

## Mögliche Auswirkungen der Flugzeugabgase auf Mensch und Umwelt

# Flugzeuge über Zürich – was kommt von oben runter?

*Nicht nur der Fluglärm gibt zu reden, immer wieder fragen sich Anrainer und Menschen, die neu oder vermehrt überflogen werden: «Gibt es noch andere Auswirkungen als den Lärm? Wie sieht es mit den Luftschadstoffen aus? Wird vielleicht direkt über mir Kerosin abgelassen oder werden gar Flugzeugtoiletten entleert?» Riecht es dann plötzlich intensiv nach Diesel oder werden undefinierbare schwarze Flecken auf Pflanzen oder Fenstersimsen entdeckt, so denkt der eine oder andere schnell: «Das waren die Flugzeuge!» Aber waren sie es wirklich?*

Der Flughafen ist zweifellos ein bedeutender Emittent von Luftschadstoffen wie Stickoxiden und Feinstaub und kann damit direkt zur Ozonbildung beitragen. Die Luftqualität der Region hängt jedoch vom gesamten Schadstoffausstoss von Flugzeugen, Kraftfahrzeugen und regionalen Feuerungen ab, die sich gegenseitig überlagern, sowie von den klimatischen Bedingungen.

Das Jahr 2003 wurde von verschiedenen langandauernden Perioden mit teils sehr hohen Schadstoffgehalten geprägt. Sowohl die Belastung durch Ozon wäh-

rend des Hitzesommers als auch die Belastungen durch Feinstaub und Stickoxide während der Heizperioden lagen rund 10–15 Prozent höher als in den Vorjahren. Die Feinstaub- und Stickoxidkonzentrationen wurden stark durch die langanhaltenden Inversionslagen im Februar, März und Dezember beeinflusst. Dies überlagerte stark die Auswirkungen der Flugbewegungen.

## Wieviel Stickoxide stammen von den Flugzeugen?

Bei der Verbrennung von Treibstoffen wie Kerosin im Flugverkehr oder Benzin und Diesel im Strassenverkehr entstehen Stickoxide (NO<sub>x</sub>), welche unter anderem als NO<sub>2</sub>-Immissionen (Stickstoffdioxid) in der Umgebung gemessen werden können (siehe Tabelle Seite 24). Über den Daumen gepeilt gilt: Je mehr Flugbewegungen zu verzeichnen sind, desto mehr NO<sub>x</sub>-Emissionen und Immissionen werden gemessen.

Seit Beginn des Monitoring im Jahr 1998 am Flughafen sind die Konzentra-

### Inhaltliche Verantwortung:

**Roy Eugster**  
 Abteilung Lufthygiene  
 AWEL Amt für  
 Abfall, Wasser, Energie und Luft  
 8090 Zürich  
 Telefon 043 259 43 57  
 Fax 043 259 51 78  
 roy.eugster@bd.zh.ch  
 www.luft.zh.ch

