



**report**<sup>2015</sup>  
Energieeffizienz  
und Klimaschutz

Luftfahrt bewegt.

Der deutsche Luftverkehr senkt seinen spezifischen Energiebedarf kontinuierlich. Im Jahr 2014 erzielten die Fluggesellschaften mit durchschnittlich 3,64 Litern Kerosin pro 100 Personenkilometer eine neue Bestmarke.

Mit diesem Bericht stellt der BDL die zentralen Kennzahlen sowie Strategien und Maßnahmen vor, die zur Verbesserung der Energieeffizienz und des Klimaschutzes im Luftverkehr führen.

## Inhaltsverzeichnis

### Kennzahlen 2015

Report zur Energieeffizienz und zum Klimaschutz im Luftverkehr in wesentlichen Kennzahlen	2
---	---

### Zielsetzung und Strategie

Branchenziele und Vier-Säulen-Strategie	8
---	---

### Maßnahmen

Technische Innovationen	10
-------------------------	----

Energieoptimierter Betrieb	12
----------------------------	----

Effiziente Infrastruktur	14
--------------------------	----

Alternative Antriebe und Flugkraftstoffe	16
--	----

Emissionshandel	18
-----------------	----

Forschung zur Klimawirkung	19
----------------------------	----

Umrechnungsfaktoren	20
---------------------	----

Impressum	21
-----------	----

# report<sup>2015</sup>

## Energieeffizienz und Klimaschutz

Verbesserung der  
Energieeffizienz seit 1990  
(BDL-Fluggesellschaften, Passage)

**+42 %**

Durchschnittlicher Kerosinverbrauch  
pro Passagier und 100 km im Jahr 2014  
(BDL-Fluggesellschaften, Passage)

**3,64 Liter**

Senkung der absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen  
bei innerdeutschen Flügen seit 1990

**-16 %**

Anteil des innerdeutschen Luftverkehrs an  
den deutschen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2013

**0,25 %**

Anteil des globalen Luftverkehrs an den  
weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2012

**2,42 %**

Durchschnittliche Auslastung im  
deutschen Luftverkehr im Jahr 2014

**81 %**

Geplante Investitionen deutscher Flug-  
gesellschaften in 230 neue treibstoffeffiziente  
Flugzeuge in den nächsten zehn Jahren

**32 Mrd. €**

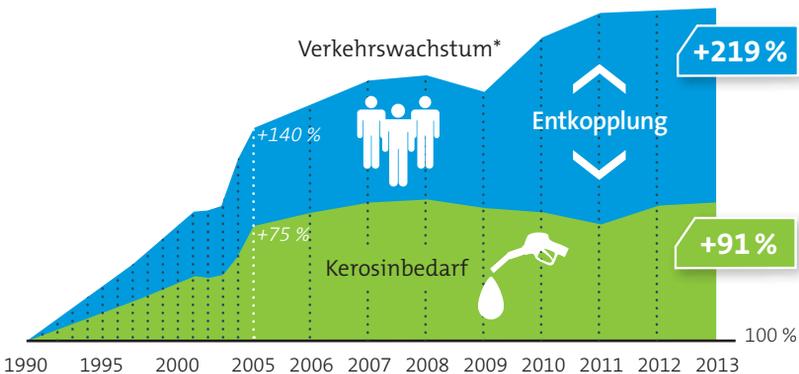
# Energieeffizienz und Klimaschutz in wesentlichen Kennzahlen

Seit vielen Jahren ist im deutschen Luftverkehr der Kerosinbedarf vom Verkehrswachstum entkoppelt. Im Vergleich zum vergangenen Jahr ist der durchschnittliche Verbrauch der deutschen Flotte pro Person und 100 Kilometer um ein Prozent gesunken und beträgt jetzt 3,64 Liter. Kurz gefasst: Der Luftverkehr wird immer effizienter.

## Mehr Luftverkehr, weniger Kerosin

Der deutsche Luftverkehr hat sich seit 1990 mehr als verdreifacht. Aber der Kerosinbedarf ist im gleichen Zeitraum nur um 91 Prozent gestiegen. Dabei ist die an deutschen Flughäfen getankte Menge Kerosin Berechnungsgrundlage. Die entsprechende Verkehrsleistung, für die dieses Kerosin verwendet wird, umfasst alle innerdeutschen Flüge sowie alle Flüge ab Deutschland. Dabei werden der Fracht-, der Post- und der Personenverkehr berücksichtigt. Die Entkopplung von Kerosinbedarf und Verkehrswachstum wurde vor allem durch Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz erreicht.

## Entkopplung des Kerosinbedarfs vom Verkehrswachstum



\* Das Verkehrswachstum bezieht sich auf die Verkehrsleistung aller Abflüge von Flughäfen in Deutschland. Quelle: BDL auf Grundlage der Daten von destatis und dem Umweltbundesamt (UBA)

## Standards für vergleichbare Effizienzdaten

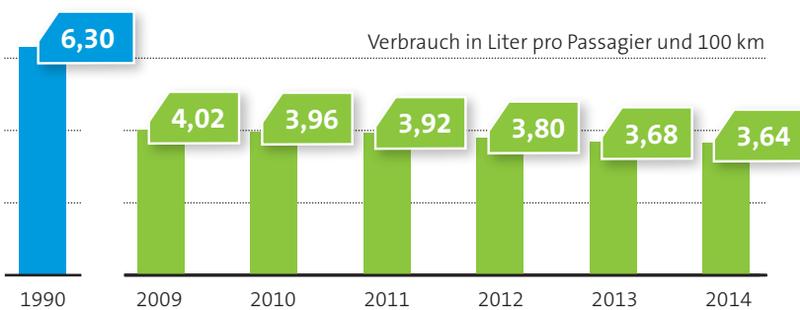
Für die Berechnung des spezifischen Treibstoffverbrauchs gibt es bislang weltweit unterschiedliche Methoden. Das soll sich nun ändern. Daher wird zurzeit beim Internationalen Luftverkehrsverband IATA eine einheitliche Berechnungsmethode für den Luftverkehr entwickelt. Die Berechnungsmethode des spezifischen Verbrauchs der deutschen Luftverkehrswirtschaft ist unter die-vier-liter-flieger.de nachzulesen.



## Ein neuer Effizienzrekord im Passagierverkehr

Seit 1990 haben die deutschen Fluggesellschaften ihren Treibstoffverbrauch pro Passagier und 100 Kilometer um 42 Prozent verringert. Im Vergleich: 1990 benötigte ein Flugzeug noch durchschnittlich 6,3 Liter pro Passagier und 100 Kilometer. Im vergangenen Jahr verbrauchte die Flotte der deutschen Fluggesellschaften durchschnittlich nur 3,64 Liter Kerosin auf der gleichen Strecke. Das ist ein neuer Effizienzrekord.

### Durchschnittlicher Verbrauch der deutschen Flotte: 3,64 Liter\*



\*Berücksichtigt werden bei der Berechnung alle BDL-Passagier-Fluggesellschaften inklusive der entsprechenden Tochterunternehmen. Quelle: BDL auf Grundlage von Unternehmensangaben

Anders ausgedrückt haben es die deutschen Fluggesellschaften im Jahr 2014 im Vergleich zum Vorjahr geschafft, 128 Millionen Liter Kerosin einzusparen. Mit dieser Menge Treibstoff könnten zum Beispiel 2,27 Millionen Passagiere mit einem Airbus A321, besetzt mit jeweils 210 Passagieren und einem durchschnittlichen Verbrauch von 3,4 Litern pro 100 Personenkilometer auf der 1.656 Kilometer langen Strecke Berlin – Mallorca transportiert werden.

