Luftfahrt und Umwelt

Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen

DER FLUGHAFENVERBAND

VORWORT

60 Jahre ADV, das heißt für die deutschen Flughäfen große Tradition in der Luftfahrt, aber auch im Umweltschutz. Der Schutz von Umwelt und Klima stellt eines der zentralen Themen unserer Zeit dar. Der deutsche Flughafenverband bekennt sich zu dieser Verantwortung. Die Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen (ADV) hat bereits 1975 einen Fachausschuss Umwelt eingerichtet. In diesem Fachausschuss arbeiten die Umweltexperten der deutschen Flughäfen an einer kontinuierlichen Weiterentwicklung von umweltschonenden und lärmreduzierenden Maßnahmen. Fachleute des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, der Bundesländer, der Deutschen Flugsicherung GmbH, der Deutschen Lufthansa AG sowie führende Umweltschutzexperten nehmen regelmäßig am Erfahrungsaustausch mit der ADV teil.

1947 – 2007
60 Jahre ADV

Die deutschen Flughäfen pflegen über ihren Verband den intensiven Kontakt zu den führenden Organisationen im In- und Ausland, die mit dem Thema Luftfahrt und Umwelt befasst sind. Der ständige Dialog mit Forschungseinrichtungen, Industrieunternehmen, Fluggesellschaften, Behörden und Umweltverbänden ist Teil unserer Arbeitskultur.

Der Erfahrungsschatz der deutschen Flughäfen bildet die Grundlage für die nun in vierter Auflage vorliegende Broschüre „Luftfahrt und Umwelt“. Wir freuen uns, Ihnen eine Reihe von wichtigen neuen Erkenntnissen und Errungenschaften vorstellen zu können. Technologie und Innovation stellen auch beim Umwelt- und Klimaschutz den maßgeblichen Treiber für Verbesserungen bei den Flughäfen dar. Wir wünschen viel Freude bei der Lektüre und nutzbringende Anregungen.

Berlin, im Juni 2007

Ralph Beisel
Hauptgeschäftsführer
Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen

– Der Flughafenverband –

INHALT

Umweltleitlinien der Deutschen Verkehrsflughäfen 2

Einleitung 3

Flächenbedarf des Verkehrs 4

Flächennutzung in Deutschland 4
Landschaftszerschneidung durch Verkehrsinfrastruktur 4
Verkehrsflächen im Vergleich 4
Spezifischer Flächenbedarf der Verkehrsträger 4
Oberflächengestaltung auf Flugplätzen 5

Lärm 6

Lärmempfinden und Lärmmessung 6
Internationale Regelungen zum Schutz gegen Fluglärm 7
Nationale Regelungen zum Schutz gegen Fluglärm 9
Maßnahmen der Luftfahrtbeteiligten 11

Energieverbrauch 14

Verkehrsleistung und Energieverbrauch 14
Energieverbrauch der Luftverkehrsinfrastruktur 14
Innerdeutscher Verkehr 15

Emissionen 16

Abgasemissionen aus Flugtriebwerken 16
Luftqualität auf dem Flugplatzgelände 17
Einfluss des Flughafenbetriebes auf die Luftqualität der Region 17
Verkehr und Sommersmog 19
Pflanzen- und Bodenuntersuchungen im Flughafenumfeld 19
Biomonitoring 19
Fuel Dumping - ein Verfahren für Notfälle 20
Wirbelschleppen 22
Blue Ice 22

Klima 23

Atmosphäre und Klima – die wichtigsten Begriffe 23
Bedeutung der Luftverkehrsemissionen 25
Ausblick auf die weitere Entwicklung 26

Gewässerschutz 28

Wasser - ein wertvolles Gut 28
Regenwassernutzung 28
Umweltfreundlicher Winterdienst 28

Abfallentsorgung 29

Getrennte Erfassung und Sortierung 29

Quellenverzeichnis 30

Impressum 31

UMWELTLEITLINIEN DER DEUTSCHEN VERKEHRSFLUGHÄFEN

Die Auswirkungen des stetig wachsenden Luftverkehrs auf die Umgebung der Flughäfen müssen im Interesse aller und im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung im Gleichgewicht gehalten werden. Im Wissen darum haben sich die deutschen Verkehrsflughäfen die folgenden Umweltleitlinien gegeben:

Der Schutz der Umwelt und der natürlichen Lebensgrundlagen heutiger und zukünftiger Generationen gehört zu den Unternehmenszielen aller deutschen Verkehrsflughäfen. Sie reduzieren oder vermeiden schädliche Auswirkungen des Luftverkehrs auf ihre Umgebung, wann immer dies möglich und wirtschaftlich umsetzbar ist, um die Verkehrsbedürfnisse ihrer Nutzer sowie die Schutzbedürfnisse ihrer Nachbarn auch in Zukunft befriedigen zu können.

Das Einhalten von umweltrechtlichen Vorschriften ist für die deutschen Verkehrsflughäfen selbstverständlich. Sie erfassen, dokumentieren und beurteilen umweltrelevante Auswirkungen ihrer Tätigkeiten, um Verbesserungsmöglichkeiten zu erkennen.

Die deutschen Verkehrsflughäfen streben nach einem möglichst energie- und ressourcenschonenden Betrieb. Sie wählen bei Neuinvestitionen die auch unter Umweltgesichtspunkten effektivsten Technologien aus. Bei allen ihren Planungen bewerten die deutschen Verkehrsflughäfen deren Auswirkungen auf die Umwelt. Sie streben danach, diese Auswirkungen so gering wie möglich zu halten.

Die deutschen Verkehrsflughäfen fördern das Bewusstsein ihrer Mitarbeiter für die Umwelt. Sie motivieren diese zum umwelt- und ressourcenschonenden Verhalten sowie zu konstruktiver Mitarbeit an der weiteren Verbesserung des Umweltschutzes. Die deutschen Verkehrsflughäfen stehen dem Dialog mit der Öffentlichkeit, mit Nachbarn und Behörden offen gegenüber. Sie nehmen Fragen und Kritik ernst und greifen sachliche Anregungen bereitwillig auf.

Die deutschen Verkehrsflughäfen pflegen den regelmäßigen Erfahrungsaustausch im Rahmen des Fachausschusses Umwelt der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen und entwickeln gemeinsam Empfehlungen und Lösungen im Sinne eines bestmöglichen Umweltschutzes.

Berlin, 17. Oktober 2005

EINLEITUNG

Der Umweltschutz ist ein zentrales Thema unserer Zeit und eine Herausforderung von Politik und Gesellschaft. Die Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen (ADV) hat sich dieser Herausforderung schon frühzeitig gestellt und bereits 1975 einen Fachausschuss Umwelt geschaffen. Dieser Fachausschuss dient den deutschen Flughäfen zur Information und zum Erfahrungsaustausch über die bestmögliche Berücksichtigung von Umweltbelangen in der Flughafenumgebung. Vertreter des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, des Umweltbundesamtes, der Deutschen Flugsicherung GmbH und der Deutschen Lufthansa AG sind ständige Gäste in diesem Gremium. Darüber hinaus pflegt die ADV intensiven Kontakt zu zahlreichen mit dem Thema Luftfahrt und Umwelt befassten Stellen im In- und Ausland. Mit Forschungseinrichtungen, Industrieunternehmen, Fluggesellschaften, Behörden und Umweltverbänden wird ein ständiger Dialog geführt. Die auf diesen Wegen der ADV zufließenden vielfältigen Informationen bilden die Grundlage für die nun in vierter Auflage vorliegende Broschüre „Luftfahrt und Umwelt“, die bei ihrem Erscheinen im November 1996 auf breites Interesse stieß.

Für die Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der exportorientierten deutschen Wirtschaft sind schnelle und zuverlässige Verkehrsverbindungen unverzichtbar. Mit Blick auf die erfolgreiche Vernetzung der Märkte kommt dem Luftverkehr insoweit eine besondere Bedeutung zu. Voraussetzung für ein leistungsfähiges Luftverkehrssystem ist ein die Fläche erschließendes Netz von Flugplätzen. In Deutschland werden an 34 Luftverkehrsstandorten Linienflüge angeboten. Für Wirtschaftsregionen ohne bedarfsgerechte Anbindung an das Schienen- und Fernstraßennetz gewährleisten Flugplätze die schnelle Erreichbarkeit im Werkverkehr, mit dem Lufttaxi oder mit dem privaten Flugzeug. Flughäfen haben als Arbeitsstätte und als Standortfaktor einen hohen Stellenwert. 2005 waren allein auf den internationalen Verkehrsflughäfen Deutschlands 170.000 Personen in Flughafen- und Luftverkehrsgesellschaften, zahlreichen Firmen und Dienststellen beschäftigt. Durch die standortbildende und -fördernde Kraft eines Flugplatzes siedeln sich in seinem Umfeld Unternehmen aus unterschiedlichen Branchen an. Standorte in Flugplatznähe bieten damit beste Voraussetzungen für Wirtschaftswachstum und Arbeitsplatzsicherheit.

Wie jede Beförderung von Personen und Gütern ist der Luftverkehr mit Umweltauswirkungen verbunden. Verkehr beansprucht Flächen, verbraucht Rohstoffe und verursacht Lärm und Abgase. Verkehrswachstum muss dennoch nicht zwangsläufig eine Zunahme der Umweltbelastungen bewirken. Durch die kontinuierliche Verringerung spezifischer Energieverbräuche und Emissionen ist es möglich, die von einem Verkehrssystem ausgehende Gesamtbelastung trotz steigender Verkehrsleistung zu begrenzen und sogar zu reduzieren. Die in der Luftfahrt erreichten Verbesserungen im Bereich der Lärm- und Schadstoffemissionen sind eindrucksvoll. Flugzeuge vergleichbarer Sitzplatzkapazität verbrauchen heute nur noch 30% des in den 1960er Jahren benötigten Treibstoffs. Die Schadstoffemissionen konnten so drastisch reduziert werden. Der Lärmteppich vergleichbarer Verkehrsflugzeuge ist in den letzten 30 Jahren auf ein Zehntel geschrumpft. Mit neuartigen Triebwerkskonzepten und der aerodynamischen Optimierung der Flugzeuge sind weitere signifikante Verbesserungen möglich. So hält das Advisory Council for Aeronautics Research in Europe (ACARE), eine Arbeitsgruppe von ca. 30 europäischen Experten aus Wissenschaft, Industrie und Politik, auch sehr ambitionierte Ziele für erreichbar. Danach sollen bis zum Jahre 2020 die spezifischen Lärmemissionen und der CO_2-Ausstoß halbiert sowie der NO_x-Ausstoß um 80% reduziert werden.

Bisher ist der Luftverkehr der einzige Verkehrsträger, dessen Klimawirkung umfassend analysiert wurde. Er ist für ca. 2% der energiebedingten CO_2-Emissionen des Menschen verantwortlich [(1)]. Auch mit dem Wachstum des Luftverkehrs wird sein Anteil im unteren einstelligen Bereich bleiben, da der Luftverkehr seine spezifischen Emissionen stärker verringert als andere Verkehrsträger. Für die Luftfahrtindustrie besteht keine Veranlassung, in ihrem Bestreben nach umwelttechnischer Optimierung ihrer Produkte nachzulassen. Bei der zunehmenden Mobilität der Menschen und der engen Verflechtung der Märkte gilt es, die spezifischen Emissionen von Luftfahrzeugen kontinuierlich zu reduzieren. Die Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen setzt sich daher auf allen internationalen Ebenen nachdrücklich für weitere Fortschritte bei den weltweit gültigen Standards für Lärm- und Abgasemissionen von Luftfahrzeugen ein.

FLÄCHENBEDARF DES VERKEHRS

FLÄCHENNUTZUNG IN DEUTSCHLAND

Von der Gesamtfläche Deutschlands, rund 357.000 Quadratkilometer, entfallen 54% auf Landwirtschaftsflächen, 30% auf Waldflächen, 12% auf Siedlungs- und Verkehrsflächen und 4% auf "sonstige Flächen", davon sind knapp die Hälfte Wasserflächen. Die Entwicklung der Flächennutzung wird wesentlich geprägt durch die stetige Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen bei gleichzeitigem Rückgang der Landwirtschaftsfläche.

LANDSCHAFTSZERSCHNEIDUNG DURCH VERKEHRSINFRASTRUKTUR

Im Unterschied zum bandförmigen Flächenbedarf bodengebundener Verkehrsträger beschränkt sich der Flächenbedarf des Luftverkehrs auf die Knotenpunkte seines Verkehrsnetzes, die Flughäfen.

Zerschneidungseffekte in der Landschaft, wie sie Autobahnen, Schienenwege und Wasserstraßen mit sich bringen, gibt es nicht. Kein Verkehrsmittel kann so flexibel auf eine veränderte Nachfragesituation reagieren wie das Flugzeug, da von bestehenden Knoten jederzeit neue Verbindungen geknüpft werden können, ohne dass zusätzliche Verkehrswege gebaut werden müssen.

Der Flächenbedarf des Luftverkehrs beschränkt sich auf die Knotenpunkte seines Verkehrsnetzes, die Flughäfen. (Foto: Flughafen Hannover)

Seit 1970 hat sich die Gesamtlänge der Bundesautobahnen mehr als verdoppelt. 2004 standen dem Straßenverkehr in Deutschland ca. 12.000 Autobahnkilometer und 41.100 Kilometer Bundesstraßen zur Verfügung.

Die Eigentumsstrecken der Deutschen Bahn hatten im Jahr 2004 eine Gesamtlänge von 43.800 Kilometern. Demgegenüber beträgt die Gesamtlänge der auf den 34 deutschen Verkehrsflughäfen und Verkehrslandeplätzen mit Linienverkehr vorhandenen 46 Start- und Landebahnen ganze 122,5 Kilometer. Diese 122,5 Kilometer verbinden Deutschland mit der Welt.