und

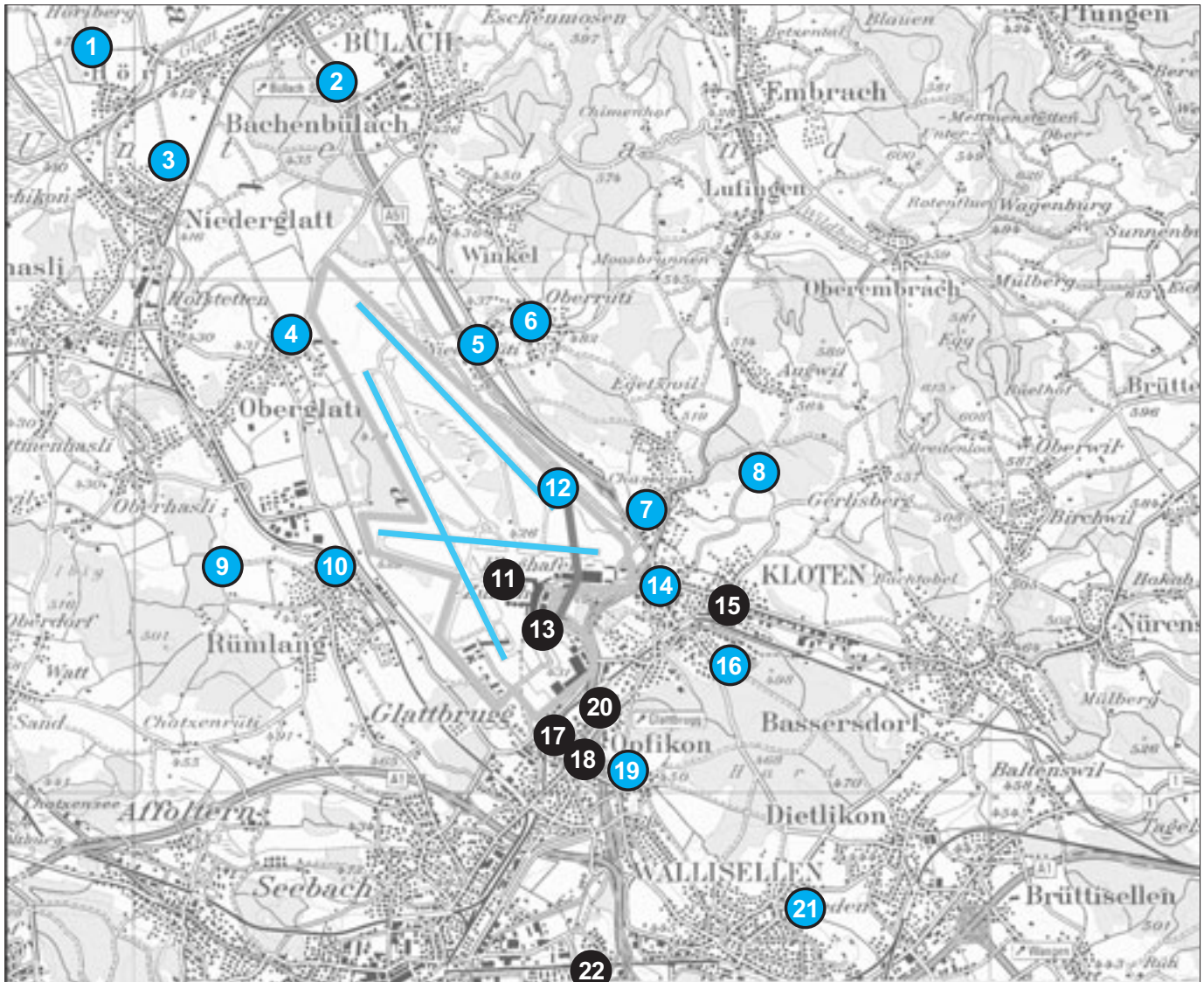
**Emanuel Fleuti**  
 Zurich Unique Airport  
 Abteilung Umweltschutz  
 8058 Zürich  
 Telefon 043 816 22 11  
 emanuel.fleuti@uniqueairport.com  
 www.uniqueairport.com



Wohin gehen die Flugzeug-Abgase?

Quelle: Unique Airport, Abt. Umweltschutz

# LUFT



Ein dichtes Netz von Messstationen rings um den Flughafen erlaubt es, Immissionen von Stickstoffdioxid zu verfolgen und so eine mögliche Mehrbelastung der Bevölkerung durch den Flughafen zu beurteilen (Messpunkte und Monitoring, siehe Tabelle und Kästen rechts). An schwarz markierten Messstellen wird der  $\text{NO}_2$ -Grenzwert überschritten.

Quelle: reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA045961)

tionen von Stickstoffdioxid an der Messstation Airside (Nr. 12) um rund 24 % und an der Station Landside (Nr. 13) um rund 10 % gesunken. Dies passt zu der Beobachtung, dass in diesen Jahren die Flugbewegungen rückläufig waren. Besonders von 2001 auf 2002 wird dieser Zusammenhang gut sichtbar.