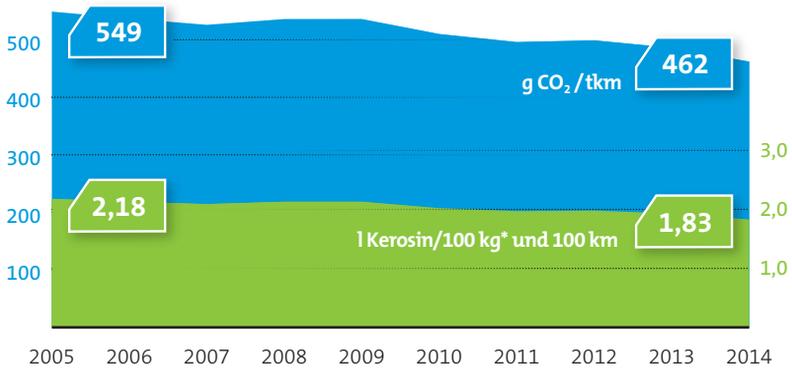
## Welche Faktoren bestimmen den Durchschnittsverbrauch?

Der Verbrauch pro Passagier variiert durch Auslastung und Flugstreckenlänge. So liegt der durchschnittliche Kerosinbedarf auf Kurzstrecken (< 800 km) bei 4,2 bis 6,8 Litern pro 100 Personenkilometer, auf Mittelstrecken (800 bis 3.000 km) bei 2,6 bis 4,2 Litern und auf Langstrecken (> 3.000 km) bei 2,9 bis 3,5 Litern pro 100 Personenkilometer. Reine Touristikflüge verbrauchen im Schnitt pro Person weniger Kerosin, weil sie aufgrund langfristiger Planung und Buchung in der Regel eine noch höhere Auslastung aufweisen als Linienflüge.

## Mehr Fracht mit geringerem Verbrauch

Auch deutsche Frachtflugzeuge fliegen so effizient wie nie zuvor: Auf Passagiere umgerechnet verbrennt die Fracht-Flotte der Lufthansa Cargo nur 1,83 Liter auf 100 Kilometer. Berechnungsgrundlage ist die Annahme, dass ein Passagier mit Gepäck durchschnittlich 100 kg wiegt. Ein Frachter braucht weniger Treibstoff pro 100 Kilometer Transportleistung als ein Passagierflugzeug, weil der zur Verfügung stehende Raum effektiver genutzt werden kann. Seit 2005 konnte der spezifische Energieverbrauch der Fracht-Flotte um 16 Prozent gesenkt werden. Ein Trend, der sich mit den neuen Boeing 777F-Frachtflugzeugen fortsetzt, denn sie sind um 17 Prozent energieeffizienter.

### Durchschnittlicher Verbrauch der Fracht-Flotte: 1,83 Liter



\* 100 kg = 1 Passagier inkl. Gepäck  
Quelle: Lufthansa Cargo

## Energieeffizienz im Luftverkehr funktioniert ohne staatliche Eingriffe

Eine Tankfüllung für einen Airbus A380 kostet mehr als 100.000 Euro. Die Kerosinkosten betragen rund ein Drittel der Betriebskosten einer Fluggesellschaft. Hieraus erklärt sich, warum der Luftverkehr eine Treibstoffreduktion auch ohne staatliche Vorgaben oder andere regulative Eingriffe erreicht.

### Betriebskosten einer Fluggesellschaft

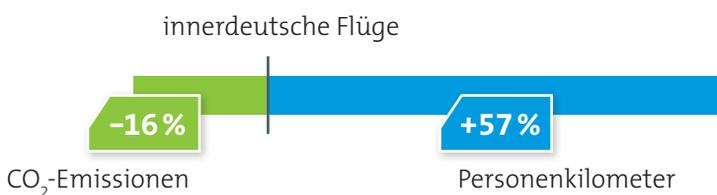


Quelle: Internationaler Luftverkehrsverband (IATA)

## Abnehmend: CO<sub>2</sub>-Emissionen auf den innerdeutschen Strecken

Der Anteil des innerdeutschen Luftverkehrs an den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland lag im Jahr 2013 bei 0,25 Prozent. Den Fluggesellschaften ist es gelungen, diesen kleinen Anteil im Vergleich zu 1990 um 16 Prozent auf 2,1 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> zu senken, obwohl der innerdeutsche Luftverkehr im selben Zeitraum um 57 Prozent gewachsen ist.

### CO<sub>2</sub>-Emissionen und Verkehrswachstum von 1990–2013



Quelle: BDL auf Grundlage der Daten über die Verkehrsleistung von destatis und den CO<sub>2</sub>-Emissionsdaten des Umweltbundesamtes (UBA)

## Geschäftsreisende schätzen innerdeutsche Flugverbindungen

Für 40 Prozent der Unternehmen in Deutschland sind die innerdeutschen Flugverbindungen von großer Bedeutung, so eine repräsentative Umfrage des ifo-Instituts. Die durchschnittliche Reisedistanz eines Passagiers in Deutschland betrug im Jahr 2014 rund 435 Kilometer. Eine Strecke, die etwa der Flug-

distanz zwischen Hamburg und Nürnberg entspricht. Mit dem Zug ist der Passagier gegenwärtig neun Stunden hin und zurück unterwegs. Das Flugzeug braucht zwei Stunden und 20 Minuten. Hinzu kommt noch der Zeitbedarf für die An- und Abreise sowie Check-in-Zeiten. Trotzdem kann die Geschäftsreise mit dem Flugzeug innerhalb eines Tages ohne Überstunden oder Übernachtung durchgeführt werden. Dass innerdeutsche Flugreisen trotz ihres in der Regel höheren Preises gegenüber einer Bahnreise von Unternehmen nachgefragt werden, bestätigt ihren hohen Nutzen für diese Kundengruppe.

### Zeitbedarf

Hin- und Rückweg\*



Hamburg

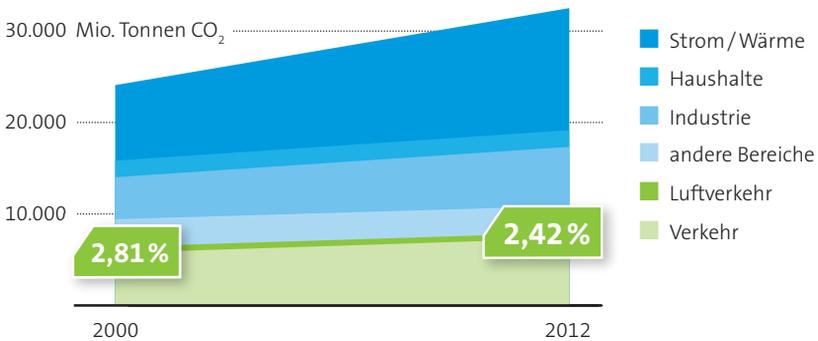
Nürnberg

\* reine Fahrt-/Flugzeit

## Anteil des globalen Luftverkehrs an den CO<sub>2</sub>-Emissionen sinkt

Auch weltweit verbessert der Luftverkehr seit Jahren seine Energieeffizienz und konnte seit 1990 den Ausstoß von mehr als fünf Milliarden Tonnen Kohlendioxid vermeiden – eine Menge, die etwa den jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen der USA entspricht. Und: Trotz erheblicher Wachstumsraten sinkt der Anteil des Luftverkehrs an den weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen seit Jahren. Er lag im Jahr 2012 bei 2,42 Prozent. Zum Vergleich: Im Jahr 2000 waren es noch 2,81 Prozent.