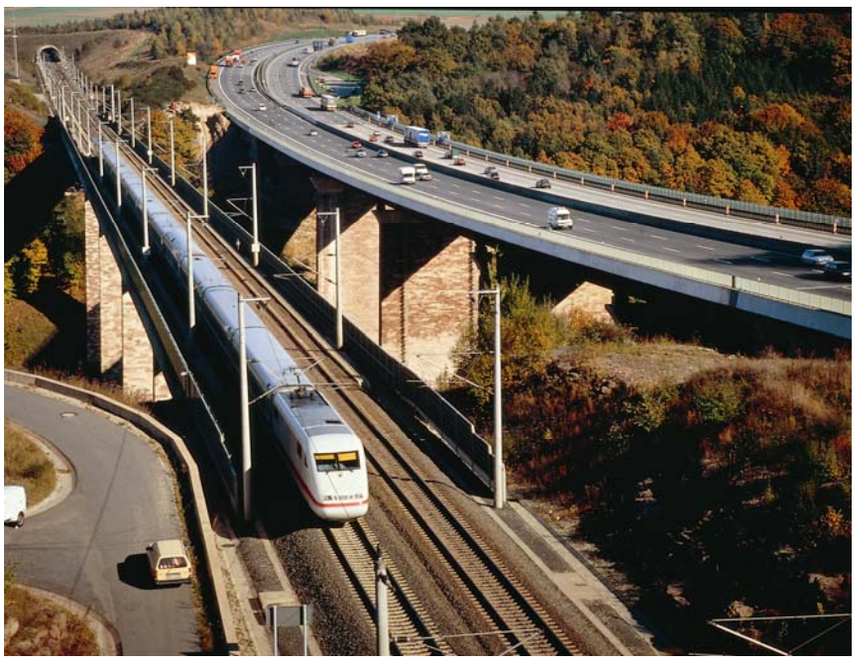
VERKEHRSFLÄCHEN IM VERGLEICH

Die in Deutschland von Autobahnen und Bundesstraßen unmittelbar beanspruchte und somit der Vegetation entzogene Fläche beträgt 674 Quadratkilometer (Durchschnittliche Straßenbreiten ohne Mittelstreifen, Bankette: Autobahnen 26,7 m, Bundesstraßen 8,7 m). Berücksichtigt man nur die Vorrang- und Leistungsstrecken der Bahn und lässt die Nebenstrecken weg, ergibt sich eine versiegelte Fläche von 286 Quadratkilometern (Breite zweigleisiger Strecken: 13 m). Die 46 Start- und Landebahnen der 34 deutschen Flugplätze mit Linienverkehr beanspruchen hingegen nur eine Fläche von 5,54 Quadratkilometer.

SPEZIFISCHER FLÄCHENBEDARF DER VERKEHRSTRÄGER

Während Straßen und Schienenwege überwiegend dem nationalen Verkehr dienen, sind drei Viertel des auf den Verkehrsflughäfen Deutschlands abgewickelten Verkehrs Auslandsverkehr.

Der Flächenverbrauch der Schienen-Neubaustrecke von Köln nach Frankfurt/Main liegt bei ca. 170 ha, Tunnel und Brücken nicht eingerechnet. Eine interkontinentale Start- und Landebahn z.B. des Flughafens Frankfurt/Main versiegelt nur 24 ha. Obwohl über eine solche Bahn jeder Kontinent der Welt erreicht werden kann, liegt ihr Flächenverbrauch nur bei ca. einem Siebtel der Neubaustrecke zwischen Köln und Frankfurt.[2] Vergleicht man die Verkehrsleistung, die auf beiden Infrastrukturen abgewickelt werden kann, wird der Unterschied zwischen Luftverkehr und Bahn noch deutlicher.



Der bandförmige Flächenbedarf bodengebundener Verkehrsträger ist mit ausgeprägten Zerschneidungseffekten in der Landschaft verbunden. (Foto: Deutsche Bahn AG)

Dies bestätigt auch eine 1995 veröffentlichte Studie des Marktforschungsinstituts Prognos zu Bedeutung und Umweltwirkungen von Schienen- und Luftverkehr in Deutschland, nach der die Bahn zur deckungsgleichen Bedienung eines durch den innerdeutschen Luftverkehr definierten Verkehrsnetzes zwölfmal mehr Fläche als der Luftverkehr benötigt. Ein Autobahnnetz beansprucht nochmals mehr als doppelt so viel Fläche wie die Bahn. Basis der Betrachtung war jeweils die der Vegetation entzogene Fläche.

OBERFLÄCHENGESTALTUNG AUF FLUGPLÄTZEN

Den bei weitem größten Anteil an der Gesamtfläche eines Flugplatzes nehmen Grünflächen ein. Auf den internationalen Verkehrsflughäfen Deutschlands beträgt der Grünflächenanteil durchschnittlich 70%.

An kleineren Flugplätzen ist er noch höher. Bei der Gestaltung und Bewirtschaftung von Flughafengrünland steht die Flugsicherheit im Vordergrund. Hindernisfreiheit und Tragfähigkeit sind wichtige Kriterien, aber auch die Verringerung der Attraktivität für Schwarm- und Großvögel, die dem Luftverkehr gefährlich werden können.

In Zusammenarbeit mit dem Deutschen Ausschuss zur Verhütung von Vogelschlägen im Luftverkehr (DAVVL e.V.) können für jeden Flugplatz ortsbezogene Bewirtschaftungsformen gefunden werden, die auf die ökologischen Gegebenheiten vor Ort abgestimmt sind und auf eine Verringerung des Vogelschlagrisikos abzielen.

Diesem Zweck kann beispielsweise die Ausmagerung der Grünflächen dienen, d.h. der weitgehende Verzicht auf Düngung. Als Begleiterscheinung dieser Maßnahme wurde an vielen Flugplätzen eine Zunahme der Artenvielfalt bei Pflanzen und Kleinlebewesen beobachtet. Es gibt Flugplätze, auf denen Arten wieder heimisch sind, die man im Umland seit langem nicht mehr findet.

Neben der Start- und Landebahn in Stuttgart (Foto: Flughafen Stuttgart)

Geflecktes Knabenkraut auf dem Flughafen-Köln/Bonn (Foto: Flughafen Köln/Bonn)

LÄRM

LÄRMEMPFINDEN UND LÄRMMESSUNG

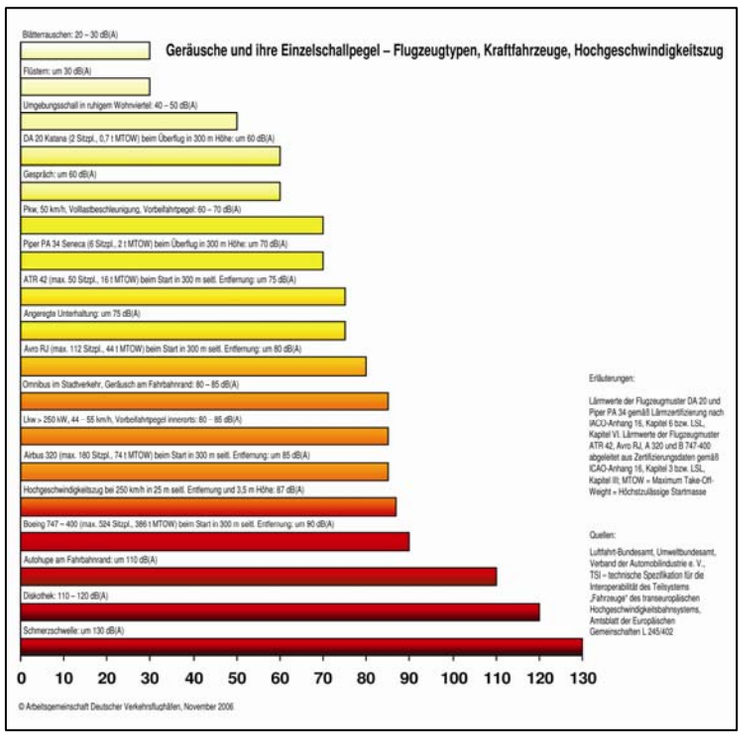
Unter Lärm ist per Definition jede Art von Schall zu verstehen, der als störend, lästig oder gar schmerzhaft empfunden wird. Alltagsgeräusche sind eine komplexe Mischung aus Tönen verschiedener Frequenz und Intensität. Bei der Lärmmessung wird die Eigenart der Wahrnehmung durch das menschliche Gehör berücksichtigt.

Der lauteste Ton, den der Mensch schmerzfrei hören kann, hat eine zehn Billionen mal stärkere Schallintensität als der leiseste. Diesen sehr großen Wahrnehmungsbereich bewältigt das Gehör, indem es eine Verzehnfachung der Schallintensität etwa als Verdopplung der Lautstärke empfindet.

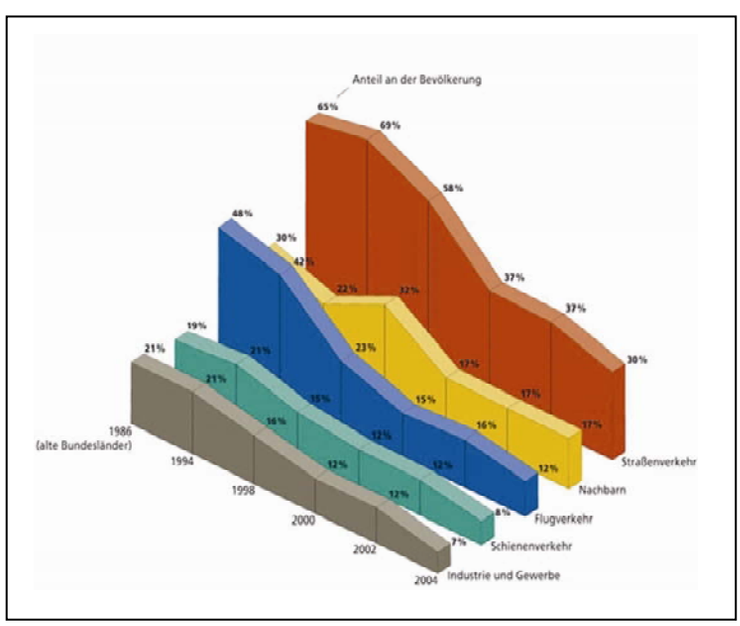
Um dem Lautstärkeempfinden durch das menschliche Gehör näherungsweise gerecht zu werden, wurde für akustische Messungen ein logarithmischer Maßstab gewählt. Die Maßeinheit ist das Dezibel, abgekürzt dB. Definitionsgemäß ist der Hörschwelle der Wert Null dB zugeordnet, der zehnfach stärkeren Schallintensität der Wert 10 dB, der hundertfachen 20 dB usw. Die Schmerzgrenze liegt bei etwa 130 dB.

Sehr leise Geräusche zwischen Null dB und 20 dB kann man praktisch nur in abgeschirmten Labors wahrnehmen, da die im täglichen Leben üblichen Umgebungsgeräusche bereits lauter sind. In der freien Natur werden bei »vollkommener Stille« Werte von 20 bis 30 dB erreicht. Um die unterschiedliche Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs für hohe und tiefe Töne zu berücksichtigen, wird in die Messgeräte ein genormter sogenannter A-Filter eingeschaltet. Die Maßeinheit wird dementsprechend dB(A) genannt.

Für die Abhängigkeit des gemessenen Schallpegels vom Abstand zur Schallquelle gilt folgende »Faustformel«: Eine Verdreifachung des Abstands reduziert den Schallpegel um 10 dB und halbiert damit die empfundene Lärmbelastung.



Geräusche und ihre Einzelschallpegel
Erläuterungen:
Alle Lärmwerte gerundet. Lärmwerte der Flugzeugmuster DA 20 und Piper PA 34 gemäß Lärmzertifizierung nach ICAO-Anhang 16, Kapitel 6 bzw. LSL, Kapitel VI. Lärmwerte der Flugzeugmuster ATR 42, Avro RJ, A 320 und B 747-400 abgeleitet aus Zertifizierungsdaten gemäß ICAO-Anhang 16, Kapitel 3 bzw. LSL, Kapitel III; Maximum Take-Off-Weight = Höchstzulässige Startmasse.



Mittelschwere bis äußerst starke Lärmbelästigung in Deutschland (Quelle: UBA)

.

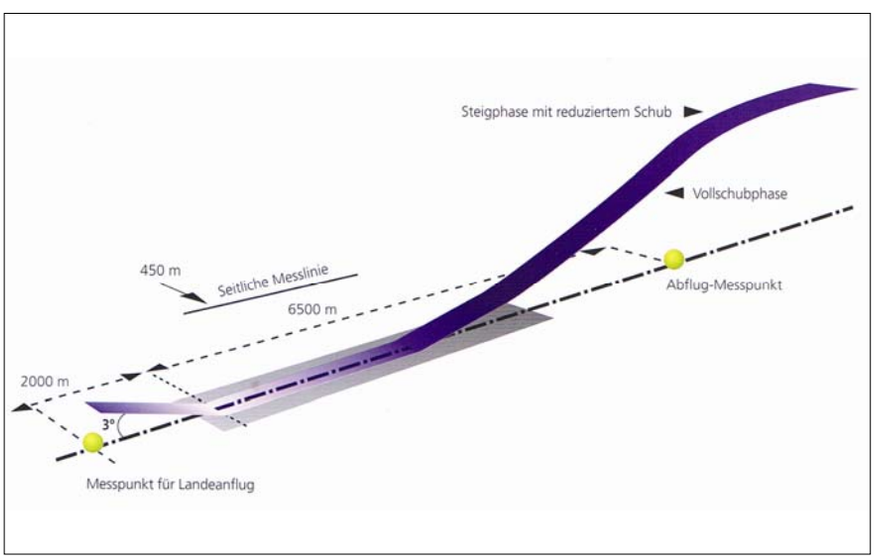
INTERNATIONALE REGELUNGEN ZUM SCHUTZ GEGEN FLUGLÄRM

ICAO-Anhang 16

Die internationale Zivilluftfahrtorganisation ICAO, eine Sonderorganisation der Vereinten Nationen, hat bereits 1971 ein Regelwerk zur Begrenzung der Schallabstrahlung ziviler Luftfahrzeuge geschaffen, den Band 1 des Anhangs 16 zum Abkommen über die internationale Zivilluftfahrt. Den verschiedenen Luftfahrzeugklassen sind jeweils eigene Kapitel gewidmet. Bei der Neuzulassung von Luftfahrzeugmustern muss nachgewiesen werden, dass die im Anhang 16 festgelegten Lärmgrenzwerte eingehalten werden.

Strahlflugzeuge ohne Lärmzulassung dürfen schon seit Jahren nur noch mit Ausnahmegenehmigung betrieben werden, z.B. als Regierungsflugzeuge oder aus historischem Interesse.

Die Lärmgrenzwerte für Propellerflugzeuge mit einem MTOW kleiner als 9.000 kg sind in den Kapiteln 5, 6 und 10 geregelt. Die übrigen Kapitel des Anhangs 16 sind Flugzeugen mit Kurzstarteigenschaften, Hubschraubern und dem Überschallverkehr gewidmet.



