zum Ersatz von SF₆ sollten sowohl die Möglichkeiten als auch die Grenzen für einen europäischen Ausstieg, die dafür notwendigen Zeithorizonte sowie Vorschläge für begleitende Maßnahmen erarbeitet werden. Abschließend haben wir Instrumente und Maßnahmen für den verminderten Einsatz von SF₆ inventarisiert, systematisiert und vergleichend bewertet. Während der Untersuchungen wurden eigene Recherchen mit einem intensiven Dialog mit Herstellern und Anwendern in Form von mehreren Interviews und Fachgesprächen verknüpft.

1.1 Erkenntnisse und Schlussfolgerungen – Status quo

Die höchsten SF₆-Emissionen in der Verteilung und Übertragung elektrischer Energie sind Emissionen in der Herstellung „sonstiger Betriebsmittel“ sowie Betriebsemissionen von Hochspannungsschaltanlagen.

Die Bestandsemissionen der *Hochspannung* (>52 kV) übersteigen die Emissionen der Mittelspannung um ein Vielfaches, obwohl in der Mittelspannung mehr SF₆ installiert ist. Die Emissionen während der Herstellung sind ebenfalls hoch. Die hohen gemeldeten Emissionen in der Herstellung „sonstiger Betriebsmittel“ (z. B. Messwandler, Durchführungen und Kondensatoren) sind nicht bis ins Detail nachvollziehbar. Eine genaue Analyse und Validierung der gemeldeten Zahlen erfolgt derzeit durch die Verbände und den Arbeitskreis SF₆.

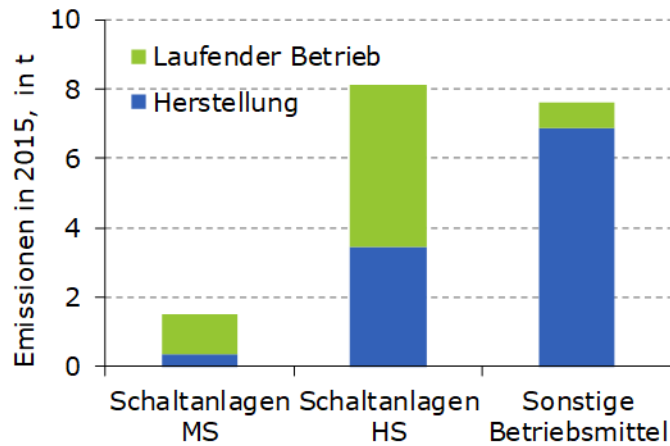


Abbildung Z1: SF₆-Emissionen während der Herstellung und im laufenden Betrieb, Emissionen in der Entsorgung sind zu vernachlässigen (2015).

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von [SOLVAY et al., 2005; UBA, 2016].

In der Mittelspannung sind alternative Lösungen auf dem Markt vorhanden, in der Hochspannung bedarf es noch weiterer Entwicklungen.

In der Mittelspannung gibt es ausgereifte Alternativen zu SF₆. Einzelne dieser Alternativen sind im europäischen Ausland seit Jahren erfolgreich im kommerziellen Einsatz. Es gibt allerdings keine Alternative, die in allen technischen Aspekten mit SF₆ gleichzusetzen oder gar überlegen ist. Je nach Einsatzgebiet kommen luftisolierte Schaltanlagen oder Schaltanlagen mit alternativen Isoliermedien, wie Feststoffe, Fluide oder alternative Gase, in Betracht. Als Schaltmedium in der Mittelspannung ist Vakuum Stand der Technik.

In der Hoch- und Höchstspannung ist die Auswahl technisch praktikabler Alternativen begrenzter, sowohl was Isolier- als auch Schaltmedien betrifft. Neben Vakuum als Schaltmedium kommen praktisch nur alternative Gase und Gasgemische als Isolier- oder Schaltmedium in Betracht.

Die Industrievertreter gehen davon aus, dass Alternativen auch in der Hochspannung ein mit SF₆-Anlagen vergleichbares Leistungsniveau erreichen können, dafür aber noch einige Jahre Entwicklung erforderlich sind.