Obwohl die Flugbewegungen von 2002 auf 2003 nicht zugenommen haben (siehe Tabelle Seite 24), wiesen die Passivsammler-Messstandorte der Region Flughafen in diesem Zeitraum jedoch durchschnittlich eine Erhöhung der Stickstoffdioxid-Konzentration um 10 Prozent auf. Dies lag an den klimatischen Besonderheiten von 2003. Die langanhaltenden Inversionslagen im Februar und teilweise noch im März und Dezem-

ber 2003 bewirkten, dass die Monatsmittelwerte, verglichen mit der gleichen Zeitperiode im Jahr 2002, gar zwischen 30 % und 50 % höher lagen. Diese deutlichen Mehrbelastungen auf einzelne Monate beeinflussten den Jahresmittelwert entsprechend stark.

Die gemessenen Stickoxidkonzentrationen können neben der Anzahl Flugbewegungen oder den klimatischen Verhältnissen auch von weiteren Faktoren beeinflusst werden. Die Wertveränderungen für 2003 in der Tabelle auf Seite 24 zeigen, dass sogar kleinräumig auf dem Gelände des Flughafens nahe zusammenliegende Messstandorte unterschiedliche Entwicklungen durchmachen können. Im Gegensatz zum Messpunkt «Airside» (12) ist die Schadstoffbelas-

tung bei der Messstation «Landside» (13), welche die Schadstoffbelastung auf der Flughafenvorfahrt (Taxis, Busse, Parkhäuser) misst, um fünf Prozent zurückgegangen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Bautätigkeit in diesem Bereich nicht mehr so intensiv war wie 2002.

### Emission ist nicht gleich Immission

Für die vom Südanflug betroffene Region (Wallisellen, Schwamendingen) kann noch keine konkrete Aussage gemacht werden, da zu wenig Werte vorliegen. Vergleiche mit Messungen während der Sperrung der Hauptstartpiste 10/28 vom Mai bis Juli 2000 zeigten jedoch, dass an den Messstandorten auf dem Gemeindegebiet von Opfikon während der Zeit der vermehrten Überflüge keine Zunahme

Standort	Messart	Grenzwertüberschreitung
1. Höri-Pflanzgarten	PS	
2. Bachenbülach	PS	
3. Niederglatt	PS	
4. Oberglatt	PS	
5. Niederrüti	PS	
6. Oberrüti	PS	
7. Kloten-Chaseren	PS	
8. Kloten-Chloos	PS	
9. Rümlang-Müliberg	PS	
10. Rümlang-Nord	PS	
11. Flughafen-Terminal A	K	+13 %
12. Flughafen-Airside	K	
13. Flughafen-Landside	K	+8 %
14. Kloten-Wilder Mann	PS	
15. Kloten-Bassersdorferstr.	PS	+13 %
16. Kloten-Buchhalden	PS	
17. Opfikon-Soldbachstr.	PS	+15 %
18. Opfikon-Kreuzung	PS	+83 %
19. Opfikon-Chrüterhüsli	PS	
20. Opfikon-Balsberg	K/P	+13 % (2002)
21. Wallisellen-Dietlikonerstr.	K	
22. Zürich-Schwamendingen	K/P	+17 %

PS = Passivsammler (siehe Kasten rechts)

K = kontinuierliche Messungen

P = wechselt Standort periodisch mit anderem Messort

Messstandorte in der Region Flughafen und relative Überschreitung des Immissionsgrenzwerts NO<sub>2</sub> von 30 µg/m<sup>3</sup> (2003).

der NO<sub>2</sub>-Konzentration registriert wurde.

Von den 22 Standorten im NO<sub>2</sub>-Monitoring-Netz liegen heute lediglich noch sieben Standorte über dem Grenzwert. Und diese sind, Terminal A ausgenom-

### Das Stickstoff-Monitoring

Die Abteilung Lufthygiene des AWEL betreut im Auftrag der Flughafen Zürich AG seit 1998 zwei Messstationen auf dem Flughafengelände, nämlich die Stationen «Airside» auf dem Flugfeld und «Landside» bei der Flughafenvorfahrt (Taxis, Busse, Parkhäuser). Seit 2001 werden als Folge der Baukonzession «Midfield» des UVEK vom 5. November 1999 zusätzlich eine Station auf dem Terminal A und 16 Stationen in den Anrainergemeinden unterhalten. Ostluft, die gemeinsame Luftüberwachung der Ostschweizer Kantone und des Fürstentums Liechtenstein, betreibt im gleichen Perimeter fünf Messstandorte, von denen zwei periodisch an wechselnden Standorten aufgestellt werden (siehe Tabelle und Karte links).