Anordnung der Lärmmesspunkte für die Lärmzertifizierung gemäß ICAO-Anhang 16, Kapitel 3, bzw. LSL, Kapitel II. (Quelle: Airbus)

Der Anhang 16 ist seit 1971 mehrfach fortgeschrieben und ergänzt worden. Seit dem 01.01.2006 neu zugelassene Strahlflugzeuge sowie Propellerflugzeuge mit mehr als 9.000 kg höchstzulässiger Startmasse (MTOW) müssen heute die in Kapitel 4 des Anhangs 16 festgelegten Lärmgrenzwerte einhalten.

Der Grenzwert von Kapitel-4-Flugzeugen liegt in der Summe um 10 dB(A) unter dem von Kapitel 3. Innerhalb der Europäischen Union dürfen Flugzeuge, die lediglich den Anforderungen von Kapitel 2 entsprechen, seit dem 01.04.2002 nur noch mit Sondergenehmigung verkehren.

Das Lärmzulassungsverfahren gemäß Kapitel 2, 3 und 4 sieht für den Startüberflug, die seitliche Lärmabstrahlung beim Start und den Landeanflug jeweils einen eigenen Messpunkt vor. Beim Startüberflug befindet sich der Lärmmesspunkt in einer Entfernung von 6.500 m vom Startrollpunkt auf der verlängerten Mittellinie der Startbahn. Der seitliche Lärmmesspunkt wird dort gewählt, wo während des Starts auf einer Linie im Abstand von 450 m parallel zur Startbahnachse der Lärmpegel des Flugzeugs ein Maximum erreicht. Als Landeanflug-Lärmmesspunkt wurde ein Punkt definiert, der 120 m senkrecht unterhalb eines Anflug-Gleitpfades von 3° auf der verlängerten Mittellinie der Landebahn liegt. In ebenem Gelände entspricht diese

Flugzeugtyp		MTOW (in t)	Anzahl der Triebwerke	Lärmpegel gemäß Lärmzertifizierung nach ICAO-Anhang 16 (in EPNdB) Umrechnung: dB(A) = EPNdB – 13		
				Start	Seitenlinie	Landung
Mit Strahlantrieb	A 380-800	560	4	93,7	95,3	97,9
	B 747-400	386	4	99,0	98,3	103,3
	MD 11	280	3	93,8	96,4	104,1
	A 340-300	254	4	94,4	94,7	97,2
	A 340-600	368	4	93,5	95,5	99,9
	B 777-200	243	2	90,9	95,1	99,2
	A 330-300	212	2	91,6	97,4	98,6
	B 767-300	185	2	93,2	97,0	100,2
	A 300-600	165	2	89,8	96,7	99,9
	A 310-300	153	2	88,0	94,7	98,4
	B 757-200	109	2	88,1	93,8	97,2
	A 321-100	83	2	86,9	95,5	95,4
	A 320-200	74	2	88,0	94,4	96,2
	B 737-800	79	2	88,6	92,1	96,5
	MD 87	68	2	89,2	97,1	93,3
	A 319-200	64	2	83,8	92,3	92,8
	B 737-500	53	2	83,8	89,9	99,8
	Avro RJ 85	44	4	84,3	88,4	97,3
	Fokker 100	43	2	83,4	89,3	93,1
	Embraer 170	36	2	83,0	94,1	98,1
	Canadair RJ	23	2	78,6	82,2	92,1
Mit Propeller-turbinen	Saab 2000	23	2	79,1	86,9	87,9
	ATR 72-200	22	2	86,5	84,7	94,1
	Fokker 50	20	2	86,8	90,5	94,2
	Dash 8-300	19	2	79,8	87,0	96,3
	ATR 42-300	16	2	82,6	83,8	96,8
	Dash 8-100	16	2	79,8	86,1	97,5
	Dornier 328	14	2	82,7	83,8	94,8
	Saab 340	12	2	77,3	86,0	90,8
	Embraer 120	11	2	81,3	84,0	92,7

*Quelle: Flight International "Arliners of the world, 1995“
**Quelle: LBA-Lärmlisten 1 und 2 vom 18.01.2005

Festlegung einer Entfernung von 2.000 m vor der Landebahnschwelle. Speziell für die Lärmzulassung großer Flugzeuge wurde international als Messgröße der sogenannte Lärmstörpegel (Effective Perceived Noise Level) eingeführt. Seine Einheit ist das EPNdB. Der Lärmstörpegel berücksichtigt den zeitlichen Verlauf des Geräusches sowie die Intensität besonders hervortretender Frequenzen. Für den Vergleich von dB(A) und EPNdB kann vereinfacht EPNdB = dB(A) + 13 gesetzt werden. Propellerflugzeuge mit einem MTOW kleiner als 9.000 kg werden seit dem 17. November 1988 nach Kapitel 10 des Anhangs 16 musterzugelassen. Zertifiziert wird der Startüberfluglärm an einem Punkt auf der verlängerten Mittellinie der Startbahn in einer Entfernung von 2.500 m vom Startrollpunkt. Die Lärmimmission wird in EPNdB(A) ermittelt.

In allen Kapiteln des Anhangs 16 wurden die Formeln zur Ermittlung der Lärmgrenzwerte so gestaltet, dass eine Abhängigkeit von der höchstzulässigen Startmasse des jeweils betrachteten Flugzeugs gegeben ist. Dadurch gelten für schwerere Flugzeuge höhere Grenzwerte als für leichtere Maschinen. In den Kapiteln 2, 3 und 4 wird beim Startüberflug zusätzlich nach der Anzahl der Triebwerke differenziert.

NATIONALE REGELUNGEN ZUM SCHUTZ GEGEN FLUGLÄRM

In Deutschland ist eine Vielzahl verbindlicher Verhaltensweisen und Vorgaben zum Schutz der Umwelt in Gesetzen, Verordnungen und Richtlinien geregelt. Diese bilden die rechtlichen Grundlagen für Betrieb, Prüfung und Zulassung von Flugzeugen, Ausbildung und Prüfung von Luftfahrtpersonal sowie die Genehmigung von Flugplätzen.

Luftverkehrsgesetz

Das wichtigste Regelwerk ist das Luftverkehrsgesetz. In diesem Gesetz ist u.a. festgelegt, dass ein deutsches Luftfahrzeug nur zum Verkehr zugelassen wird, wenn das durch seinen Betrieb entstehende Geräusch das nach dem jeweiligen Stand der Technik unvermeidbare Maß nicht übersteigt. Außerdem legt das Gesetz fest, dass an jedem Verkehrsflughafen Fluglärmmessanlagen zu betreiben sind.

Lärmmessanlagen an Flughäfen
(Fotos: Berliner Flughäfen, Frankfurter Flughafen, Flughafen Köln/Bonn)

Seit der Novellierung des Fluglärmschutzgesetzes, das im Sommer 2007 in Kraft trat, enthält das Luftverkehrsgesetz auch eine verbindliche Regelung, nach der die im Fluglärmschutzgesetz für neu- und auszubauende Flughäfen festgeschriebenen Lärmwerte im Zuge von Genehmigungs- und Planfeststellungsverfahren zu berücksichtigen sind.

Bei Testflügen der Lufthansa brachte die gezahnte Chevron-Düse eine Lärmminderung von einem Dezibel. (Foto: Deutsche Lufthansa)

Lärmschutzforderungen für Luftfahrzeuge

Die von deutschen Luftfahrzeugen einzuhaltenden Lärmgrenzwerte sind in den vom Luftfahrtbundesamt herausgegebenen Lärmschutzforderungen für Luftfahrzeuge (LSL) definiert. Mit den LSL wurden Bestimmungen, Hinweise und Verfahren des ICAO-Anhangs 16 in deutsches Recht überführt. Die Gliederung der LSL entspricht der des Anhangs 16, jedoch gehen die Forderungen der LSL in einigen Punkten über die des Anhangs 16 hinaus. Um eine Verwechslung der beiden Regelwerke zu vermeiden, wurden zur Nummerierung der einzelnen Kapitel der LSL römische Ziffern gewählt.

Die wichtigste Verschärfung betrifft Propellerflugzeuge unter 9.000 kg MTOW. Nach Kapitel VI der LSL zertifizierte Flugzeuge müssen einen gegenüber Kapitel 6, Anhang 16, um vier dB reduzierten Lärmgrenzwert einhalten. Bei den nach Kap. X zertifizierten Flugzeugen liegt der Grenzwert masseabhängig um drei bis acht dB unter der Vorgabe des Anhangs 16.

Zusätzliche Lärmschutzforderungen für Landeplätze

Die als »Landeplatz-Lärmschutzverordnung« bekannte Verordnung über die zeitliche Beschränkung des Flugbetriebs mit Leichtflugzeugen und Motorseglern an Landeplätzen enthält zusätzliche Lärmschutzanforderungen. Für Landeplätze, auf denen mehr als 15.000 Flugbewegungen pro Jahr stattfinden, sind für nichtgewerblich eingesetzte Flugzeuge zeitliche Betriebsbeschränkungen festgelegt, sofern diese Maschinen nicht die Schallschutzanforderungen der LSL erfüllen.

Fluglärmschutzgesetz

Bereits 1971 hat der Deutsche Bundestag zum Schutz der Allgemeinheit vor Gefahren, erheblichen Nachteilen und erheblichen Belästigungen durch Fluglärm in der Umgebung von Flugplätzen das Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm erlassen.

Nach diesem Fluglärmgesetz wurden für Verkehrsflughäfen, die dem Fluglinienverkehr angeschlossen sind, und für alle militärischen Flugplätze, die für den Betrieb von Strahlflugzeugen bestimmt sind, Lärmschutzbereiche festgesetzt. Im gesamten Lärmschutzbereich durften Krankenhäuser, Seniorenwohnanlagen, Schulen und ähnliche in gleichem Maße schutzbedürftige Einrichtungen nicht errichtet werden.

In Schutzzone 1 durften darüber hinaus keine Wohnungen errichtet werden. Entschädigungen bei Bauverboten sowie die Erstattung von Aufwendungen für bauliche Schallschutzmaßnahmen an bestehenden Gebäuden wurden im Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm ebenfalls geregelt.

Allerdings entfaltete das Fluglärmgesetz von 1971 schon seit längerem keine Wirkung mehr, so dass an vielen Flughäfen weitergehende Regelungen getroffen wurden. Der Gesetzgeber hat diese Situation bereits vor Jahren erkannt und verschiedene Novellierungsvorschläge vorgelegt.

Im Dezember 2006 wurde nach langem Ringen um eine sowohl für die Lärmbetroffenen als auch die Flughafenbetreiber akzeptable Novellierung das Fluglärmschutzgesetz verabschiedet. Mit diesem Gesetz werden die lokal sehr unterschiedlichen Festlegungen auf eine einheitliche Basis gestellt. Die folgende Tabelle stellt die Lärmwerte des Fluglärmschutzgesetz im Vergleich zu den Lärmwerten anderer Verkehrsträger dar.

Diese Darstellung verdeutlicht, dass der Luftverkehr beim Lärmschutz eine Vorreiterrolle einnimmt. Das Fluglärmschutzgesetz trat im Sommer 2007 in Kraft. Nun kommt es darauf an, durch eine praxisgerechte Überarbeitung des untergesetzlichen Regelwerks, das die Berechnung von Fluglärm, die Dimensionierung von Schallschutzmaßnahmen und die Entschädigung betroffener Anwohner regelt, eine baldige und reibungslose Umsetzung des Gesetzes sicherzustellen.

Verkehrsträger	Bestand		Neu-/Ausbau	
	Tagschutz	Nachtschutz	Tagschutz	Nachtschutz
Luftverkehr lt. Fluglärmschutzgesetz	L_{eq3} = 65 dB(A)	L_{eq3} = 55 dB(A) L_{max} = 6 x 57 dB(A) innen	L_{eq3} = 60 dB(A)	L_{eq3} = 50 dB(A) L_{max} = 6 x 53 dB(A) innen
Straßen- und Schienenverkehr	L_{eq3} = 70 dB(A) Kein Rechtsanspruch!	L_{eq3} = 60 dB(A) Kein Rechtsanspruch	L_{eq3} = 64 dB(A) (16. BImSchV, Dorf- und Mischgebiete)	L_{eq3} = 54 dB(A) (16. BImSchV, Dorf- und Mischgebiete)

Weitergehende Regelungen der Länder

Nach §13 Abs. 2 des Fluglärmschutzgesetzes können die Bundesländer weitergehende Planungsmaßnahmen zur Siedlungsbeschränkung in der Umgebung von Flughäfen ergreifen. Die Länder haben bereits nach dem Fluglärmgesetz von 1971 von dieser Möglichkeit in unterschiedlicher Weise Gebrauch gemacht. So wurden in einigen Ländern auf der Grundlage des jeweiligen Landesplanungsrechts an die Systematik des Fluglärmgesetzes angelehnte, weitergehende Planungszonen definiert. Diese Siedlungsbeschränkungsgebiete, in denen insbesondere die Ausweisung neuer Wohngebiete sowie der Bau besonders lärmempfindlicher Einrichtungen vermieden werden soll, dienen sowohl der weitergehenden Vorsorge zum Schutz der Bevölkerung vor Fluglärm als auch zur Sicherung der bedarfsgerechten Abwicklung des Luftverkehrs und der widmungsgemäßen Funktion der Flughäfen.

MAßNAHMEN DER LUFTFAHRTBETEILIGTEN

Flughafenunternehmen

Auf allen deutschen Flughäfen gelten während der Nachtzeit besondere Betriebsregelungen, die sich an den speziellen Gegebenheiten vor Ort orientieren. Dabei findet die Lärmklassifizierung der Flugzeuge gemäß ICAO-Anhang 16 bzw. LSL Berücksichtigung.

Neben lärmabhängigen Betriebsregelungen stellen lärmdifferenzierte Landegebühren ein weiteres Instrument dar, mit dem der Flugplatzbetreiber auf das eingesetzte Fluggerät Einfluss nehmen und den aktiven Lärmschutz fördern kann.

Die auf den deutschen Flughäfen angewandten lärmdifferenzierten Landegebühren sind auf die Einteilung der Flugzeuge in Lärmklassen gemäß ICAO-Anhang 16 oder Lärmmessungen vor Ort aufgebaut. Die Mehrbelastung lauter Flugzeuge fördert die Anschaffung und den Einsatz leiserer Flugzeugmuster.