Die F- Gase-Verordnung und die freiwillige Selbstverpflichtung haben bereits zu signifikanten SF₆-Emissionsreduktionen geführt.

Seit der ersten Implementierung der F-Gase-Verordnung arbeitet die Industrie daran, ihre SF₆-Emissionen sowohl in den Produktionsprozessen als auch in der Nutzungsphase in Mittel- und Hochspannung zu reduzieren. In Deutschland mündete dies in einer freiwilligen Selbstverpflichtung der Industrie (erstmalig 1997, erneuert 2005) [SOLVAY et al., 2005]. Diese führte zu einer Reduktion der SF₆-Emissionen im Zusammenhang mit elektrischen Betriebsmitteln von 50 t SF₆ im Jahr 1997 auf 17 t SF₆ im Jahr 2015.

1.2 Erkenntnisse und Schlussfolgerungen – weitere Entwicklungen

Weitere Reduktionspotentiale sind vorhanden – um sie auszuschöpfen, bedarf es weiterer Anstrengungen.

Bei ambitionierten Anstrengungen ist auch künftig eine nennenswerte absolute Reduktion der SF₆-Emissionen möglich, trotz steigender Zahl installierter Anlagen. Weitere Reduktionspotentiale sind allerdings schwerer zu erschließen als in der Vergangenheit und weiterhin stark abhängig von Spannung, Anwendung / Betriebsmittel und Einsatzbereich.

- *Schaltanlagen in der Hochspannung*: Neue Anlagen haben bereits ein sehr hohes Dichtheitsniveau. Die Produktionsprozesse wurden schon stark optimiert. Alle Möglichkeiten zur weiteren Reduktion durch Verbesserung der Betriebsprozesse müssen betrachtet werden. Eine substantielle Emissionsreduktion setzt die beherrzte Einführung bestehender und künftiger Alternativen voraus.
- *Schaltanlagen in der Mittelspannung*: Neu verbaute Mittelspannungsschaltanlagen haben bereits sehr niedrige Emissionsraten (<0,1% p.a.). Diese Leckraten sind als technische Machbarkeitsgrenze anzusehen. Daher sind weitere Reduktionspotentiale in Mittelspannungsanlagen lediglich erschließbar, wenn künftig zunehmend SF₆-freie Lösungen für Mittelspannungsschaltanlagen eingesetzt werden. Das tatsächliche Reduktionspotential ist aufgrund des Modellansatzes im Rahmen des aktuellen Monitorings nicht verlässlich quantifizierbar.
- *„Sonstige elektrische Betriebsmittel“*: Der Ursprung der hohen absoluten Emissionen bei der Herstellung von „sonstigen elektrischen Betriebsmitteln“ ist nicht hinreichend geklärt. Die bestehende Berichterstattung erlaubt es nicht, die genauen Quellen dieser Emissionen zu identifizieren und lässt darüber hinaus keinen Rückschluss auf die Art des Betriebsmittels zu. Die technische Machbarkeit von Alternativen oder Emissionsreduktionen bleibt damit vorläufig unklar.
- *Außerbetriebnahme und Entsorgung*: Die ersten großen Chargen von SF₆-haltigen Betriebsmitteln erreichen zeitnah das Ende der technischen Lebensdauer. Daher werden Stilllegung und Entsorgung in naher Zukunft für die Emissionskontrolle relevant werden. Es bestehen allgemeine Verpflichtungen für die ordnungsgemäße Rückgewinnung von Gasen am Ende der Lebensdauer. Diese sind auch Teil der freiwilligen Selbstverpflichtungen der Industrie. Angesichts der stark verstreuten Betriebsmittel und der nicht registrierten Zuordnung von Betriebsmitteln und Akteuren bleibt abzuwarten, ob die Prozesse von allen Beteiligten mit der erforderlichen Sorgfalt durchgeführt werden.