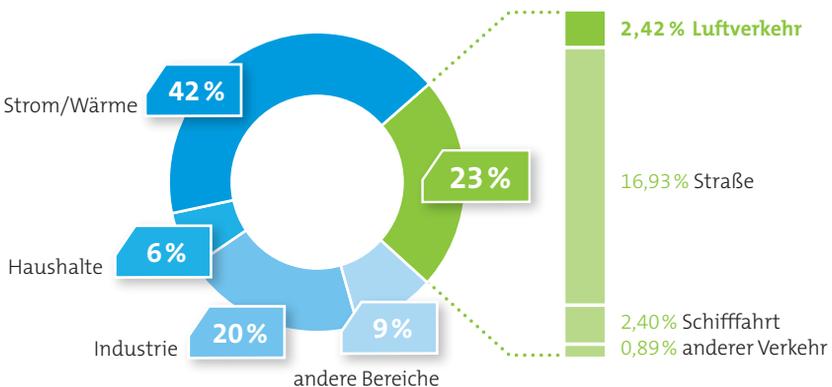
### Entwicklung der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen\*



\* Gemessen an den CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe  
Quelle: Internationale Umweltagentur (IEA) 2014

Das liegt daran, dass die absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Luftverkehrs auch aufgrund der immer effizienter durchgeführten Flüge weniger stark wachsen als die Emissionen aus anderen Sektoren. So stiegen zum Beispiel die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Strom- und Wärmeerzeugung zwischen 2000 und 2012 um 62 Prozent. Die Emissionen des Luftverkehrs nahmen im selben Zeitraum nur um 15 Prozent zu.

### CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe

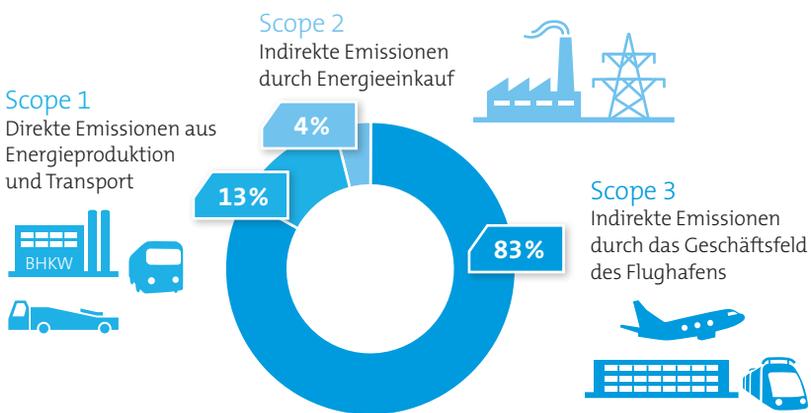


Quelle: Internationale Umweltagentur (IEA) 2014, Daten für 2012

## CO<sub>2</sub>-Bilanz an deutschen Flughäfen

Der Flughafenverband ADV hat mit den Flughäfen eine gemeinsame Klimastrategie entwickelt. Von 15 Flughäfen werden regelmäßig Bilanzen für alle CO<sub>2</sub>-Emissionen erstellt, die durch den Betrieb eines Flughafens entstehen. Berücksichtigt werden etwa die Beheizung der Gebäude, die Abfertigung der Flugzeuge am Boden, aber auch die Emissionen der Flugzeuge beim Starten, Landen und beim Bodenaufenthalt. Die CO<sub>2</sub>-Bilanzen der deutschen Flughäfen werden nach den Vorgaben des Greenhouse Gas Protocols in drei Kategorien (Scopes) eingeteilt.

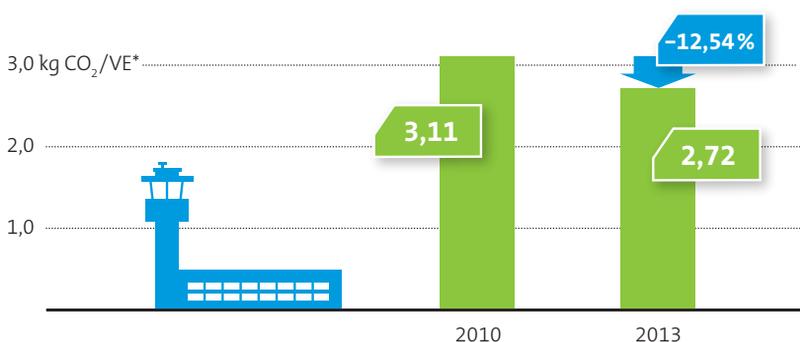
### CO<sub>2</sub>-Fußabdruck eines Flughafens



Quelle: Flughafen München

Die Flughäfen konnten ihre spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen für Scope 1 und 2 zwischen 2010 und 2013 mehr als zwölf Prozent auf 2,72 kg CO<sub>2</sub> pro Verkehrseinheit senken. Das ist primär auf Maßnahmen aus Scope 1 zurückzuführen. Dazu gehören die Optimierung der Bodenprozesse und der Einsatz innovativer Technologien zum Betrieb von Gebäuden und Anlagen wie etwa moderne Heizungssteuerungen sowie der Einsatz alternativer Fahrzeugantriebe.

### Spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen der deutschen Flughäfen



\* 1 VE = 1 Verkehrseinheit = 1 Passagier inkl. Gepäck bzw. 100 kg Fracht, Werte beziehen sich auf Scope 1 und 2  
Quelle: Flughafenverband ADV

# Branchenziele und Vier-Säulen-Strategie

*Schon im Jahr 2009 haben sich Fluggesellschaften, Flugzeughersteller und Flughäfen weltweit auf konkrete Klimaschutzziele geeinigt: Die Treibstoffeffizienz soll pro Jahr um rund 1,5 Prozent gesteigert werden, ab 2020 soll das Wachstum des Luftverkehrs CO<sub>2</sub>-neutral erfolgen und bis 2050 sollen gegenüber dem Jahr 2005 die Netto-CO<sub>2</sub>-Emissionen der Luftfahrt um 50 Prozent sinken.*

### Die Vier-Säulen-Strategie als Roadmap

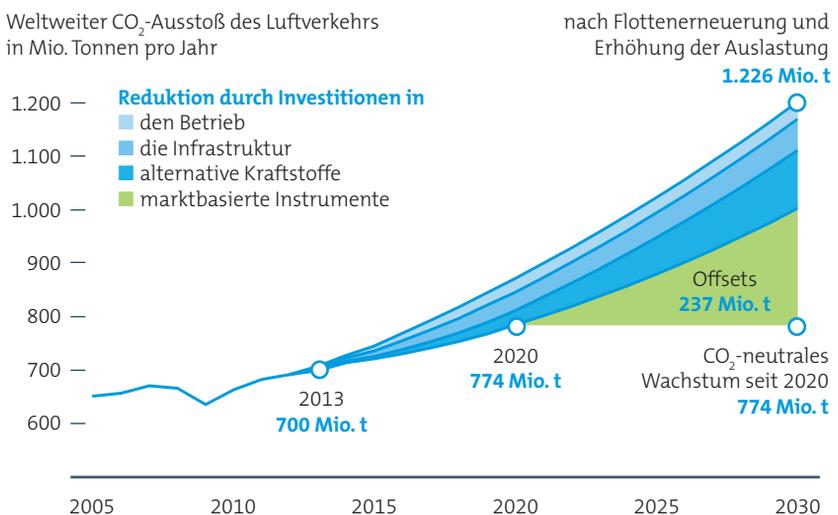
Grundlage für die globalen Klimaschutzaktivitäten des Luftverkehrs ist die Vier-Säulen-Strategie, die schon 2007 von der internationalen Luftverkehrsbranche verabschiedet wurde:

- **Erstens** treiben insbesondere Flugzeug- und Triebwerkshersteller technische Innovationen rund um das Fluggerät voran. Hinzu kommt der verstärkte Einsatz von nachhaltigen alternativen Flugkraftstoffen.
- **Zweitens** steigern Fluggesellschaften, Flugsicherung und Flughäfen die Effizienz operativer Prozesse, von der Flugplanung über Flugverfahren und reibungslosen Prozessen am Boden bis hin zur Energieversorgung.
- **Drittens** ist das Engagement der Politik gefordert, eine effiziente und nachhaltige Infrastruktur – am Boden und in der Luft – zu gewährleisten. Hierzu zählt der bedarfsgerechte Ausbau der Flughäfen ebenso wie die Etablierung eines effizienten Einheitlichen Europäischen Luftraums.
- **Viertens** können marktbasierende Instrumente das CO<sub>2</sub>-neutrale Wachstum ermöglichen. Diese Instrumente müssen global für den Luftverkehr gelten, um Wettbewerbsverzerrungen zu vermeiden, sowie administrativ einfach umzusetzen sein. Mit Einführung des EU-Emissionshandels im Jahre 2012 ist für den innereuropäischen Luftverkehr das CO<sub>2</sub>-neutrale Wachstum bereits realisiert.

### Vielfältige Maßnahmen zur Erreichung der Reduktionsziele

Wie viel Potenzial die Vier-Säulen-Strategie in sich birgt, zeigt die unten stehende Grafik. So lagen im Jahr 2013 die weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Luftverkehrs bei 700 Millionen Tonnen und würden ohne weitere Maßnahmen außer der Flotten-erneuerung und höherer Auslastung im Jahr 2030 auf 1.226 Millionen Tonnen steigen. Bei einer Umsetzung aller Maßnahmen der Vier-Säulen-Strategie werden die Emissionen ab 2020 bei 774 Millionen Tonnen eingefroren.

### Maßnahmen zur Erreichung der CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele



Quelle: Internationaler Luftverkehrsverband (IATA)

### Reduktionsstrategie auch an Flughäfen systematisch umsetzen

Die Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen (ADV) unterstützt die Vier-Säulen-Strategie der Luftverkehrsbranche. Sie hat daher eine eigene Klimaschutzstrategie entwickelt. Als wichtiger Teil des Luftverkehrs reduzieren auch die Flughäfen ihre Emissionen. Aber: Nur rund 25 Prozent aller CO<sub>2</sub>-Emissionsquellen an einem Flughafen liegen im Einflussbereich der Flughafenbetreiber. Die Flughäfen arbeiten nach dem Prinzip „Vermeiden – Reduzieren – Kompensieren“. Das heißt, dass CO<sub>2</sub>-Emissionen am besten ganz vermieden oder, wenn das nicht geht, reduziert werden sollen. Sollten sich Emissionen als unvermeidbar herausstellen, können diese mit Maßnahmen in anderen Bereichen außerhalb des Flughafens kompensiert werden.

## 32 Milliarden Euro für mehr Energieeffizienz

Um den Treibstoffbedarf eines Flugzeugs zu senken, muss an vielen Stellen Hand angelegt werden. Drei sehr wichtige Bereiche dabei sind Antriebe, Aerodynamik und Gewicht. Neue Ideen und Werkstoffe sorgen dafür, dass mit jeder neuen Flugzeuggeneration der Treibstoffbedarf um rund 20 Prozent gesenkt wird.

### Investitionen in Technik und Klimaschutz

Ein Blick in die Auftragsbücher der Flugzeughersteller im Frühjahr 2015 zeigt, dass allein die deutschen Fluggesellschaften 230 verbrauchsärmere Flugzeuge zum Listenpreis von insgesamt 32 Milliarden Euro bestellt haben. Ob Condor, TUIfly, Lufthansa, airberlin und Lufthansa Cargo oder DHL – alle Luftverkehrsunternehmen setzen auf modernste Maschinen mit geringem Verbrauch. Erreicht wird dieser durch eine Vielzahl von Maßnahmen. Dabei sind vor allem neue Triebwerke, Flugzeugrümpfe aus Verbundwerkstoffen und ein geringerer Luftwiderstand, zum Beispiel durch Veränderungen an den Flügelformen, zu nennen. Im Inneren tragen leichtere Sitze, Funknetze statt schwerer Kabel oder neue Servicewagen zu weniger Emissionen bei. Dank dieser technischen Innovationen verbrauchen Flugzeuge der neuesten Generation nur noch 3 Liter pro Passagier und 100 Kilometer.

### Stellschrauben für mehr Energieeffizienz

#### Hohe Aerodynamik (Auswirkung auf den Kerosinverbrauch)

Gebogene  
Flügelspitzen



-5%

Speziallack –  
Haifischhaut



-1%

#### Effiziente Antriebe (Auswirkung auf den Kerosinverbrauch)

Triebwerke mit hohem  
Nebenstromverhältnis



-15%

#### Neue Werkstoffe (Auswirkung auf das Gewicht)

Leichtere Materialien  
im Innenraum



-1t

Flugzeugrumpf  
aus leichtem  
Verbundwerkstoff



-40 t

### Split Scimitar Winglets

Nicht nur bei der Planung neuer Flugzeuge, sondern auch bei einer Bestandsflotte kann der Luftwiderstand verringert und damit die Aerodynamik verbessert werden. Mit den neuesten Split Scimitar Winglets lässt sich der Treibstoffverbrauch pro Flugzeug und im Vergleich zu den bisherigen Winglets noch einmal um bis zu zwei Prozent reduzieren. Die gebogenen Flügelspitzen sind der Flügelform des Kondors nachempfunden.

### Triebwerksbauteile aus Karbon

Kohlefaser ist um ein Vielfaches widerstandsfähiger als Titan, aber nur halb so schwer wie Stahl. Deshalb setzt Rolls-Royce bei der Entwicklung der neuesten Triebwerksgeneration auf diesen Werkstoff, der die Triebwerke um rund 700 Kilo leichter machen soll – pro Stück. Aber nicht nur für den Antrieb wird Karbon genutzt. Schon heute findet sich die Kohlefaser an vielen Stellen der allerneuesten Flugzeuggeneration.

### Vorbild Hai

Haie sind auch deshalb so schnelle Schwimmer, weil die Rillenstruktur ihrer Haut verhindert, dass Wasserverwirbelungen mit Bremswirkung entstehen. Lufthansa, Airbus und das Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und angewandte Materialforschung messen zur Zeit das Strömungsverhalten von Haifischhaut-Attrappen an Flugzeugen. Ziel für die Zukunft ist ein automatisiertes Verfahren, das auf Flugzeugoberflächen eine künstliche Haifischhaut aufträgt, die den Energieverbrauch um ein Prozent senkt.