Die lärmdifferenzierten Gebührenstrukturen haben mit dazu beigetragen, dass der Anteil der auf deutschen Flughäfen verkehrenden Jets über 25 t MTOW mit einem Lärmzeugnis gemäß Kapitel 3, ICAO-Anhang 16, seit 1988 stark angestiegen ist. In Deutschland ist der Kapitel-3-Anteil deutlich größer als in anderen Ländern. Kapitel-2-Flugzeuge landen nur noch in Ausnahmefällen auf deutschen Flughäfen und der Anteil der modernen Kapitel-4-Flugzeuge nimmt stetig zu.

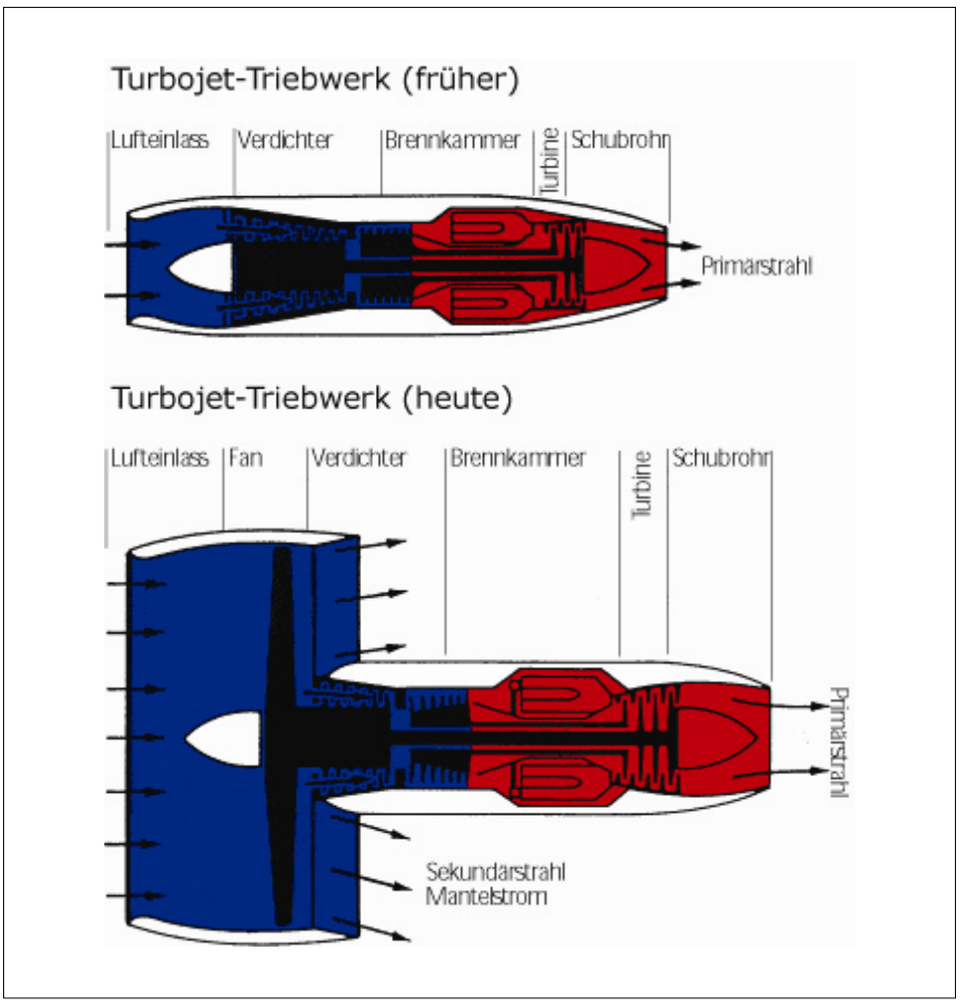
Flugzeughersteller und Airlines

Vorfeld Flughafen Stuttgart (Foto: Flughafen Stuttgart)

Flugzeug- und Triebwerkshersteller haben schon früh erkannt, dass neben Leistungsfähigkeit und Treibstoffeffizienz auch die Lärmwerte ihrer Produkte ein wichtiges Verkaufsargument sind.

Die Deutsche Lufthansa forderte bereits im Jahr 1961 bei der Bestellung der Boeing 707B Garantiewerte für den Außenlärm, was in dieser Zeit ein absolutes Novum darstellte. Bei den damals üblichen Turbojet-Triebwerken wurde die gesamte angesaugte und verdichtete Luft der Brennkammer zugeführt.

Der Vortrieb wurde ausschließlich durch den auf hohe Geschwindigkeit beschleunigten heißen Abgasstrahl erzeugt.



Bei modernen Turbofan-Triebwerken dämpft ein Mantel-Luftstrom den Triebwerkslärm. (Quelle: Lufthansa/ADV)

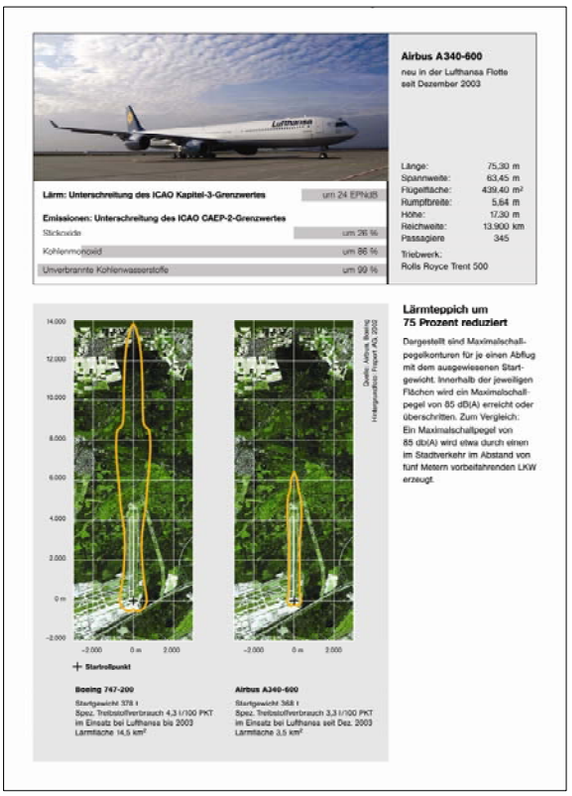
Das Zusammentreffen mit der ruhenden kalten Außenluft war Ursache des für Strahltriebwerke der ersten Generation charakteristischen donnernden Geräuschs. Der Lärm wird eingehüllt:

Ein Meilenstein auf dem Weg zu leisen Triebwerken wurde mit Einführung der Mantelstromtechnologie erreicht. Bei diesen auch als Turbofan bezeichneten Triebwerken wird nur ein Teil der angesaugten und vorverdichteten Luft in die Brennkammer geleitet. Der größere Teil strömt um das Kerntriebwerk herum und umhüllt den aus der Brennkammer austretenden Abgasstrahl.

Der den Hauptanteil des Gesamtvortriebs leistende Mantelstrom dämpft das Zusammentreffen von Abgasstrahl und Umgebungsluft und mindert so in erheblichem Maß den Triebwerkslärm.

Moderne Triebwerke haben je nach Größe des Flugzeugs Mantelstromverhältnisse von 5:1 bis 8:1 und leiten damit wesentlich mehr Luft um die Brennkammer herum als durch diese hindurch. Für zukünftige Triebwerksgenerationen werden Mantelstromverhältnisse von 10:1 und mehr angestrebt, was eine weitere Absenkung der Lärm- und Energieverbrauchsdaten mit sich bringen wird. Gegenüber den Jets der ersten Generation sind moderne Strahlverkehrsflugzeuge vergleichbarer Kapazität um etwa 30 dB leiser. Da eine Schallminderung um 10 dB etwa mit einer Halbierung der empfundenen Lautstärke gleichzusetzen ist, bedeutet diese Entwicklung eine Lärmreduzierung um nahezu 90%.

Die erreichten Verbesserungen lassen sich durch die Darstellung der sogenannten »Lärmteppiche« verschiedener Flugzeugmuster verdeutlichen.



Lärmteppich im Vergleich:
Boing 747-200 und Airbus 340-600 (Quelle: Lufthansa)

Als Lärmteppich wird die Fläche am Boden bezeichnet, auf der bei Start oder Landung eines Flugzeugs ein bestimmter Lärmpegel erreicht bzw. überschritten wird. In der Abbildung sind die 85 dB(A)-Lärmkonturen zweier weitverbreiteter Flugzeugmuster vergleichbarer Kapazität dargestellt, die in der technologischen Entwicklung rund 25 Jahre auseinander liegen.

Der neue Airbus A 380, dessen maximale Startmasse von 560 t die der Boeing B 747-400 um mehr als 40% überschreitet, ist bei Start und Landung um mehr als 5 dB leiser als der Jumbojet. Neben der Beschaffung neuer Flugzeuge kann auch die lärmtechnische Umrüstung bestehender Flugzeugmuster eine wirkungsvolle Maßnahme zur Verringerung der Lärmemission darstellen.

Während bei Jets in der Regel nur die Umrüstung auf modernere Triebwerke zu signifikanten Verbesserungen führt, ist die Palette möglicher Lärmminderungsmaßnahmen bei Flugzeugen mit Kolbenmotoren breit. Hier bieten Propeller, Motor, Triebwerksverkleidung und Auspuffanlage Ansatzpunkte für eine lärmtechnische Optimierung.

Der Gesamtlärmeindruck wird bei dieser Flugzeugkategorie häufig vom Propellerlärm geprägt, der durch die Umfangsgeschwindigkeit der Blattspitzen bestimmt ist. Die Blattspitzengeschwindigkeit lässt sich bei gleicher Motordrehzahl vermindern, indem ein Propeller mit geringerem Durchmesser und – zur Beibehaltung des Schubs – einer höheren Anzahl an Propellerblättern verwendet wird.

Auch die Schalldämmung des Motorraums und die technische Optimierung der Auspuffanlage können einen deutlichen Beitrag zur Verminderung der Schallabstrahlung eines Kolbenmotorflugzeuges leisten.

Flugsicherung

Gemäß ihrem gesetzlichen Auftrag zur Bewegungslenkung auf den Rollflächen der Flugplätze und in der Luft kann die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH unmittelbar auf die von Luftfahrzeugen ausgehenden Lärmbelastungen Einfluss nehmen.

In Zusammenarbeit mit Airlines und Flugplätzen wurden zahlreiche flugsicherungsbetriebliche Verfahren und Maßnahmen zur Minderung vermeidbaren Fluglärms erarbeitet, die in erheblichem Umfang zu Verbesserungen geführt haben.

Hierzu zählen die Festlegung lärmmindernder An- und Abflugrouten, die Empfehlung spezieller Startverfahren sowie, im Bereich des Instrumentenflugbetriebs, die Vergrößerung des Anflug-Gleitwegwinkels und die Einführung von Anflugverfahren, die mit reduzierter Triebwerksleistung geflogen werden können.

ENERGIEVERBRAUCH

VERKEHRSLEISTUNG UND ENERGIEVERBRAUCH

Die Energieverbrauchsdaten moderner Verkehrsflugzeuge zeigen, dass die Flugreise nicht nur eine besonders schnelle, sondern auch eine treibstoffeffiziente Art der Fortbewegung ist. Moderne Flugbetriebwerke erzielen durch die ständige Weiterntwicklung inzwischen einen enormen Wirkungsgrad. So konnte erreicht werden, dass der Kraftstoffverbrauch des Weltluftverkehrs deutlich langsamer wächst als die Verkehrsleistung.

Nach Angaben des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) lag die Steigerungsrate des Flugkraftstoffverbrauchs in den letzten Jahren weltweit bei rund 3%. Die Steigerungsrate der Verkehrsleistung lag hingegen bei ca. 5% jährlich.

Die Entkoppelung der Wachstumsraten von Verkehrsleistung und Energieverbrauch ist Folge des kontinuierlichen Austauschs alter Flugzeuge gegen neue, treibstoffeffizientere Flugzeugmuster.

Die Leistungs- und Verbrauchsdaten der Lufthansa verdeutlichen diesen Effekt. Hinzu kommt, dass die Auslastung der Verkehrsflugzeuge gewachsen ist und tendenziell größere Flugzeuge zum Einsatz kommen, die pro Sitzplatz weniger Treibstoff verbrauchen als kleinere. Seit 1970 ist der spezifische Treibstoffverbrauch der Lufthansa-Passage-Flotte bereits um 70% zurückgegangen.

Diese Entwicklung soll sich fortsetzen. Lufthansa hat sich das Ziel gesetzt, den spezifischen Treibstoffverbrauch, also die zur Beförderung eines Passagiers über eine bestimmte Distanz benötigte Treibstoffmenge, von 1991 bis zum Jahre 2012 um 40% zu senken. Bis 2004 wurde bereits eine Verringerung des spezifischen Verbrauchs um 31,9% erreicht.

Der durchschnittliche Kerosinverbrauch von Condor, LTU und Air Berlin auf der ca. 3.500 km langen Strecke von Köln/Bonn nach Teneriffa beträgt nur 2,7 l je 100 Passagierkilometer. Für den Hin- und Rückflug werden demnach ca. 190 l Kerosin je Passagier benötigt. Die spezifischen Flottenverbräuche der deutschen Fluggesellschaften streben inzwischen in Richtung der 4-Liter-Marke. Im Ferienflugverkehr liegen sie bereits deutlich darunter. So verbrauchten die Flugzeuge im gesamten Lufthansa-Konzern im Jahr 2005 ganze 4,39 l je 100 Passagierkilometer. (3)

Die Thomas-Cook-Flotte benötigte auf ihren Ferienflügen sogar nur durchschnittlich 2,88 l je 100 Passagierkilometer.(4)

Nicht nur die Triebwerkstechnik bietet Ansatzpunkte zur weiteren Verringerung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs der Luftfahrzeuge.

Auch die Verwendung neuer und leichter Werkstoffe, der Ersatz schwerer hydraulischer bzw. mechanischer Komponenten durch leichtere elektronische Systeme sowie die Verbesserung der Flugzeugaerodynamik bergen Potenzial zu weiteren Kraftstoffeinsparungen. Besonderes Einsparpotenzial wird von vollkommen neuen Flugzeugkonzepten wie zum Beispiel sogenannten Nurflüglern erwartet.

ENERGIEVERBRAUCH DER LUFTVERKEHRSINFRASTRUKTUR

Auch die Luftverkehrsinfrastruktur birgt vielfältige Energiesparpotenziale. Zwar müssen die Kapazitäten immer wieder an den steigenden Bedarf angepasst werden, der spezifische Energieverbrauch ist jedoch auf vielen Flughäfen und Landeplätzen seit Jahren rückläufig.