Für weitere substantielle Emissionsreduktionen wird der weitgehende Wechsel zu alternativen Technologien / Gasen letztlich eine wesentliche Voraussetzung sein. Für einen solchen Wechsel müssen die Herausforderungen für Zuverlässigkeit, Sicherheit und Umweltverträglichkeit der neuen Lösungen sorgfältig geprüft und umfassend bewertet werden.

Industrie fordert regulatorische und technische Sicherheit

Der Druck zu einer weiteren Reduktion des SF₆-Einsatzes bringt für die Industrie Anpassungskosten und vielfältige Unsicherheiten mit sich. Ein verlässlicher regulatoriver Rahmen ist Voraussetzung für nachhaltige Anstrengungen.

Eine verbindliche Zielrichtung für die weitere Minimierung des SF₆-Einsatzes ist für die Industrie ebenso wichtig wie eine konsistente Bewertung der Eigenschaften der Alternativen in ihrem Zusammenhang. Hier gibt es noch viele Unklarheiten. Darüber hat insbesondere die regulierte Netzwirtschaft einen klaren Bedarf an verlässlichen Aussagen, wie die Mehrkosten, die mit den Alternativen verbunden sind, in der Regulierung behandelt werden.

Eine Weiterentwicklung der freiwilligen Selbstverpflichtung bietet Chancen für weitere Fortschritte

Der politischen Ebene obliegt die Vorgabe der Zielstellungen. Die weitere Reduktion der Emissionen ist zunehmend schwieriger zu realisieren. Verpflichtende Reduktionsziele sollten von der Politik vorgeschrieben werden, die Umsetzung der Branchen-Zielstellungen hingegen kann grundsätzlich auch weiterhin der Industrie überlassen werden, z. B. im Rahmen einer fortgeschriebenen freiwilligen Selbstverpflichtung.

Weiterentwicklung des SF₆-Monitorings erforderlich

Wenn effektive Maßnahmen durch die Politik oder die Industrie etabliert und durchgesetzt werden sollen, muss bekannt sein, wo die Emissionen tatsächlich auftreten. Aktuelle Methoden und Aggregationsebenen des SF₆-Monitorings im Rahmen der Branchenverpflichtung unterstützen eine unabhängige Bewertung und einen Vergleich der erreichten Leistungsniveaus sowie die Identifikation konkreter Emissionsquellen nur unzureichend. Die Schwierigkeiten im Zusammenhang mit der weiteren Verbesserung des Monitorings sind jedoch vielfältig. Drei Bereiche des Monitorings verdienen Aufmerksamkeit:

- *Emissionsüberwachung und Berichterstattung* (bottom-up); Möglichkeit zur differenzierten Identifikation potentieller Hauptemissionsquellen (Branchenüberdurchschnittliche Emissionsraten).
- ein *SF₆-Register* in Form einer Datenbank zur ständigen Überwachung der Anzahl, des Standorts, des Alters und möglicherweise der Emissionsrate individueller SF₆-Schaltanlagen;
- *Atmosphärische Emissionsmessung* (top-down).

Abwägung des Austauschs von Altanlagen

Gegenstand der Untersuchungen waren neue Betriebsmittel. Über den selektiven Austausch von Altanlagen kann vermutlich ein großer Anteil von Betriebsemissionen sowohl in der Mittelspannung als auch in der Hochspannung reduziert werden. Es existieren allerdings keine einfachen generischen und verlässlichen Indikatoren (z. B. Alter der Anlage), über die das Emissionsniveau einer bestimmten Schaltanlage abgeleitet werden kann. Gesamtpotential, Effizienz und Wirksamkeit dieser Maßnahmen sind deshalb ungewiss und aus einer ex ante-Perspektive schwer zu bewerten. Auch hier würde ein verbessertes Monitoring helfen.