### Weniger Gewicht ist mehr Klimaschutz

Im Rahmen eines sogenannten Clear-outs wurde jede einzelne MD-11F der Frachterflotte von Lufthansa Cargo auf unnötigen Ballast untersucht. Seitdem hebt jede Maschine rund 35 Kilo leichter ab. Zum einen wurden Gegenstände entfernt, die nicht notwendigerweise an Bord sein müssen, zum anderen wurden alte Einrichtungen durch leichtere ersetzt. In Summe werden durch diese Aktion im Jahr bei Lufthansa Cargo rund 250 Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart.

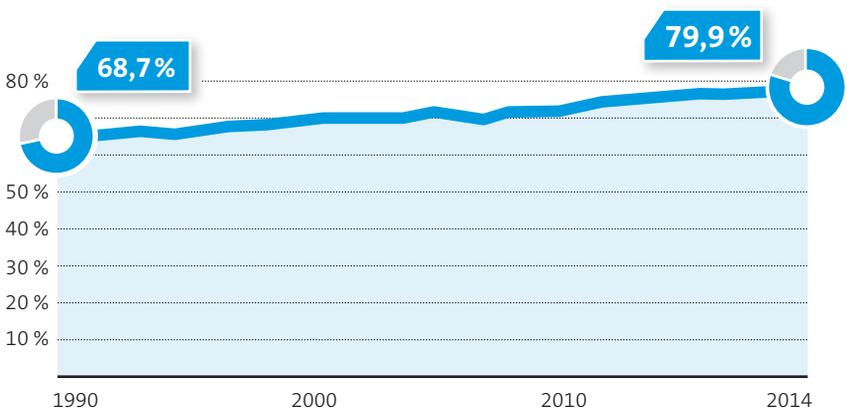
## Bessere Auslastung, optimierte Flüge

*Auch beim Betrieb eines Flugzeugs lässt sich die Energieeffizienz erhöhen. In diesem Sinne arbeiten Fluggesellschaften zum Beispiel daran, die Auslastung zu erhöhen und gemeinsam mit der Flugsicherungsorganisation die Routenführungen zu verbessern.*

### Neuer Auslastungs-Spitzenwert

Im Vergleich zu der durchschnittlichen Auslastung eines Autos von rund 30 Prozent (entspricht 1,5 Personen) beziehungsweise von Hochgeschwindigkeitszügen mit 49,9 Prozent erreichte der deutsche Flugverkehr im Jahr 2014 eine Spitzenauslastung von durchschnittlich 81 Prozent und übertrifft damit noch den weltweiten Wert von 79,9 Prozent. Diese hohe Auslastung ist das Ergebnis einer ständigen Optimierung beim Preis- und Kapazitätsmanagement der Fluggesellschaften.

### Durchschnittliche Auslastung der Flugzeuge weltweit



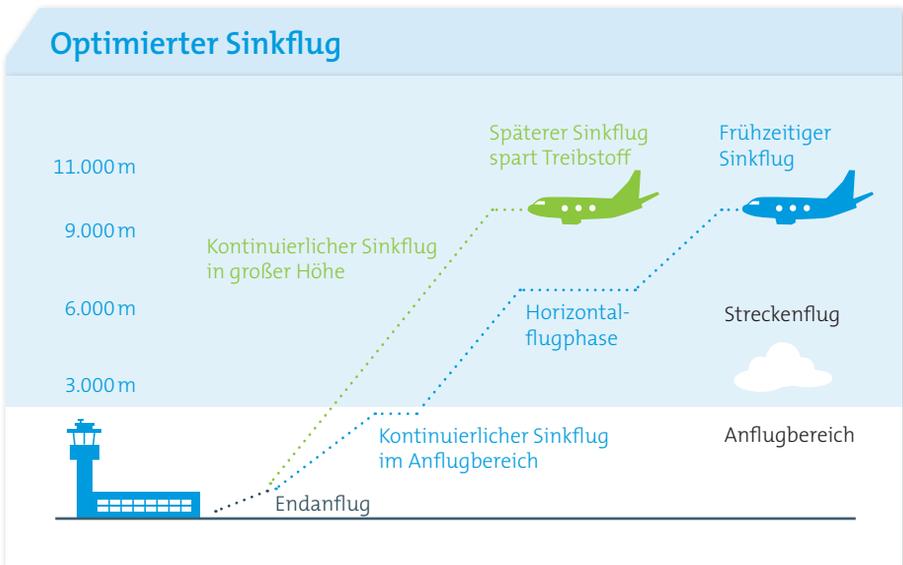
Quelle: Internationaler Luftverkehrsverband (IATA)

### Der elektronische Pilotenkoffer

Die bekannten Pilotenkoffer, die früher in jedem Flugzeug standen, waren bis zu 18 Kilo schwer. Heute nutzen die Piloten den Electronic Flight Bag, der alle Navigationskarten und Dokumente elektronisch vorhält und für ein fast papierloses Cockpit sorgt. Dieser elektronische Pilotenkoffer wird zukünftig um eine Software ergänzt, die Flugprofile und die Geschwindigkeit im Flugbetrieb optimiert. Das Programm berechnet in Echtzeit und unter Nutzung der aktuellen Flugzeug- und Wetter-Daten die ökonomischste und damit auch die energieeffizienteste Flugroute für jeden Flug.

### Optimierte Sinkprofile

Die Deutsche Flugsicherung (DFS) entwickelt in enger Zusammenarbeit mit den deutschen Fluggesellschaften ein Verfahren, mit dem sich zusätzlich zu dem bereits an vielen deutschen Flughäfen praktizierten CDO (Continuous Descent Operations) im Anflug Kerosin einsparen und CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren lassen. Das Ergebnis ist der sogenannte „späte Sinkflug“, den der Pilot nach Freigabe durch den Fluglotsen eigens berechnet und einleitet, nachdem er die Reise Flughöhe verlassen hat. Auf diese Weise bewegt sich das Flugzeug so lange wie möglich in großen Flughöhen, bevor es sich dem Flughafen im kontinuierlichen Sinkflug nähert. Denn je höher ein Flugzeug fliegt, desto weniger Treibstoff verbraucht es. Simulationen für Anflüge kleinerer Flugzeugtypen auf den Flughafen München haben gezeigt, dass sich damit Einsparungen von bis zu 85 Liter pro Flug erreichen lassen. Am Flughafen Hannover wurde dieses Verfahren bereits in den Regelbetrieb überführt, die Einführung an weiteren Flughäfen ist in Planung.



Quelle: Deutsche Flugsicherung (DFS)

### Optimierte Flugeinsatz- und Ladeplanung

Fluggesellschaften können bei der Planung mit einem ganzen Bündel von Maßnahmen Treibstoff einsparen. Diese reichen von der Schwerpunkt-optimierung bei der Flugzeugbeladung und einer verbesserten Flugeinsatzplanung durch aktuellste Wetterdaten über kontinuierliche Streckenoptimierungen bis hin zur Wahl nahegelegener Ausweichflughäfen oder der genauen Bestimmung des Treibstoffes für den Bodenverkehr.