Klimaversorgung an der Gate-Position
(Foto: Flughafen Hamburg)

Dies wird realisiert durch die Modernisierung der zentralen Energieversorgung, der Heizungs- und Klimatechnik sowie des Fuhrparks. So kommen an den deutschen Flughäfen verstärkt alternative Antriebskonzepte wie Erdgas- und Wasserstofffahrzeuge zum Einsatz.

INNERDEUTSCHER VERKEHR

Auch auf kurzen Distanzen hat das Flugzeug seine Energiebilanz stark verbessert. Anders als auf mittleren und langen Strecken ist der Luftverkehr über kurze Entfernungen überwiegend Geschäftsreiseverkehr. Im innerdeutschen Verkehr sind ca. drei von fünf Fluggästen geschäftlich unterwegs.

Auf der ca. 600 km langen Flugstrecke von Berlin nach München benötigt ein modernes Kurz- und Mittelstreckenflugzeug bei durchschnittlicher Besetzung ca. 6,9 Liter Kerosin pro 100 Passagierkilometer. Pro Passagier werden damit ca. 33 kg Kerosin verbraucht.

Dabei werden 104 kg CO_2 freigesetzt. Demgegenüber geht das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW)[5] für den inländischen Pkw-Bestand von einem Durchschnittsverbrauch von 8,6 Liter pro 100 km aus. Berücksichtigt man den durchschnittlichen Besetzungsgrad bei Geschäftsreisen mit dem Auto von 1,1 Personen pro Fahrzeug, so ergibt sich ein spezifischer Kraftstoffverbrauch von 7,82 Liter pro 100 Pkm. Dies führt auf der gleichen Strecke von Berlin nach München zu CO_2-Emissionen von rund 118 kg pro Person.

Im Vergleich mit der Bahn lässt die Energiebilanz des Luftverkehrs bemerkenswerte Fortschritte erkennen. Dank kontinuierlicher technischer Verbesserungen konnte der spezifische Treibstoffverbrauch der Flugzeuge innerhalb von 30 Jahren um mehr als zwei Drittel reduziert werden. Demgegenüber konnte die Bahn mit dem Übergang vom IC- auf den ICE-Verkehr zwar die Reisezeit, nicht jedoch den Energieverbrauch reduzieren.

Da sich der spezifische Energieverbrauch des Luftverkehrs weiter verringern soll, ist mit einer weiteren Annäherung der spezifischen Energieverbrauchsdaten beider Verkehrsträger zu rechnen.

Eine zusätzliche Verschiebung zugunsten des Luftverkehrs ergibt sich, wenn nicht die spezifischen Energieverbräuche der Verkehrssysteme verglichen werden, sondern die zwischen Ausgangsort und Ziel tatsächlich verbrauchten Energiemengen.

Umwege erhöhen den Gesamtverbrauch. Dieser wird durch den spezifischen Energieverbrauch des Verkehrsmittels und die zwischen Ausgangsort und Ziel zurückgelegte Wegstrecke bestimmt. Das Prognos-Institut hat die innerdeutschen Verkehrsnetze analysiert und festgestellt, dass die größten Umwege auf der Schiene, die geringsten im Luftverkehr in Kauf zu nehmen sind. Für die Strecke Frankfurt-München müssen auf der Schiene 425 km gefahren werden, auf der Straße beträgt die Entfernung 400 km, das Flugzeug legt jedoch nur 380 km zurück.

ICE der Deutschen Bahn (Foto: Deutsche Bahn AG)

EMISSIONEN

ABGASEMISSIONEN AUS FLUGTRIEBWERKEN

Aus einem Kilogramm des Turbinenkraftstoffs Kerosin und 3,4 kg Sauerstoff entstehen bei der Verbrennung im Triebwerk rund 3,15 kg Kohlendioxid (CO_2) und 1,24 kg Wasserdampf (H_2O). Je nach Auslegung und Betriebszustand des Triebwerks fallen an Schadstoffen 6-20 g Stickoxide (NO_x), 0,7-2,5 g Kohlenmonoxid (CO), 0,1-0,7 g unverbrannte Kohlenwasserstoffe (C_xH_y) und 0,01-0,03 g Ruß an.

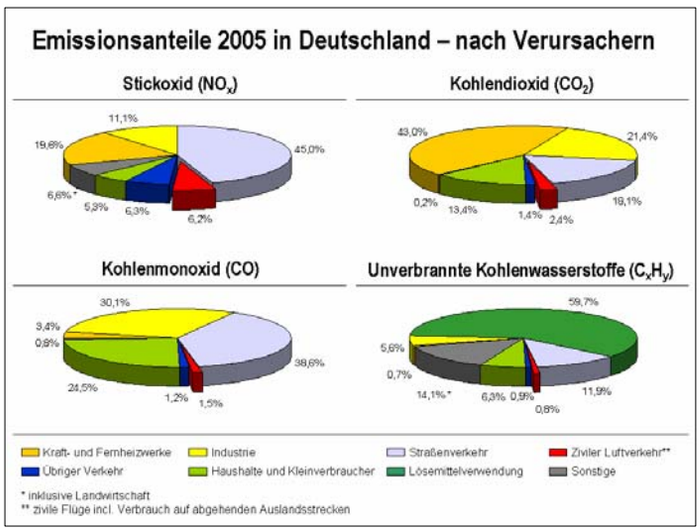
CO, C_xH_y und Ruß sind Produkte unvollständiger Verbrennung. Die spezifischen Emissionen dieser Stoffe liegen bei modernen Flugtriebwerken weit unter den Werten älterer Triebwerke. Die Senkung von Kerosinverbrauch und Emissionen wurde bisher in erster Linie durch die Erhöhung von Verbrennungstemperatur und Druck in der Brennkammer erreicht. Diese Bedingungen begünstigen jedoch die Bildung von Stickoxiden, die nicht bei der Verbrennung des Kraftstoffs entstehen, sondern durch Oxidation des in der Luft enthaltenen Stickstoffs.

Um auch bezüglich NO_x einen Rückgang der spezifischen Triebwerksemissionen zu erzielen, mussten neue Brennkammerkonzepte entwickelt werden, die erst vor wenigen Jahren die Serienreife erlangt haben.

Im Vergleich zu anderen Mineralölprodukten ist Kerosin ein sehr reiner Kraftstoff. Da es frei von Blei- und Halogenverbindungen ist, werden weder Schwermetalle noch Dioxine emittiert. Nach einer international gültigen Spezifikation darf Kerosin maximal 0,3% Schwefel enthalten.

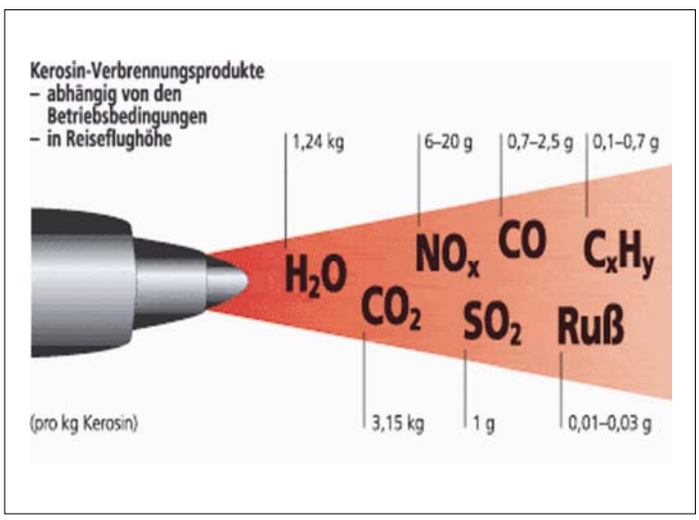
Untersuchungen haben ergeben, dass der Schwefelgehalt des in Deutschland vertankten Kerosins bei durchschnittlich 0,05% liegt. Bei diesem Schwefelgehalt entsteht pro Kilogramm Kerosin bei der Verbrennung rund ein Gramm Schwefeldioxid (SO_2).

Je nach betrachteter Schadstoffkomponente wird dem Luftverkehr ein Anteil von 0,4% bis 2,4% an den insgesamt für Deutschland ermittelten Luftschadstoffemissionen zugerechnet. Für die Qualität der bodennahen Luft sind jedoch nur die innerhalb der planetaren Grenzschicht ausgebrachten Abgase maßgeblich. Diese durch die Luftreibung an der Erdoberfläche beeinflusste Schicht weist je nach Tages- und Jahreszeit eine Mächtigkeit von 300 bis 1.200 Meter auf.

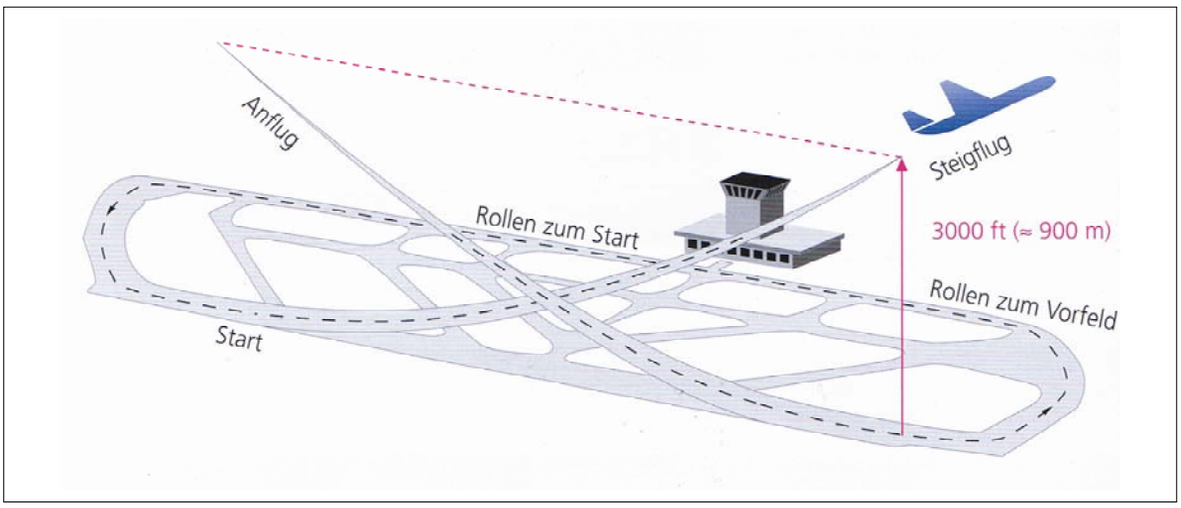


Emissionsanteile nach Verursachern in Deutschland.
(Quelle: Umweltbundesamt Berlin, Stand 2005)

Zur Ermittlung der in Bodennähe emittierten Flugzeugabgase wurde international der sogenannte LTO (Landing and Take Off) -Zyklus definiert, der Anflug, Landung, Rollvorgänge, Start und Steigflug unterhalb einer Grenzhöhe von 3.000 Fuß (rund 900 m) umfasst. Beim Landeanflug nach Instrumentenflugregeln wird diese Höhe ca. 20 km vor der Landung unterschritten. Startende Flugzeuge verlassen den LTO-Bereich nach rund 7 km.



Schema der Kerosin-Verbrennungsprodukte



Der ICAO-LTO-Zyklus. (Quelle: Airbus)

LUFTQUALITÄT AUF DEM FLUGPLATZGELÄNDE

Seit den 70er Jahren werden auf Flugplätzen und in ihrer Umgebung zahlreiche Luftqualitätsuntersuchungen durchgeführt. Auf mehreren deutschen Flughäfen sind permanente Messstationen installiert, die kontinuierlich über die lufthygienische Situation vor Ort Auskunft geben. Neben den "klassischen" Luftschadstoffen CO, C_xH_y, NO_x und SO_2 können weitere Spurengase und Partikel erfasst werden.

Da sich gasförmige Schadstoffe nach ihrer Freisetzung aus verschiedenen Quellen in der Luft vermischen, kann bei Luftqualitätsmessungen nur die Gesamtbelastung durch den jeweiligen Schadstoff erfasst werden. In den ermittelten Schadstoffkonzentrationen sind daher neben den durch den Flugbetrieb verursachten Anteilen auch die Anteile des Bodenverkehrs sowie von außerhalb auf das Flughafenareal verfrachtete Belastungen enthalten. Alle bisher durchgeführten Untersuchungen haben ergeben, dass die auf den Flugplätzen ermittelten Luftschadstoffkonzentrationen die in benachbarten Stadtgebieten zu verzeichnenden Belastungen deutlich unterschreiten und weitgehend der Situation im Umland entsprechen.

Untersuchungen der ADV-Task Force „Schadstoffreduzierung“ zu Rußpartikelemissionen haben ergeben, dass der Flugbetrieb nur einen geringen Beitrag zu den Partikelimmissionen leistet.

Den entscheidenden Beitrag zu den Partikelimmissionen liefern die Servicegeräte am Boden sowie der sonstige Kfz-Verkehr. Hier können emissionsmindernde Maßnahmen ergriffen werden, was die Flughäfen in der Vergangenheit auch bereits getan haben. So wurde am Flughafen Hamburg damit begonnen, den flughafeneigenen Fuhrpark auf Erdgas umzustellen. Die ADV-TF „Schadstoffreduzierung“ hat in einer Übersicht die bisher umgesetzten Maßnahmen aufgelistet und Empfehlungen für weitere Maßnahmen ausgesprochen.

EINFLUSS DES FLUGHAFENBETRIEBES AUF DIE LUFTQUALITÄT DER REGION

Luftqualitätsmessungen geben für jeden betrachteten Stoff Auskunft über die Belastungssituation am Messort. Um Informationen darüber zu erhalten, welchen Anteil bestimmte Verursacher an der Gesamtbelastung einer Region haben, wurden Rechenmodelle entwickelt, die für einen vorgegebenen Untersuchungsraum alle relevanten Schadstoffquellen und deren Emissionen erfassen. Seit November 2002 nutzen die Flughäfen das Ausbreitungsmodell LASPORT, das im Auftrag der ADV entwickelt wurde. Dieses Modell ist das modernste seiner Art, das auf dem deutschen Ausbreitungsmodell LASAT basiert. Das Umweltbundesamt hat beschlossen, das Modell LASAT im Rahmen der Überarbeitung der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) als Standardmodell einzusetzen.

In einer vom Bundesverkehrsministerium veröffentlichten Studie hat die Technische Universität Berlin den Einfluss luftverkehrsinduzierter Emissionen auf die Flughafenregion untersucht.