1.3 Handlungsempfehlungen

Politischer und regulatorischer Rahmen

- Wir empfehlen die Festlegung klarer politischer Ziele für die weitere Reduktion des SF₆-Einsatzes und der damit verbundenen Emissionen. Ohne klare politische Zielstellung werden weitere Reduktionen der SF₆-Emissionen durch die Industrie hinter den Möglichkeiten zurückbleiben.
- Die Politik muss die Kriterien für eine konsistente Bewertung der nicht-technischen Eigenschaften der Alternativen definieren. Hierzu zählen die Bewertung von Klimarelevanz, Gesundheitsrisiken, Berücksichtigung von Mehrkosten in der Anreizregulierung und dergleichen mehr.
- Diese Klärungen sollten vorzugsweise einheitlich auf europäischer Ebene erfolgen. Nationale Regeln versprechen nur eine begrenzte Effizienz und Effektivität.
- Normative Vorgaben oder wirtschaftliche Anreize zugunsten bestimmter Alternativen in einzelnen Anwendungen sind wenig sinnvoll. Eine integrale Mengenvorgabe für die Branche als Ganzes (Einsatz, Emissionen) ist in unseren Augen effektiver. Eine weiter ausgestaltete freiwillige Selbstverpflichtung der Industrie kann dafür einen geeigneten Rahmen liefern.
- Sollte eine freiwillige Selbstverpflichtung die Ziele verfehlen, müssen tiefer wirkende politische Instrumente erwogen und frühzeitig erarbeitet werden. Wenn derartige Handlungsoptionen bekannt sind, erhöht dies die politische Glaubwürdigkeit und Schlagkraft. Sie ist Teil der Sicherheit, die die Industrie fordert.
- Ergänzend zu einer Selbstverpflichtung der Industrie können spezifische Instrumente implementiert werden. Mit ihnen lassen sich „low hanging fruits“ erschließen, die andernfalls erst mit Verzug erreicht werden können.
- Denkbar sind dezidierte Sanktionen für mangelhafte Gas-Rückgewinnung und Recycling. Wirksame Sanktionen müssen die Entsorgungskosten deutlich überschreiten.
- Darüber hinaus können für spezifische Bereiche auch Anreizsysteme sinnvoll sein. Diese müssen jedoch aufgrund der Gefahr der Marktverzerrung und Mitnahmeeffekte maßhaltig angewendet werden.
A: Unterstützen des Austauschs von undichter Ausrüstung.
B: Unterstützung der Markteinführung von Alternativen durch Abfederung zusätzlicher Kosten und Risiken.

Weiterentwicklung der freiwilligen Selbstverpflichtung

In diesem Zusammenhang kommt folgenden Aspekten besondere Aufmerksamkeit zu:

- *Die Anstrengung zur Erreichung ehrgeiziger Ziele muss fair verteilt werden:* Die erforderlichen Anstrengungen zur weiteren Emissionsminderung steigen naturgemäß mit sinkenden Emissionen. Andauernde Bemühungen einzelner Akteure, die SF₆-freie/arme Technologien weiter voranbringen wollen, können vorläufig nicht mit einer kommerziellen Basis rechnen. Ein klarer Kodex und darauf aufbauender Mechanismus für die Lastenverteilung innerhalb der Branche kann die Sicherheit auch in einem wettbewerblichen Umfeld stärken.
- *„Sonstige Betriebsmittel“ müssen verstärkt adressiert werden:* Eine Vertiefung des Kenntnisstandes und die Erarbeitung einer beherrzten Strategie durch die Branche sind unerlässlich. Dieser Aspekt betrifft in starkem Maße einen engen Kreis an Herstellern. Auch deshalb ist die brancheninterne Verteilung der Lasten wesentlich für die anstehenden Herausforderungen.