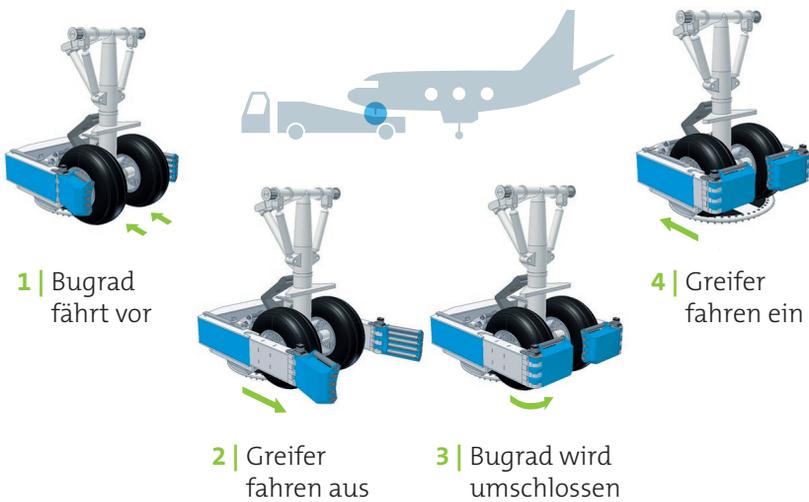
# Viele Maßnahmen mit einem Ziel

Um die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu senken, werden viele Maßnahmen entwickelt, erprobt und umgesetzt. Dabei kann im Detail gespart werden – zum Beispiel auf dem Weg des Flugzeugs zur Rollbahn – oder auch im ganz großen Maßstab wie im Luftraum über Europa.

### TaxiBot ersetzt Triebwerk beim Rollvorgang

Am Flughafen Frankfurt wurde 2013 zum ersten Mal der TaxiBot getestet. Dabei handelt es sich um ein Fahrzeug, das Flugzeuge vom Gate bis zur Startbahn zieht und dabei vom Cockpit aus gesteuert wird. Die Triebwerke bleiben auf dem Weg ausgeschaltet. Eine Boeing 737, über vier Kilometer geschleppt, spart so rund 250 Liter Kerosin ein. Sollten auch alle weiteren Tests erfolgreich verlaufen, könnte diese Technologie zukünftig auch auf viele weitere Flugzeugmuster ausgeweitet werden.

### TaxiBot wird vom Cockpit aus gesteuert



Quelle: Lufthansa Technik, Ricardo

### APU-Sheriff sorgt für mehr Effizienz

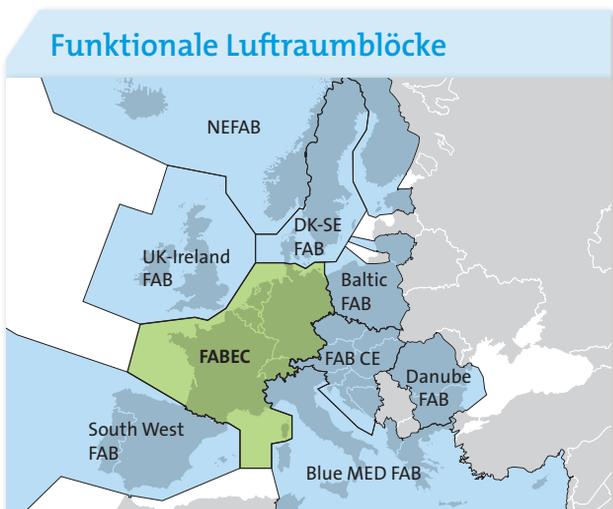
Am Hamburg Airport dürfen seit einigen Jahren die Hilfstriebwerke (Auxiliary Power Units oder kurz APU) nach dem Erreichen der Position nicht mehr zur Stromversorgung genutzt werden. Stattdessen werden die Flugzeuge extern mit Energie und vorklimatisierter Luft versorgt. Um dafür zu sorgen, dass diese lärm- und kerosinsparende Vorgabe auch von allen Flugzeugen genutzt wird, ist die Stelle des APU-Sheriffs geschaffen worden. Pro Stunde und abgeschalteter APU können so 100 Liter Kerosin eingespart werden.

### Green Satellite senkt den CO<sub>2</sub>-Ausstoß

Der Flughafen München baut gemeinsam mit der Lufthansa ein neues Terminal, das als „Green Satellite“ konzipiert ist. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß dieses Gebäudes wird um 40 Prozent niedriger sein als bei den beiden bestehenden Terminals. Wichtige Maßnahmen in diesem Konzept sind unter anderem der Einsatz einer modernen Klimatisierung, energieeffiziente Beleuchtung sowie isolierende Bauelemente im Innenbereich. Die gebäudenahen Flugzeug-Abstellpositionen werden mit PCA-Technik (Pre-Conditioned Air) geplant.

### Der Einheitliche Europäische Luftraum

Insgesamt könnten Treibstoffeinsparungen von bis zu 12 Prozent für den europäischen Luftverkehr erreicht werden, wenn die jeweils kürzeste Flugroute zwischen zwei Flugzielen geflogen werden könnte. Aber der europäische Luftraum orientiert sich nach wie vor an nationalstaatlichen Interessen. Die Folge sind Umwege von durchschnittlich 42 Kilometer pro Flug sowie unnötige Emissionen und Kosten in Milliardenhöhe. Geld, das Fluggesellschaften in neue und treibstoffärmere Flugzeuge investieren könnten. Erste wichtige Schritte zur Schaffung des sogenannten Einheitlichen Europäischen Luftraums wurden bereits gegangen, auch dank des Engagements der Deutschen Flugsicherung (DFS). Um das größte Klimaschutzprojekt der europäischen Luftfahrt zügig zu realisieren, besteht aber weiterhin Handlungsbedarf. Ziel ist es, dass die 27 europäischen Flugsicherungen den Verkehr in den neu geschaffenen neun Funktionalen Luftraumblocken (Functional Airspace Blocks, FABs) effizienter organisieren.



Quelle: Deutsche Flugsicherung (DFS)

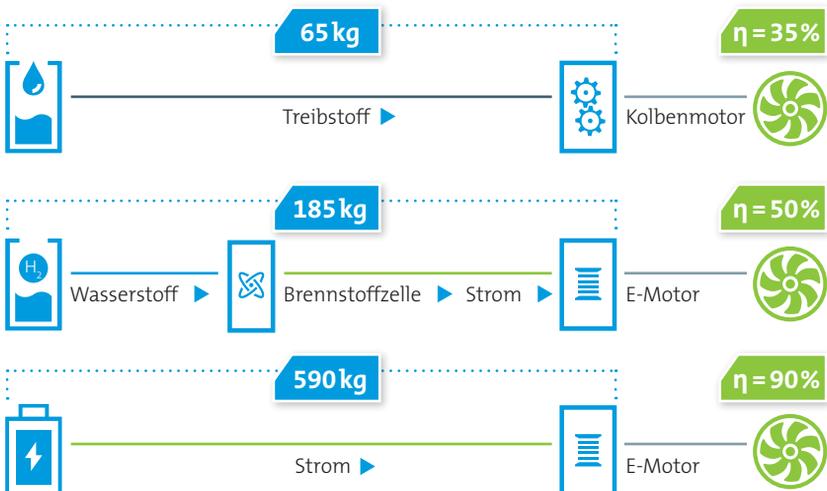
# Innovative Konzepte für einen nachhaltigen Luftverkehr

Im Flugverkehr spielen alternative Kraftstoffe und elektrische Energie eine zunehmende Rolle. Während alternative Kraftstoffe wie Biokerosin bereits in konventionellen Triebwerken eingesetzt werden, benötigen elektrische Antriebe ganz neue Flugzeugkonzepte.