Die drei Stationen im Flughafen und drei in dessen näherer Umgebung messen die Schadstoffbelastungen kontinuierlich, während bei den anderen Standorten ausserhalb des Flughafens Passivsammler eingesetzt werden. Diese werden über eine bestimmte Zeitdauer der Luft exponiert. Der resultierende Messwert entspricht der mittleren Belastung an diesem Standort für die gewählte Messdauer.

Insgesamt geben somit sechs kontinuierlich arbeitende Messstationen und 16 Passivsammlerstandorte Auskunft über Stickstoffimmissionen im Umfeld des Flughafens.

men, klar durch den Strassenverkehr geprägt (siehe Tabelle neben Karte). Obwohl mehr Flugbewegungen einen höheren Ausstoss an Stickoxiden bedeuten, werden diese also nicht als Immissionen in der Anraineregion gemessen, sondern verteilen sich wohl grossräumig.

### Es stinkt. Wer war's?

Stickoxide kommen kaum in riechbaren Konzentrationen vor. Verbrennungsprodukte von Diesel und Kerosin können dagegen schon in winzigen Mengen als Geruch wahrgenommen werden. Geruchsbelästigungen können jedoch verschiedenste Ursachen haben. Nur unmittelbar beim Flughafen ist eine klare Zuordnung zum Flugbetrieb möglich. Im weiteren Flughafenumfeld kommt es rasch zu einer Überlagerung mit diversen ähnlich riechenden Stoffen aus der Verbrennung ähnlicher Produkte. Diese können von Lastwagenbetrieben, Holzfeuerungen und im Sommer sogar von Grillanzündprodukten stammen.

Gibt es denn einen Unterschied zwischen Abgasen von Flugzeugen und beispielsweise Lastwagen? Eine Untersuchung über Emissionen aus zivilen Flugzeugtriebwerken in Deutschland konnte trotz intensiven Bemühungen nicht nachweisen, welche Stoffe im Kerosin für den typischen «Flughafengeruch» verantwortlich sind.

Um die Ausbreitung von Triebwerksabgasen untersuchen zu können, bedient man sich beispielsweise sogenannter hochsiedender (ungiftiger) Alkane, welche in deutlich höheren Konzentrationen als in Automobilabgasen vorkommen. So wurde Undecan, eines dieser Alkane, als Leitsubstanz verwendet, um allfällige Einflüsse des Luftverkehrs auf die Luftqualität in der Umgebung des Flughafens festzustellen. Ergebnisse dieser Messungen zeigen, dass beispielsweise an der Frohbühlstrasse in Seebach (rund zwei Kilometer südsüdwestlich der Piste 16) mit Undecan-Messwerten von 0,42 µg/m<sup>3</sup> keine erhöhten Belastungen vorliegen. Zum Vergleich: Die Konzentration beträgt an der städtischen Stampfenbachstrasse 0,42 µg/m<sup>3</sup> und am Bahnhof Wiedikon 0,52 µg/m<sup>3</sup>. Der in Wiedikon leicht erhöhte Wert ist wahrscheinlich auf den dieselbetriebenen Strassenverkehr zurück zu führen. Die Emissionen aus dem Flugbetrieb üben also keinen massgeblichen Einfluss auf die Immissionssituation in Zürich-Seebach aus. Es ist kaum möglich, dass es dort nach Flughafen oder Kerosin riecht. In unmittelbarer Nachbarschaft des Flughafens – in wenigen hundert Metern Entfernung – treten jedoch tatsächlich erhöhte Konzentrationen und damit ein Flughafengeruch auf.

### Was ist Flugbenzin?

Kerosin – auch als Jet A-1, Flugpetrol oder Petroleum bezeichnet – ist ein Gemisch von Kohlenwasserstoffen (C9-C16) und enthält mehr als 500 Einzelsubstanzen. Die Zusammensetzung ist abhängig vom Rohöl, vom Raffinationsprozess und vom Mischungsverhältnis einzelner Raffinerieströme. Der Schwefelgehalt des Kerosins liegt bei 0,004-0,01 Gewichtsprozent (Grenzwert: 0,3), der Benzolgehalt unter 0,1 Gewichtsprozent. Dem Kerosin müssen weitere Additive beigegeben werden.