Auf Basis vorhandener Emissionsgutachten wurden für mehrere große Flughäfen beispielhaft die im Nahbereich immissionswirksamen Schadstoffmengen abgeschätzt. Die flughafeninduzierten Emissionen setzen sich aus den Bereichen Flugbetrieb, Kraftfahrzeugverkehr auf der Luftseite (Verkehr auf Flughafenbetriebsflächen) und Landseite (Zubringerverkehr zum Flughafen) sowie stationäre Quellen (z.B. Heizwerke) zusammen.

Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die betrachteten Flughäfen jeweils weniger als 10% zur Gesamtbelastung der Region beitragen. Von der flughafeninduzierten Schadstoff-Fracht wird wiederum nur ein Drittel in Flugzeugtriebwerken erzeugt. Der höchste Einzelanteil entfällt auf den landseitigen Pkw-Zubringerverkehr.

Als effektivste Maßnahme zur Verringerung der flughafeninduzierten Schadstoffbelastung wird daher die optimale Anbindung des Flughafens durch öffentliche Verkehrsmittel genannt. Daher fördern die Flughäfen die Anbindung des Flughafens an den öffentlichen Verkehr. Außerdem investieren die Flughäfen in moderne Energieerzeugungstechnik (Blockheizkraftwerk), emissionsarme Vorfeldfahrzeuge (H_2-Projekt Flughafen München, Erdgas), um die Luftqualität weiter zu verbessern.

Eine effektive Maßnahme zur Verringerung flughafeninduzierter Schadstoffemissionen ist die optimale Anbindung des Flughafens durch öffentliche Verkehrsmittel (Foto: Flughafen Köln/Bonn, Flughafen Stuttgart, Flughafen Hamburg)

Solaranlage am Flughafen München
(Foto: Flughafen München)

VERKEHR UND SOMMERSMOG

Zu Sommersmog oder photochemischem Smog kommt es bei intensiver Sonnenstrahlung und hohen Temperaturen. Hierbei werden durch eine photochemische Reaktion aus Abgasen Ozon und weitere schleimhautreizende Stoffe gebildet. Wichtigste Vorläufersubstanzen des Ozons sind Stickoxide und Kohlenwasserstoffe.

Nach Auskunft des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) sind für die Ozonbelastung an heißen Tagen ausschließlich die Emissionen maßgebend, die innerhalb der planetaren Grenzschicht freigesetzt werden. Der Beitrag des Luftverkehrs wird auch im unmittelbaren Umfeld der Flughäfen im Vergleich zum Hauptverursacher Straßenverkehr als gering erachtet.

PFLANZEN- UND BODENUNTERSUCHUNGEN IM FLUGHAFENUMFELD

In den Einflussbereichen deutscher Flughäfen werden neben Lufthygieneuntersuchungen auch zahlreiche Pflanzen- und Bodenuntersuchungen durchgeführt. In allen Fällen sind die ermittelten Schadstoffkonzentrationen niedrig. Anhaltspunkte für eine Beeinflussung durch den Flugbetrieb ergeben sich nicht. Vielfach liegen die auf dem Flughafengelände festgestellten Belastungswerte weit unter den Werten von Vergleichsproben, die außerhalb des Flughafeneinflussbereichs entnommen wurden.

BIOMONITORING

Auf einigen Flughäfen werden neben Pflanzen- und Bodenuntersuchungen auch Bioindikationsprogramme durchgeführt. Unter Bioindikation oder Biomonitoring wird die Verwendung von Organismen oder Organismengemeinschaften verstanden, deren Lebensfunktionen sich mit bestimmten Umweltfaktoren so eng in

Schadstoffmessung am Flughafen
(Foto: Flughafen Zürich)

Beziehung setzen lassen, dass Rückschlüsse auf diese Umweltfaktoren möglich sind. So eignet sich Grünkohl zum Nachweis polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK), Tabak zum Nachweis der Schadwirkung von Ozon und Weidegras zum Nachweis von Schwermetallen.

Die auf den Flughäfen durchgeführten Bioindikationsprogramme bestätigen die mit anderen Messmethoden erzielten Untersuchungsergebnisse. Für alle mittels Bioindikation untersuchten Substanzen gilt, dass auf den Flughäfen keine Auffälligkeiten festgestellt wurden.

Einige deutsche Flughäfen halten sich Bienenvölker, aber nicht zur Produktion von Honig, sondern zur Kontrolle der Schadstoffbelastung in ihrer Umgebung. Auch die Bienen dienen hier als Bioindikator. Schadstoffe aus der Umwelt können auf verschiedenen Wegen in ein Bienenvolk gelangen. Die Biene kann direkt über Wasser und Luft Schadstoffe aufnehmen und in das Bienenvolk tragen. Pflanzen können Schadstoffe aus Luft, Wasser oder Boden aufnehmen und über die Nektar- und/oder Pollentracht an die Bienen weitergeben.

Biomonitoring an Flughäfen
(Foto: Flughafen München, Flughafen Hamburg)

Bienenvölker durchfliegen ihr Fluggebiet sehr intensiv und decken dabei mindestens eine Fläche von 12 km² ab. Die Untersuchung des Honigs kann aufzeigen, wie sich die Schadstoffbelastung in diesem Gebiet zusammensetzt. Es ergibt sich ein Bild der Umweltbedingungen im Erntegebiet. Die Biene selbst wirkt quasi als „Biofilter“. Sie ist sehr empfindlich gegenüber Pflanzenschutzmitteln und anderen Chemikalien.

Pro Tag macht eine Biene ca. 40 Ausflüge und besucht dabei ca. 4.000 Blüten. Dabei nimmt die Biene mit ihrem Saugrüssel den Nektar der Blüten auf und verdünnt ihn mit Ihrem Speichel. Dieser enthält Enzyme, die hauptsächlich für den Umbau des Nektars in Honig verantwortlich sind.

Die Eigenschaft der Biene als Indikator und Sammler sowie die mögliche Akkumulation von Schadstoffen in Pollen, Wachs und Honig dient somit der Überwachung und Einschätzung von Immissionen im jeweiligen Beobachtungsgebiet.

Die bisherigen Messergebnisse bestätigten die positiven Ergebnisse der Luftqualitätsmessungen der Flughäfen und bescheinigten dem Honig eine einwandfreie Genießbarkeit.

FUEL DUMPING - EIN VERFAHREN FÜR NOTFÄLLE

Das Fahrwerk eines Flugzeugs wird bei der Landung stärker beansprucht als beim Start. Um Fahrwerk und Bremsen leichter bauen zu können, liegt bei Langstreckenflugzeugen, die über eine hohe Treibstoffkapazität verfügen, das höchstzulässige Landegewicht deutlich unter dem höchstzulässigen Startgewicht.

Durch das geringere Gesamtgewicht lassen sich im Laufe eines Jahres pro Flugzeug hunderte Tonnen Kerosin sparen.

Für den Fall, dass nach dem Start technische Schwierigkeiten auftreten, die eine rasche Landung erzwingen, sind Langstrecken-Flugzeugmuster wie Airbus 330, 340 und 380, Boeing 747, 767 und 777 sowie MD11 mit Vorrichtungen ausgestattet, über die im Flug Treibstoff abgelassen werden kann.

Das als "Fuel Dumping" bezeichnete Treibstoffablassverfahren ist auf Notfälle beschränkt, bei denen keine Zeit bleibt, den überschüssigen Treibstoff zu verfliegen und die in Einzelfällen erlaubte Übergewichtslandung nicht möglich ist.

Die Deutsche Flugsicherung registriert pro Jahr ca. 40 derartige Vorkommnisse. Bei etwa 1,1 Millionen Starts im gewerblichen Luftverkehr ergibt sich daher pro 27.500 Starts einmal eine Situation, die einen Treibstoffschnellablass notwendig macht.

Die Flugsicherung weist der betroffenen Maschine einen Luftraum zu, in dem Treibstoff freigesetzt werden darf. Dies geschieht nach Möglichkeit über unbebautem Gebiet. Als Mindesthöhe sind 1.500 Meter über Grund vorgeschrieben, meist erfolgt der Treibstoffablass jedoch in vier bis acht Kilometern Höhe. Es dürfen keine geschlossenen Kreise geflogen werden und die Fluggeschwindigkeit muss mindestens 500 km/h betragen.

Der größte Teil des durch die Auslassdüsen freigesetzten und in den Turbulenzen hinter dem Flugzeug zu einem feinen Kraftstoffnebel verwirbelten Kerosins verdampft und verbleibt in der Atmosphäre, bis er durch die Strahlungsenergie der Sonne zu Kohlendioxid und Wasser umgewandelt wird. Nur ein Bruchteil des abgelassenen Kerosins erreicht den Erdboden.

Bei einem Fuel Dump in der Mindesthöhe von 1.500 Metern, bei Windstille und einer Bodentemperatur von 15°C sind es rechnerisch 8% der insgesamt abgelassenen Treibstoffmenge. Daraus lässt sich für die Mindestgeschwindigkeit von 500 km/h eine Bodenbelastung von 0,02 Gramm pro Quadratmeter ermitteln, was mengenmäßig einem Schnapsglas Kerosin verteilt auf eine Grundfläche von 1.000 Quadratmetern entspricht. Die bei dieser modellhaften Betrachtung vorausgesetzte völlige Windstille ist unter Realbedingungen allerdings äußerst unwahrscheinlich. Bereits geringe Luftbewegungen und die damit verbundene Durchmischung der Luft bewirken, dass der freigesetzte Treibstoff praktisch vollständig verdampft, ehe er den Boden erreichen kann. Dies erklärt, weshalb es trotz Einsatz empfindlichster Messgeräte bisher nicht gelungen ist, nach einem Fall von Fuel Dumping in Pflanzen- oder Bodenproben aus betroffenen Gebieten Verunreinigungen durch Kerosin festzustellen.

Für Kurz- und Mittelstrecken konzipierte Schmalrumpfflugzeuge (z.B. A320, B737, B757, MD80) sowie die Mittelstrecken-Widebodies A300 und A310 verfügen nicht über Vorrichtungen zum Treibstoffablass. Bei diesen Typen ist die Differenz zwischen höchstzulässigem Start- und Landegewicht so gering, dass in Notfällen grundsätzlich Übergewichtslandungen durchgeführt werden können.

Bei hoher Luftfeuchtigkeit können hinter landenden Flugzeugen Dunstfahnen sichtbar werden, die von Tragflächenkanten ausgehen. Dabei handelt es sich nicht um abgelassenen Treibstoff, sondern um in Luftwirbeln kondensierte Luftfeuchtigkeit, die als Nebelfahne sichtbar wird.

Nur Langstreckenflugzeuge sind mit Vorrichtungen zum Treibstoffnotablass ausgerüstet. (Foto: DNA)

WIRBELSCHLEPPEN

Jedes Flugzeug hinterlässt auf seiner Flugbahn zwei gegenläufige Luftwirbel, die man als Wirbelschleppe bezeichnet. Die Luftwirbel entstehen, weil infolge des Druckunterschieds zwischen Unter- und Oberseite der Auftrieb erzeugenden Tragflächen an deren Enden eine Umströmung von unten nach oben erfolgt.

Bei ausgefahrenen Landeklappen verstärkt sich die Intensität der hinter dem Flugzeug verbleibenden schlauchartigen Wirbel.

Im Normalfall lösen sich Wirbelschleppen rasch auf. Bei Windstille und hohen Temperaturen können sie jedoch lange genug stabil bleiben, um auch außerhalb des Flugplatzgeländes den Boden zu erreichen. Mitunter ist die Energie der Wirbelschleppen dann noch so groß, dass es zur Loslösung von Dachziegeln kommt.

Für Schäden, die durch Wirbelschleppen verursacht wurden, haftet der Halter der Maschine. Flughäfen und Flugsicherung sind bei der Ermittlung des in Frage kommenden Luftfahrzeugs behilflich.

Grafische Darstellung von Wirbelschleppen (Quelle: DLR)

BLUE ICE

Flugzeugemissionen sind üblicherweise gasförmig. Hin und wieder wird jedoch über Flugzeug-"Emissionen" berichtet, die als Eisklumpen zur Erde fallen. Was die Fachleute als "Blue Ice" bezeichnen, kann auch mit anderen Farben durchsetzt sein, denn es handelt sich um gefrorenes Abwasser aus Flugzeugtoiletten. Die Blaufärbung wird durch das zugesetzte Desinfektionsmittel verursacht.

Flugzeugtoiletten bilden geschlossene Systeme, die nur von außen geöffnet werden können. Im Flug sind die Ablassventile verschlossen. Die Dichtungen werden regelmäßig überprüft und ausgetauscht. Dennoch kann es vorkommen, dass eine Dichtung, die am Boden einwandfrei funktioniert, in Reiseflughöhe nicht mehr hält, was ihr Name verspricht. Dort ist der Kabinendruck deutlich höher als der äußere Luftdruck.

Geringe Flüssigkeitsmengen können dann Tropfen für Tropfen nach außen dringen. In der kalten Umgebungsluft frieren sie am Flugzeugrumpf fest. Mit der Zeit bildet sich ein größerer Eisklumpen, der sich beim Eintritt des Flugzeuges in wärmere Luftschichten vom Rumpf löst und zur Erde fällt.

Für einen Schaden, der durch Blue Ice entstanden ist, haftet die Fluggesellschaft. Die Flugsicherung kann bei der Ermittlung des verursachenden Flugzeuges helfen. Hierzu ist allerdings die genaue Kenntnis des Zeitpunktes des Überfluges erforderlich.

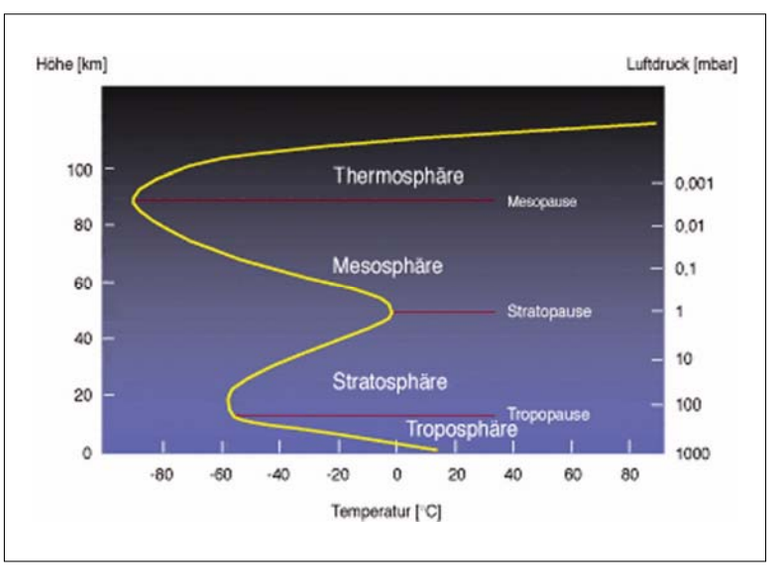
KLIMA

Klima kennt keine Grenzen. Der Schutz des Klimas ist eine globale Herausforderung. Die Frage, in welchem Maß durch menschliche Aktivitäten verursachte Emissionen klimarelevanter Spurengase das Weltklima beeinflussen, ist in vielen Ländern Gegenstand intensiver Forschung.