## Elektrische Antriebe ermöglichen neue Flugzeugkonzepte

Erste Prototypen wie der DLR Antares und der e-Genius der Universität Stuttgart zeigen, dass das Fliegen mit ausschließlich elektrischen Antrieben möglich ist. Der große Vorteil der elektrischen Antriebe ist, dass die Energieerzeugung im Gegensatz zu herkömmlichen Triebwerken an einer Stelle im Rumpf des Flugzeugs konzentriert werden kann, um von dort aus mehrere Propeller mit Strom zu versorgen. Der benötigte Strom könnte zum Beispiel von einer Turbine, einer Brennstoffzelle oder einer Batterie erzeugt werden. Je mehr Leistung pro Gewicht des Stromerzeugers gewonnen werden kann, desto erfolgreicher können diese Technologien in der Luftfahrt werden. Experten von Airbus streben an, bis 2030 den Prototypen für ein Hybrid-Regionalflugzeug mit bis zu 90 Sitzen zu realisieren.

### Wirkungsgrad ( $\eta$ ) und Gewicht von Antriebssystemen

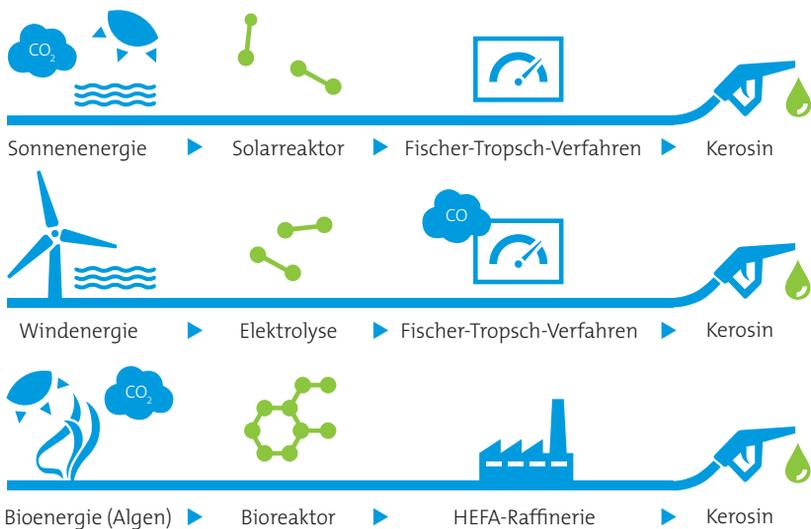


Vereinfachte Darstellung des Gesamtgewichtes und Gesamtwirkungsgrades  
Quelle: Verein Deutscher Ingenieure (VDI)

### Kerosin aus Sonne, Wind, Wasserstoff, CO<sub>2</sub> und Algen

Der Forschung ist es erstmalig gelungen, Flugzeugtreibstoff aus Sonnenenergie, Wasserdampf und Kohlendioxid herzustellen. Alternativ können auch andere regenerative Energien wie zum Beispiel die Windkraft in Verbindung mit der Elektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff genutzt werden. Einen anderen Weg geht das Projekt „Aufwind“, an dem sich auch Airbus beteiligt: Algen dienen hier als Rohstoff, um Biotreibstoff zu produzieren. Aber noch stehen die Forscher am Beginn, wirtschaftlich tragfähige Verfahren zu entwickeln.

#### Kerosin aus Sonne, Wind, Wasserstoff, CO<sub>2</sub> und Algen



### Markteinführung hat begonnen

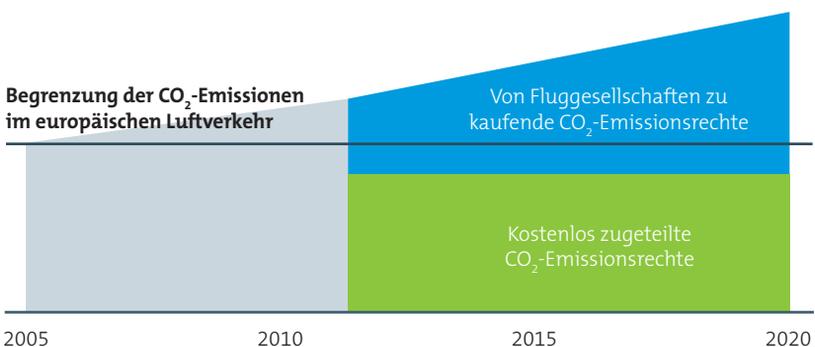
Während die Beispiele zeigen, dass langfristig weitere Optionen bestehen, startet bereits heute die Markteinführung alternativer Kraftstoffe: Die niederländische KLM fliegt wöchentlich mit einem Anteil alternativer Kraftstoffe in die Karibik. Auch in Deutschland arbeiten in der deutschen Luftfahrtinitiative für alternative Kraftstoffe (aireg) Forschung und Industrie daran, in naher Zukunft nachhaltig erzeugte Kraftstoffe einzusetzen. Dabei bieten Pflanzenöle die besten Chancen, bereits in wenigen Jahren nennenswerte Anteile von alternativen Kraftstoffen in den Markt zu bekommen und so die Energiewende im Verkehr zu realisieren. Das Ziel: zehn Prozent ab dem Jahr 2025.

## Emissionshandel ermöglicht CO<sub>2</sub>-freies Wachstum im Luftverkehr

Seit 2012 nimmt der Luftverkehr in der Europäischen Union am Emissionshandelssystem teil. Damit werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Luftverkehrs in Europa auf die Emissionen des Jahres 2005 begrenzt. Wenn mehr geflogen wird, müssen für die wachstumsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen zusätzliche Zertifikate gekauft werden.

Seit 2012 ist der innereuropäische Luftverkehr dem Emissionshandel angeschlossen. Für jede von den Flugzeugen ausgestoßene Tonne CO<sub>2</sub> muss ein Zertifikat vorgewiesen werden. Eine Fluggesellschaft, deren Flugzeuge sehr energieeffizient sind, muss weniger Emissionszertifikate kaufen als eine andere, deren Flugzeuge relativ gesehen mehr CO<sub>2</sub> ausstoßen. Die Emissionszertifikate kaufen die Fluggesellschaften über Händler zum Beispiel von großen Energieversorgern, die dieses CO<sub>2</sub> eingespart haben. Da die Anzahl aller Zertifikate gedeckelt ist, sind auch insgesamt die CO<sub>2</sub>-Emissionen begrenzt. Daher erfolgt das Wachstum des Luftverkehrs in Europa schon jetzt CO<sub>2</sub>-neutral.