- *Emissionen, nicht Emissionsraten:* Die Entwicklung der Emissionen im Bereich der Mittelspannungsanlagen zeigt, dass aus klimapolitischer Sicht Erfolge bei der Senkung der Emissionsraten nicht ausreichen. Angesichts der immens gestiegenen Anzahl der Anlagen ergibt sich in jüngerer Vergangenheit trotz der auf das technische Minimum abgesenkten Emissionsraten wieder ein Anstieg der absoluten Emissionen. Vor diesem Hintergrund ist es ein rationales Erfordernis, die Zielstellungen an absoluten Emissionen auszurichten. Daraus wird sich ein Impuls für die Einführung von Alternativen ergeben.
- *Substitutionsfahrplan:* Idealerweise erarbeitet die Branche einen Fahrplan für die weitere Minderung des SF₆-Einsatzes und der Emissionen sowie der Einführung von Alternativen und stimmt diesen aktiv mit den politischen Ebenen ab. Es wäre zweckmäßig, dass auch die Zwischenschritte auf dem Weg zur Zielerreichung quantifiziert werden. Auf diese Weise wird die Evaluierung des Fortschritts unterstützt und die Möglichkeit zur gezielten Nachsteuerung bei auftretenden Schwierigkeiten geschaffen, ohne dass die politische Ebene unmittelbar aktiv werden muss. Bei allen erforderlichen Vorbehalten würde ein derartiger Fahrplan den Beteiligten ein zusätzliches Maß an Sicherheit verschaffen.
- *(Selbst-) Verpflichtung der Anwender zu funktionalen, technologieneutralen Ausschreibung:* In der gegenwärtigen Praxis werden in Ausschreibungsunterlagen zu neuen Betriebsmitteln aus ‚Gewohnheit‘ regelmäßig SF₆-Anlagen benannt. Eine Verpflichtung, diese Eingrenzung in Ausschreibungen grundsätzlich zu vermeiden und zukünftig nach Funktion auszuschreiben, verschafft Anbietern alternativer Lösungen zumindest eine gleichgestellte Wettbewerbsposition und erhöht die Variantenvielfalt.
- *Außerbetriebnahme und Entsorgung:* Die sachgerechte Rückführung, Wiederverwendung, Entsorgung und Vernichtung von SF₆ aus ausgedienten Betriebsmitteln ist grundsätzlich geregelt. Eine detailliertere Vereinbarung der Prozesse und ihrer Überwachung scheint angesichts der mittelfristig anstehenden Mengen angebracht. Der Umgang mit Betriebsmitteln, aus denen das Gas bislang nicht mit vertretbarem Aufwand zurückgewonnen werden kann (z. B. Messwandler), verdient an dieser Stelle besondere Aufmerksamkeit.
- *Europäische Abstimmung:* Eine Ausweitung von Selbstverpflichtungen auf ganz Europa würde die Wirksamkeit der Maßnahme nachdrücklich positiv beeinflussen. Dabei wäre es angebracht, einzelne Punkte auch inkrementell zu vereinheitlichen (ausgewählte konsensfähige Themen; einzelne Mitgliedsstaaten, die zu ausgewählten Punkten vorangehen). Andernfalls befürchten wir, dass diese Abstimmung nur sehr schleppend vorankommt.

Weiterentwicklung des SF₆-Monitorings, Emissionsüberwachung und Berichterstattung

Eine Anpassung des Monitoringsystems erachten wir in den folgenden Punkten als notwendig:

- *Disaggregierte Daten öffentlichen Stellen zugänglich machen:* weniger aggregierte Daten würden Behörden helfen, die größten Emittenten zu identifizieren und auf dieser Grundlage effektive und effiziente Maßnahmen zu implementieren sowie die Zielerreichung zu überprüfen.
- *Berichterstattungssysteme auf EU-Ebene zu relevanten Aspekten vereinheitlichen:* Die Einführung eines abgestimmten europäischen Monitoringsystems wäre sinnvoll für Vergleichbarkeit und notwendig bei zukünftig europaweit geltenden Maßnahmen. Branchenexperten erwarten, dass das Erarbeiten einer EU-weiten Methodik mindestens ein Jahrzehnt dauern wird. Das ist jedoch kein Argument, nicht anzufangen und eine ggf. inkrementelle Angleichung der Berichterstattung voranzutreiben.