Aufgrund der Ergebnisse der TRADEOFF-Studie, in der sich das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) gemeinsam mit Forschungsinstituten aus Norwegen, Frankreich, Großbritannien, Italien und Griechenland mit der Klimawirkung des Luftverkehrs auseinandergesetzt hat, lässt sich sagen, dass diese in wichtigen Bereichen deutlich überschätzt wurde. Dies gilt insbesondere für die Prognosen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) von 1992 bzw. 1999, die bisher als der aktuellste Wissensstand galten.

ATMOSPHÄRE UND KLIMA – DIE WICHTIGSTEN BEGRIFFE

Nachfolgend werden die wichtigsten Begriffe aus dem Bereich Atmosphäre und Klima erklärt und der aktuelle Kenntnisstand zur Bedeutung der Luftverkehrsemissionen dargestellt.



Atmosphärenschichten und vertikaler Temperaturverlauf (Quelle: DLR)

Atmosphäre

Unsere Atemluft besteht aus Stickstoff (N_2, ca. 78%) und Sauerstoff (O_2, ca. 21%) sowie zahlreichen sogenannten Spurengasen, die jeweils nur in geringer Konzentration vorkommen (zusammen ca. 1%). Die gesamte unsere Erde umgebende Lufthülle nennt man Atmosphäre. Diese wird in Schichten eingeteilt, die – von unten nach oben – als Troposphäre, Stratosphäre, Mesosphäre und Thermosphäre bezeichnet werden. Die Grenzen zwischen diesen Schichten sind jeweils durch einen Vorzeichenwechsel des vertikalen Temperaturverlaufs gekennzeichnet. Die Troposphäre ist die Wetterküche der Atmosphäre. Da die Temperatur mit zunehmender Höhe rasch absinkt – je 1.000 Meter um sechs bis sieben Grad – und die in Bodennähe erwärmte Luft aufsteigt, findet in der untersten Atmosphärenschicht eine ausgeprägte vertikale Durchmischung statt. Weltumspannende Windsysteme sorgen für die horizontale Durchmischung. In die Troposphäre eingebrachte Schadstoffe werden in der Regel innerhalb kurzer Zeit vom Regen ausgewaschen. Dadurch beschränkt sich die Verweildauer der Schadstoffe in dieser Atmosphärenschicht meist auf wenige Tage.

Zwischen Troposphäre und Stratosphäre erreicht die Temperatur bei minus 50 bis minus 60 °C ein Minimum. Diese Zone relativ konstanter Temperatur nennt man Tropopause. Die Höhe der Tropopause schwankt mit der Jahreszeit. Im Mittel liegt sie bei 8 km über den Polen und 16 km über den Tropen. In mittleren geographischen Breiten beträgt die Tropopausenhöhe 10 bis 12 km. In der Stratosphäre steigt die Temperatur aufgrund der Absorption ultravioletter Strahlung durch das stratosphärische Ozon mit zunehmender Höhe wieder an. Die Obergrenze der Stratosphäre ist erneut durch eine Umkehr des vertikalen Temperaturverlaufs gekennzeichnet. Den sich anschließenden Etagen der Lufthülle, Mesosphäre (50–90 km) und Thermosphäre (über 90 km), wird kein Einfluss auf das Klima beigemessen.

Klima und Klimatologie

Unter dem Begriff Klima versteht man das in einem bestimmten Gebiet über einen längeren Zeitraum betrachtete durchschnittliche Wetter. Das Klima wird durch verschiedenste, sehr komplexe Einflüsse bestimmt und hat sich im Laufe der Erdgeschichte häufig geändert. Es gab Eiszeiten mit wesentlich niedrigeren Durchschnittstemperaturen als heute, Warmzeiten mit wesentlich höheren Temperaturen, und es gab Zeiten gemäßigter Temperaturen, wie wir sie heute erleben.

Die Wissenschaftler versuchen, die Einflüsse auf das Erdklima in sog. Klimamodellen möglichst exakt abzubilden. Diese Modelle sind naturgemäß sehr kompliziert und noch längst sind nicht alle Wirkzusammenhänge hinreichend beschrieben worden.

Ziel der Klimatologie ist es, aus den Klimamodellen realistische Szenarien abzuleiten, um Aussagen über die zukünftig mögliche Entwicklung des Erdklimas zu gewinnen. Je weiter der Prognosehorizont solcher Aussagen in der Zukunft liegt, desto größer ist die in den Prognosen enthaltene Unsicherheit.

Natürlicher Treibhauseffekt

Der Strahlungshaushalt der Erde ist gekennzeichnet durch die relativ kurzwellige Sonneneinstrahlung mit Maximum im Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts, die bei Auftreffen auf die Erdoberfläche in Wärme umgesetzt und von dort als langwellige Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) in das Weltall zurückgestrahlt wird. Wegen der Anwesenheit klimawirksamer Spurengase in der Erdatmosphäre, die die kurzwellige Sonneneinstrahlung durchlassen, die von der Erdoberfläche abgegebene langwellige Wärmestrahlung jedoch absorbieren, beträgt die globale mittlere Temperatur in Erdbodennähe anstatt minus 18°C plus 15°C. Dieser natürliche Treibhauseffekt ist Voraussetzung für das Leben auf der Erde.

Anthropogener Treibhauseffekt

Da durch Verbrennung fossiler Energieträger, aber auch durch Freisetzung chemischer Produkte sowie durch die landwirtschaftliche Produktion, Abfalldeponien, großflächige Brandrodungen etc. verstärkt klimawirksame Spurengase freigesetzt werden, die sich in der Atmosphäre anreichern, wird mit einer künstlichen Verstärkung des natürlichen Treibhauseffektes gerechnet. Die Klimaforschung schätzt den Beitrag der einzelnen Treibhausgase zu diesem anthropogenen, d.h. durch menschliche Aktivitäten verursachten, zusätzlichen Treibhauseffekt wie folgt ab: Kohlendioxid (CO_2) 58 %, Methan (CH_4) 17 %, Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) 10%, Stickoxide (NO_x) 5% und Sonstige 10%.[6]

Der Zwischenstaatliche Ausschuss über Klimaänderungen IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) rechnet derzeit – bei Unterlassung von Gegenmaßnahmen – bis zum Jahr 2050 mit einem Anstieg der mittleren globalen bodennahen Lufttemperatur um 0,8 bis 2,6 Grad Celsius, ausgehend von 1990.

Noch im Jahr 1990 war man von einem wesentlich stärkeren Temperaturanstieg ausgegangen. Begründet wird die Korrektur der eigenen Prognose mit der Weiterentwicklung der eingesetzten Rechenmodelle.

Das IPCC berechnete für das Jahr 1992 den Anteil des Luftverkehrs am anthropogenen Treibhauseffekt mit 3,5% (0,049 W m^{-2}). Auf nahezu den gleichen Wert (0,048 W m^{-2}) kamen Forscher des DLR und weiterer Institute in der TRADEOFF 2004 - Studie, allerdings für das Jahr 2000. Dies bedeutet, dass der Einfluss des Luftverkehrs vom IPCC im Jahre 1992 überschätzt wurde, da der Luftverkehr von 1992 bis 2000 und die damit einhergehenden Klimawirkungen zugenommen haben. Der im Jahre 2007 veröffentlichte vierte IPCC-Report enthält keine spezifischen Aussagen zum Luftverkehr.

Blick auf die Erde aus dem Weltraum
(Quelle: DLR)

Ozon

Ozon ist ein aus drei Sauerstoffatomen bestehendes Molekül (O_3). Die Hauptmenge des atmosphärischen Ozons befindet sich in der Stratosphäre, wo es durch die photolytische Spaltung von Sauerstoff (O_2) gebildet wird. Die Ozonmenge in der Troposphäre repräsentiert dagegen nur etwa ein Zehntel der atmosphärischen Ozongesamtsäule. Hauptquelle des troposphärischen Ozons ist die photochemische Bildung durch Kohlenwasserstoffe (C_xH_y) und Stickoxide (NO_x).

Während überhöhte Ozonkonzentrationen in der Troposphäre negative Auswirkungen haben (Verstärkung des Treibhauseffektes sowie in Bodennähe Schleimhautreizungen beim Menschen und Schädigung von Pflanzen), wirkt es in der Stratosphäre als lebensnotwendiger Filter für die energiereiche UV-B-Strahlung der Sonne. Der Bereich der Stratosphäre, in dem der größte Teil des atmosphärischen Ozons enthalten ist, wird als Ozonschicht bezeichnet. Sie liegt etwa zwischen 20 und 30 Kilometer Höhe. In ihr wird der größte Teil der UV-B-Strahlung absorbiert und in Wärme umgewandelt.

Verringerungen der Ozongesamtsäulendichte haben Intensitätszunahmen der zellschädigenden UV-B-Strahlung am Erdboden zur Folge. 1985 wurde entdeckt, dass über der Antarktis während der Monate September und Oktober signifikante Abnahmen der Ozonkonzentration stattfinden. Dieses jährlich wiederkehrende »Ozonloch« wird durch Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) verursacht und ist nicht, wie ursprünglich angenommen, mit dem Luftverkehr in Verbindung zu bringen.

BEDEUTUNG DER LUFTVERKEHRSEMISSIONEN

Kohlendioxid (CO_2)

Kohlendioxid ist das bedeutendste anthropogene Treibhausgas. Es wird in großer Menge bei Verbrennung der aus pflanzlichen und tierischen Ablagerungen entstandenen fossilen Energieträger freigesetzt. Seit Beginn der Industrialisierung hat sich die CO_2-Konzentration in der Atmosphäre um rund 35% erhöht. Da Kohlendioxid ein langlebiges Spurengas ist, verteilt es sich unabhängig vom Ort der Freisetzung relativ gleichmäßig über die Atmosphäre.

Das Klimawirkungspotenzial von CO_2 ist von Umgebungsbedingungen wie Ausbringungshöhe und Temperatur unabhängig. In Deutschland stellen Kraftwerke mit einem Anteil von 43 % die größte anthropogene Kohlendioxid-Quelle dar. Allein das Braunkohlenkraftwerk Jänschwalde in Brandenburg emittiert mit 23 Mio. t CO_2 jährlich nahezu die Hälfte des vom gesamten innereuropäischen Luftverkehr ausgestoßenen CO_2 (56 Mio. t jährlich). Weitere wesentliche Emittenten sind die Industrie (21%), Haushalte (13%) und der Straßenverkehr (18%).

Dem Luftverkehr werden in Deutschland ebenso wie im internationalen Maßstab ca. zwei Prozent der anthropogenen CO_2-Emissionen zugerechnet.

Kondensstreifen

Der Energiehaushalt der Erdatmosphäre wird stark von Wolken beeinflusst. Im Allgemeinen reflektieren Wolken die einfallende Sonnenstrahlung, so dass sie kühlend wirken. Andererseits reflektieren sie langwellige Strahlung zur Erde zurück, so dass sie die Erdoberfläche erwärmen. Welcher dieser Effekte letztendlich überwiegt, ist auch von der optischen Dicke der Wolken abhängig.

Kondensstreifen sind linienförmige, von Flugzeugen verursachte Zirruswolken. Nur unter bestimmten atmosphärischen Voraussetzungen werden die Wasserdampfemissionen eines Flugtriebwerkes als Kondensstreifen sichtbar. Sie bilden sich in einer ausreichend kalten Atmosphäre. Die genaue Grenztemperatur, unterhalb der sich Kondensstreifen bilden, hängt von der Flughöhe, der Umgebungsfeuchte, dem Treibstoff und dem Wirkungsgrad des Flugzeugs ab. Sie liegt zwischen –35 und –55 °C.

In trockener Luft lösen sich die Kondensstreifen rasch wieder auf. In ausreichend feuchter Luft entstehen persistente, d.h. langlebige Kondensstreifen, die wenige Minuten bis Stunden am Himmel verbleiben. 10 bis 20% aller Flüge finden in einer derart feuchten Atmosphäre statt. Aus einer sechsjährigen Beobachtungsreihe hat das DLR die Fläche und optische Dicke von linienförmigen Kondensstreifen über Europa bestimmt. Über Europa bedecken linienförmige Kondensstreifen im Jahresmittel am Tage etwa 0,7 % des Himmels. Nachts, wenn Kondensstreifen stärker erwärmend wirken, ist die Bedeckung ein Drittel dieses Wertes.

Bezüglich der Quantifizierung des Klimaeffektes bestanden bisher große Unsicherheiten, da zu wenig gesicherte Informationen zum mittleren Bedeckungsgrad und zur mittleren optischen Dicke der Kondensstreifen vorlagen. Hier hat die TRADEOFF-Studie etwas Klarheit gebracht: Die Klimawirkung der Kondensstreifen liegt um den Faktor drei bis vier unterhalb bisheriger Annahmen des IPCC.

Zirruswolken (Contrail-Zirren)

Lösen sich Kondensstreifen nicht innerhalb weniger Minuten auf, so können bei hinreichend mit Feuchtigkeit gesättigter Atmosphäre aus ihnen Zirruswolken entstehen. Diese Zirren sind kaum noch von natürlich auftretenden Zirruswolken zu unterscheiden. In bisherigen Untersuchungen des IPCC war es nicht möglich, den Einfluss der Zirrusbewölkung auf das Klima eindeutig zu bestimmen. Die TRADEOFF-Studie [7] konnte zumindest einen Maximalwert identifizieren, der mit großer Wahrscheinlichkeit nicht überschritten wird. Bisher ist es jedoch noch nicht gelungen, eine hinreichend genaue Abschätzung des wirklichen Einflusses der Contrail-Zirren abzugeben. Dies wird möglicherweise erst nach Vorliegen der Messergebnisse einer neuen Generation von Meteosat-Wettersatelliten in einigen Jahren möglich sein.