### CO<sub>2</sub>-neutrales Wachstum durch Emissionshandel



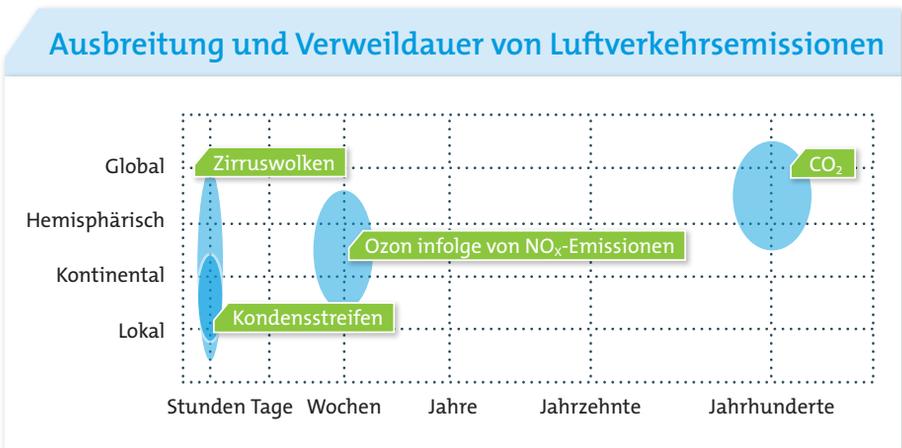
Annahme: jährliches Wachstum des europäischen Luftverkehrs um 3 Prozent

Ein auf Europa beschränktes Emissionshandelssystem belastet aber als „Insellösung“ die europäischen Gesellschaften stärker als ihre ausländischen Kontrahenten. Nur ein international ausgestalteter Emissionshandel ist im Luftverkehr wettbewerbsneutral. Deshalb entwickelt die Internationale Luftfahrtorganisation ICAO zurzeit ein globales marktbasierendes System. Ein konkreter Beschluss hierzu soll 2016 gefasst werden. Ab 2020 soll dieses System zum Einsatz kommen.

## Flugzeuge unterstützen Forschung zur Klimawirkung

Über die Klimawirkung von  $CO_2$  liegen wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse vor. Anders sieht es im Hinblick auf weitere mögliche Klimawirkungen des Fliegens wie zum Beispiel die Bildung von Zirruswolken aus. Hier besteht noch umfassender Forschungsbedarf.

Die Klimawirkung des Luftverkehrs ist abhängig von den auf Seite 20 dargestellten Emissionen, die bei der Verbrennung von Kerosin entstehen, von deren Reaktionen in der Atmosphäre sowie von ihrer Verweildauer und geografischen Ausbreitung. Hinsichtlich der genauen Wirkungszusammenhänge besteht noch weiterer Forschungsbedarf.



Quelle: BDL nach Angaben von Lee et al.: Aviation and global climate change in the 21<sup>st</sup> century, 2009

Die Lufthansa beteiligt sich aus diesem Grund schon seit 20 Jahren an Klimaforschungsprojekten wie IAGOS (In-service Aircraft for a Global Observing System), das zivile Verkehrsflugzeuge nutzt, um global und kontinuierlich Atmosphärendaten zu sammeln. Dafür setzt das Unternehmen seit 2011 den Airbus A340-300 „Viersen“ ein, in dem vier Messgeräte weltweit und auf breiter Basis atmosphärische Spurenstoffe sammeln. Die gesammelten Daten werden nach jeder Landung digital ausgelesen, verarbeitet und analysiert. Nach Ansicht des Wissenschaftsrates des Bundesministeriums für Bildung und Forschung werden damit wichtige Voraussetzungen geschaffen, um genauere Klimavorhersagen zu treffen. Partner der Lufthansa in diesem Projekt ist das Forschungszentrum Jülich. Zivile Flugzeuge eignen sich besonders gut für diese Art der Datenerfassung, weil sie in Höhenregionen fliegen, die von besonderer Bedeutung für die Klimaforschung sind, weltweit eingesetzt werden und kontinuierlich fliegen.

# Umrechnungsfaktoren

## Emissionen

1 kg Kerosin emittiert 3,15 kg CO<sub>2</sub>  
 4 Liter pro Passagier und 100 km entsprechen ca. 100 Gramm CO<sub>2</sub> pro Passagier und Kilometer  
 0,2 Liter pro Tonne und Kilometer entsprechen ca. 500 Gramm CO<sub>2</sub> pro tkm

## Energiedichte

1 kg Kerosin = 42,8 MJ (Megajoule)  
 1 MJ = 0,023 kg Kerosin  
 1 l Kerosin = 34,24 MJ  
 1 MJ = 0,029 l Kerosin

## Massendichte

1 l Kerosin = 0,8 kg Kerosin  
 1 kg Kerosin = 1,25 l Kerosin

## Volumen

1 l = 0,264 US.liq.gal. (US-Gallone)  
 1 US.liq.gal. = 3,785 l  
 1 l = 0,00629 bl (Barrel)  
 1 bl = 159 l

## Fracht und Passagiere

1 Passagier inkl. Gepäck entspricht 100 kg = 1 VE (Verkehrseinheit)  
 1 Tonne Fracht entspricht zehn Passagieren inkl. Gepäck = 10 VE (Verkehrseinheit)

## Entfernung

1 m = 3,28 ft (Fuß)  
 1 ft = 0,3048 m  
 1 km = 0,62 mi (Meilen)  
 1 mi = 1,61 km  
 1 km = 0,54 NM (nautische Meile)  
 1 NM = 1,852 km  
 1 NM = 1 sm (Seemeile)

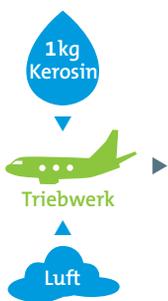
## Geschwindigkeit

100 km/h = 54 kn (Knoten)  
 1 kn = 1 NM/h = 1,852 km/h

## Sonstige

Megajoule: 1 MJ = 1.000.000 J = 10<sup>6</sup> J  
 Petajoule:  
 1 PJ = 1.000.000.000.000.000 J = 10<sup>15</sup> J

## Luftverkehrsemissionen in der Übersicht



3.150g <b>Kohlendioxid</b> , CO <sub>2</sub>	→ wirkt als Treibhausgas
6–16g <b>Stickoxid</b> , NO <sub>x</sub>	→ führt zur Bildung von Ozon, O <sub>3</sub> → führt zum Abbau von Methan, CH <sub>4</sub>
1.240g <b>Wasserdampf</b> , H <sub>2</sub> O	→ wirkt als Treibhausgas
0,418g <b>Schwefeldioxid</b> , SO <sub>2</sub>	→ führen abhängig von klimatischen und geografischen Bedingungen zur Bildung von Kondensstreifen und damit ggf. Zirruswolken
0,1–0,7g <b>Kohlenwasserstoff</b> , HC	
0,038g <b>Ruß</b> , C	
0,7–2,5g <b>Kohlenmonoxid</b> , CO	

Quelle: BDL nach Angaben des Umweltbundesamtes (UBA)

## Impressum

### Herausgeber

BDL – Bundesverband der  
Deutschen Luftverkehrswirtschaft e. V.  
Französische Straße 48  
10117 Berlin  
Telefon: +49 (0)30 520077-0  
info@bdl.aero  
www.bdl.aero

### V. i. S. d. P.

Matthias von Randow  
Hauptgeschäftsführer

### Redaktionsleitung

Uta Maria Pfeiffer  
Leiterin Nachhaltigkeit

### Stand

Juli 2015

### Umsetzung und Gestaltung

GDE | Kommunikation gestalten  
www.gde.de

© BDL 2015

## Ansprechpartner

**Uta Maria Pfeiffer**

Leiterin Nachhaltigkeit

 +49 (0)30 520077-140

 [uta-maria.pfeiffer@bdl.aero](mailto:uta-maria.pfeiffer@bdl.aero)

**Carola Scheffler**

Pressesprecherin

 +49 (0)30 520077-116

 [carola.scheffler@bdl.aero](mailto:carola.scheffler@bdl.aero)