- *Verantwortlichkeiten von Gasproduzenten und -lieferanten erweitern:* Gasproduzenten berichten derzeit nicht über SF₆-Mengen. Sie in die Berichterstattung einzubeziehen, würde den gesamten Prozess vereinfachen. Die Geheimhaltung und Anonymisierung marktrelevanter Daten muss angesichts der begrenzten Anzahl von Akteuren zwar besonders berücksichtigt werden, dies ließe sich über einen begrenzten Zugang zu den Daten aber sicherstellen. Die verschiedenen Im- und Exportströme europäischer und außereuropäischer Lieferanten müssten dabei natürlich adäquat abgebildet werden. Das ist ein zusätzliches Argument für ein koordiniertes europäisches Vorgehen.
- *Klärungsbedarf zu „sonstigen Betriebsmitteln“ beseitigen:* Es bestehen Unsicherheiten bezüglich der Abgrenzung der Betriebsmittelkategorien, Spannungsebenen und der dem Monitoring zugrundeliegenden Definitionen. Diese sollten ausgeräumt werden, um mögliche Reduktionsmöglichkeiten zu identifizieren.
- *Atmosphärische Emissionsmessung:* Wir empfehlen, zusätzlich zur bestehenden Bottom-up-Bestandsaufnahme durch die Industrieverbände einen Prozess der Top-Down-Überwachung durch atmosphärische Messungen und Reverse-Modellierung. Top-down-Analysen können sehr konkrete Ergebnisse liefern, in welcher Region und wann Emissionen entstanden sind. Dies hilft möglicherweise dabei, erzielte Fortschritte bei der Emissionsminderung zu verifizieren, die Emissionsmodellierung für den Bottom-up-Bestand zu verfeinern und wichtige Quellen, die Aufmerksamkeit erfordern, zu identifizieren. Auch wenn einige relevante Emittenten fehlen oder in der Berichterstattung weniger vertrauenswürdig sind (z. B. Schallschutzfenster, Militär, Nicht-EU-Länder), wäre es sinnvoll, die nicht messbaren Mengen zu verstehen, um Top-down- und Bottom-up-Analysen näher zusammenzubringen.

Entwicklung und Einführung eines SF₆-Registers

- Ein SF₆-Schaltanlagen-Register in Form einer Datenbank zur ständigen Überwachung der Anzahl, des Standorts, des Alters und möglicherweise der Emissionsrate auf Basis von Wartungsdaten würde die Emissionsberichterstattung unterstützen und Bottom-up- und Top-down-Ansätze zusammenbringen. Ein solches Register ist für die Hoch- und Höchstspannung mit vertretbarem Aufwand zu erstellen. In der Mittelspannung müssten Vor- und Nachteile abgewogen werden.
- Voraussetzung der Datenerfassung ist Einigkeit hinsichtlich der zu erfassenden Daten, der Datenformate und Prozesse. Diese Abstimmung der Akteure wird selbst auf nationaler Ebene eher Jahre als Monate beanspruchen. Einzelne Unternehmen haben im Rahmen des Assetmanagements bereits SF₆-Register eingeführt und entsprechende Methoden getestet. Bei der Diskussion über ein deutschland- bzw. europaweites Register kann von diesen Unternehmen viel gelernt werden. Weiterhin kann auch auf die Erfahrungen der EU-Mitgliedsstaaten hinsichtlich des Kälteanlagenregisters zurückgegriffen werden.

Abwägung des Austauschs von Altanlagen

- Wenn durch den selektiven Austausch von Altanlagen ein nennenswerter Anteil von Betriebsemissionen reduziert werden kann, sind auch Anreize und Sozialisierung der Kosten gerechtfertigt.
- Eine dezidierte Inventarisierung des Anlagenbestandes und darauf aufbauend eine verlässliche Identifikation der lohnenden Anlagen ist Voraussetzung für die Implementierung derartiger Maßnahmen. Dies kann nur die Industrie selbst leisten. Ein verfeinertes Monitoring hilft

Contact

Ecofys - A Navigant Company

Ecofys Germany GmbH

Albrechtstraße 10 c, 10117 Berlin

Tel: +49 (0) 30 29773579-0

Fax: +49 (0) 30 29773579-99

info@ecofys.com

ecofys.com