Stickoxide (NO_x)

Die vom Luftverkehr emittierten Stickoxide reagieren mit anderen chemischen Verbindungen in der Atmosphäre. Diese Reaktionen sind abhängig davon, in welcher Höhe die Emissionen erfolgen und werden in den Berechnungen des IPCC sowie bei TRADEOFF zur Ermittlung der Klimawirksamkeit berücksichtigt. Sie stimulieren die Produktion von Ozon, die zur Erwärmung beiträgt, und bewirken gleichzeitig einen abkühlenden Methanabbau.

Stickoxide wirken also erwärmend und abkühlend zugleich und der Nettoeffekt der Stickoxidemissionen scheint insgesamt eher gering zu sein. Zudem haben Messungen des EU-Projekts MOZAIC gezeigt, dass in den Höhen, in denen Flugzeuge verkehren, etwa genau so viel Stickoxid von bodengebundenen Emittenten zu finden ist, wie von Flugzeugen emittiert wird.

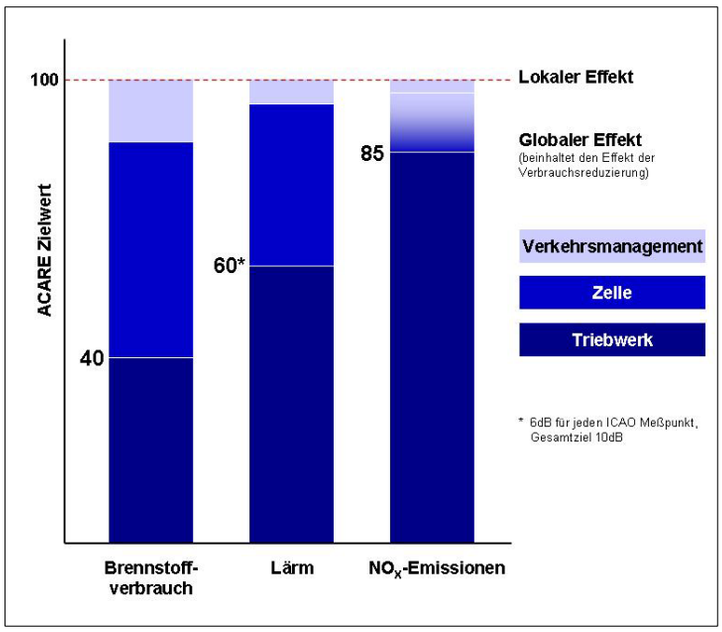
AUSBLICK AUF DIE WEITERE ENTWICKLUNG

Verkehrswachstum und Emissionen lassen sich entkoppeln

Überall dort, wo das Verkehrsaufkommen anwächst, steigt zunächst auch der Energieverbrauch. Bei der Nutzung fossiler Brennstoffe, die bisher bei allen Verkehrsträgern üblich ist und auf absehbare Zeit bleiben wird, werden Treibhausgase freigesetzt. Die Hersteller von Flugzeugtriebwerken arbeiten intensiv daran, den Treibstoffverbrauch ihrer Aggregate zu reduzieren, um das Ansteigen der Schadstoffemissionen zu bremsen und die Emissionen so weit wie möglich vom Verkehrswachstum zu entkoppeln.

In der Vergangenheit konnten bereits spürbare Erfolge erzielt werden. So stieg z. B. bei der Lufthansa durch die ständige Modernisierung des Fluggeräts der Treibstoffverbrauch zwischen 1991 und 2005 um 116%, obwohl das Unternehmen in diesem Zeitraum ein Verkehrswachstum von 218% verzeichnete.

Emissionsmessung bei einem vierstrahligen Jet
(Foto: DLR)



Grafik ACARE-Umweltziele und Einzelbeiträge dazu (Quelle: BMWA)

Weitere Verbesserungen sind absehbar

Für die Zukunft kann von einer weiteren Emissionsreduzierung ausgegangen werden. Das Advisory Council for Aeronautical Research in Europe (ACARE) hat als realistisches Ziel bis 2020 eine Reduktion des spezifischen Brennstoffverbrauches im Luftverkehr um 50% benannt.

Die damit zusammenhängenden spezifischen CO_2-Emissionen sollen ebenfalls um 50% verringert werden, die NO_x-Emissionen sogar um 80%. Die gleichen Ziele gelten auch für das aktuelle nationale Luftfahrtforschungsprogramm der Bundesregierung. Allerdings werden die geplanten Einsparungen nicht mehr allein durch Verbesserungen an den Triebwerken erreichbar sein.

Auch das Optimierungspotenzial an der Flugzeugzelle und bei den Flugverfahren soll zukünftig verstärkt genutzt werden.

Die Luftverkehrswirtschaft wird auch in Zukunft große Anstrengungen unternehmen, die Emissionen der Flugzeuge so weit wie möglich zu reduzieren. Dazu wird sie weiterhin einen hohen Anteil an den Forschungsausgaben selbst finanzieren. Dieser Eigenanteil liegt z.B. beim Luftfahrt-Forschungsprogramm der Bundesregierung bei 60% der eingesetzten Forschungsmittel.

Die deutschen Luftfahrtunternehmen geben 17% ihrer Umsatzerlöse für industrielle Forschung aus – ein Spitzenwert. Eine eigenfinanzierte, intensive Forschung der Luftfahrtbranche setzt allerdings auch in Zukunft voraus, dass ihre finanzielle Leistungskraft erhalten bleibt. Auch aus diesem Grunde lehnen die deutschen Flughäfen und die gesamte Luftverkehrsbranche nationale Alleingänge bei der Einführung einer Kerosinsteuer oder anderer finanzieller Belastungen strikt ab. Ein solches Vorgehen würde zu einer gravierenden Benachteiligung der deutschen Luftverkehrsunternehmen führen und der Umwelt mehr schaden als nützen.

GEWÄSSERSCHUTZ

WASSER - EIN WERTVOLLES GUT

Wasser ist der Rohstoff, den jedes Lebewesen täglich benötigt, um gesund leben zu können. Da auch die Ressource Wasser nicht unbegrenzt zur Verfügung steht, ist der sparsame Umgang in allen Bereichen notwendig. Der sparsame Umgang mit Wasser gehört auch zu den Umweltzielen, die sich die deutschen Flughäfen setzen.

Teich am Flughafen Nürnberg (Foto: Flughafen Nürnberg)

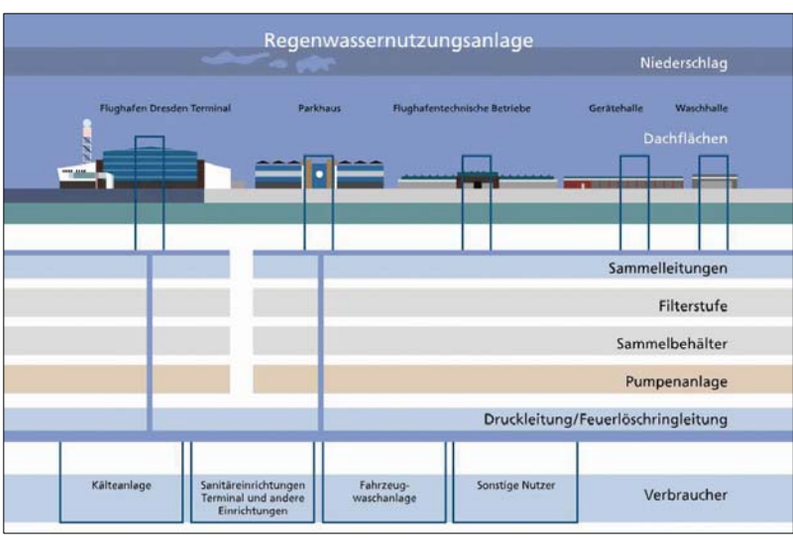
UMWELTFREUNDLICHER WINTERDIENST

Auch im Winter muss der Betrieb an den Flugplätzen aufrechterhalten werden. Um die Betriebsflächen und die Flugzeuge von Eis zu befreien werden biologisch abbaubare Enteisungsmittel verwendet. Die Konzentration dieser Enteisungsmittel wird am Abfluss zu umliegenden Gewässern beobachtet, um das Wasser bei Grenzwertüberschreitung einer Reinigung zu unterziehen. Dies ist notwendig, da sich der sauerstoffzehrende Abbauvorgang der Enteisungsmittel negativ auf das Gewässer auswirken würde. Um Stoffkreisläufe zu schließen, ist man außerdem bemüht, die Abwässer mit hohen Konzentrationen aufzuarbeiten, um auf diesem Weg Enteisungsmittel wiederzugewinnen.

Seit Beginn der Enteisungsperiode 1996/97 wird mit Enteisungsmitteln belastetes Regenwasser von Teilflächen des Flughafens Berlin-Schönefeld in einer Wurzelraumkläranlage behandelt. Bei diesem Verfahren nutzt man gezielt die Fähigkeit eines physikalisch, chemisch und biologisch aktiven Bodenkörpers, im Abwasser enthaltene Laststoffe abzubauen bzw. zu binden. Schilfbeete auf einer Fläche von ca. 1,2 Hektar bilden das Kernstück der Anlage.

REGENWASSERNUTZUNG

Eine Möglichkeit, den Trinkwasserverbrauch am Flughafen entscheidend zu senken, ist die Regenwassernutzung. An verschiedenen Flughäfen wurden beim Neubau von Gebäuden oder Flugbetriebsflächen Regenwassernutzungsanlagen integriert. Somit können einerseits gesetzliche und technische Anforderungen an die Rückhaltung von Niederschlagswasser erfüllt und zum anderen kann Brauchwasser für verschiedenste Systeme des Flughafens zur Verfügung gestellt werden - ein wirksamer Beitrag zum ressourcenschonenden Umgang mit Wasser.



Regenwassernutzungsanlage auf dem Flughafen Dresden

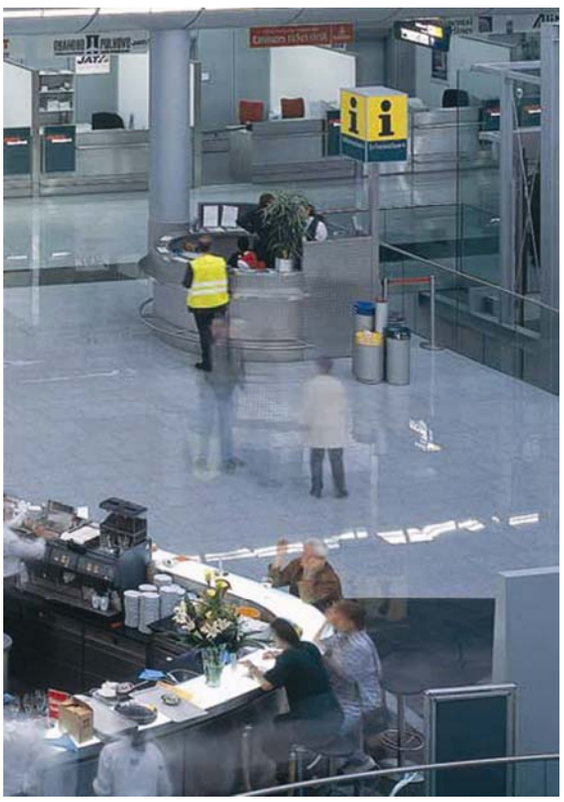
ABFALLENTSORGUNG

GETRENNTE ERFASSUNG UND SORTIERUNG

Passagieren und Besuchern wird die umweltfreundliche Entsorgung der Abfälle durch getrennte Sammelbehälter im Terminal ermöglicht. So stehen entweder Behälter zur getrennten Erfassung von Papier, Glas und Verpackungen zur Verfügung oder der Müll wird nachsortiert. Auch die bei der Reinigung der Flugzeuge anfallende Abfallmenge wird getrennt erfasst und anschließend der Verwertung bzw. Entsorgung zugeführt.

Auf den Flughäfen anfallende Bauabfälle werden ebenfalls getrennt erfasst und den für die Verwertung/Entsorgung Beauftragten übergeben.

"Vermeiden und Vermindern vor Verwerten und Entsorgen" - auf diesen vier Säulen basieren die Abfallkonzepte der deutschen Flughäfen. Seit dem Jahr 1996 ist diese Zielhierarchie im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) definiert. Die Umsetzung dieses Konzepts beginnt im Büro und setzt sich durch alle Tätigkeitsfelder am Flughafen fort.



Café im Flughafen Düsseldorf
(Foto: Flughafen Düsseldorf)

QUELLENVERZEICHNIS

(1) Annual European Community greenhouse gas inventory report 2005, Technical Report No. 4/2005, European Environment Agency

(2) ADV-Berechnungen

(3) Deutsche Lufthansa AG, Umweltbroschüre „Balance 2006“, S. U4

(4) Deutsche Lufthansa AG, Umweltbroschüre „Balance 2004, Daten und Fakten“, S. 24 und S. 45

(5) Aus: Gutachten zu den CO_2-Emissionen des Verkehrs von BVU, ifo, ITP und PLANCO, Kap. 5 BVWP, S. 323, 338

(6) Berner und Streif (Hrsg., 2000), Klimafakten, Stuttgart

(7) Sausen et al.: Aviation radiative forcing in 2000: An update on IPCC (1999), Meteorologische Zeitschrift, Vol. 14, No. 4, 555-561 (August 2005)

IMPRESSUM

Herausgeber

Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen (ADV)

Gertraudenstrasse 20
10178 Berlin
Telefon: (030) 31 01 18 – 0
Telefax: (030) 31 01 18 – 90

Inhalt, Text und Redaktion

Martin Bunkowski, Ralf Wagner (Ausgabe 2007)
Martin Bunkowski (Ausgabe 2003)
Mathias Brendle (Ausgabe 1996)

Titelmotive

Flughafen München GmbH
Flughafen Hannover GmbH
Flughafen Hamburg GmbH
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
Deutsche Lufthansa AG
Flughafen Stuttgart GmbH

Konzeption und Satz

Spiegel Grafik Design, Ostfildern/Ruit
Antje Hanisch Grafik Design, Neu Isenburg

Druck

printjob24, Berlin

1. Auflage 11/96: 4.000 Exemplare
2. Auflage 07/97: 2.000 Exemplare
3. Auflage 04/03: 2.000 Exemplare
4. Auflage 06/07: 5.000 Exemplare

Auf Anfrage ist zu der Broschüre eine englische Übersetzung erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

Arbeitsgemeinschaft
Deutscher Verkehrsflughäfen