## Und ist es gefährlich?

Der Geruch kommt daher, dass beim Triebwerkzündungen und beim Rollen der Flugzeuge auf dem Flughafenareal das Kerosin im Gegensatz zum Flugbetrieb nicht vollständig verbrannt wird. Bei diesem unvollständigen Verbrennungsprozess entstehen sogenannte polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAH). Untersuchungen haben gezeigt, dass PAH Lungenkrebs auslösen können. Gibt es also ein erhöhtes Risiko rund um den Flughafen?

Die Immissionsmessungen in den Flughafenanliegergemeinden Opfikon, Kloten und Glattbrugg zeigen, dass die Konzentrationen der PAH (v. a. Benzo[a]pyren) in der Luft mit 0,03 bis 0,23 ng/m<sup>3</sup> etwas niedriger sind als diejenigen grössenmässig vergleichbarer europäischer Agglomerationen. Ist die Bevölkerung in dieser Region dem PAH lebenslang (rechnerisch 70 Jahre) ausgesetzt, so beträgt das Lungenkrebsrisiko ungefähr 0,006 %. D. h. von 100 000 Personen könnten in 70 Jahren 6 betroffen sein. Dieses Risiko ist natürlich nicht Null, man muss es jedoch relativieren.

In einzelnen Berufsgattungen ist bedingt durch die Exposition in den Produktionsprozessen das Lungenkrebsrisiko bis zu 1 %. Und verglichen mit Konzentrationen an anderen, städtisch geprägten Orten in der Schweiz sind diejenigen von Benzo[a]pyren in der Umgebung des Flughafens gar deutlich geringer. Am Löwenplatz in Luzern etwa wurden 0,73 ng/m<sup>3</sup> gemessen, am Kasernenhof in Zürich 0,50 ng/m<sup>3</sup>.

## Kerosinablass über unseren Köpfen?

In der Bevölkerung bestehen diffuse Ängste, durch die überfliegenden Flugzeuge von oben mit Kerosin eingenebelt zu werden, durch Kerosinablass, im Fachjargon Fuel Dumping genannt. Dieser ist jedoch eine Notmassnahme, welche nur selten vorkommt.

Muss ein Grossraumflugzeug wegen eines technischen Defektes sofort nach dem Start wieder landen, so muss es im Notverfahren Treibstoff ablassen, weil das Flugzeug noch schwerer ist, als für die Landung zugelassen (siehe Foto rechts oben). Dabei stellt sich die Frage,

## Flugbewegungen, NO<sub>x</sub>-Emissionen und NO<sub>2</sub>-Immissionen

Flugbewegungen Anzahl	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Linien- und Charterverkehr	251 424	270 106	290 867	274 054	247 720	247 854
Privatluftverkehr/übriger Verkehr	36 461	36 076	34 755	35 176	34 434	21 538
Total	287 885	306 182	325 622	309 230	282 154	269 392
Quelle: Unique - Abt. Umweltschutz, 30.01.04						
Emissionen In Tonnen NO <sub>x</sub>	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Flugbetrieb	1267	1399	1508	1412	1211	k.A.
Abfertigung	149	155	175	156	144	k.A.
Infrastruktur	55	56	129	150	97	k.A.
Landseitiger Verkehr	52	49	49	45	38	k.A.
Total	1523	1660	1860	1763	1490	k.A.
Quelle: Unique - Abt. Umweltschutz, 30.01.04 k.A. = keine Angaben zum Zeitpunkt der Verfassung des Artikels						
NO <sub>2</sub> -Immissionen µg/m <sup>3</sup>	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Messstandort Airside	37	34	39	34	28	+ 0 %
Messstandort Landside		35	38	38	34	- 5 %
Messstandort Terminal A				40	38	+ 5 %
Quelle: AWEL - Abt. Lufthygiene (*) inclusive Immissionen aus Bauaktivität vom Dock Midfield und vom Airside Center (***) Zahlen noch nicht vollständig, prozentuale Veränderung gegenüber 2002 (provisorisch)						

NO<sub>x</sub>-Immissionen aus verschiedenen Quellen (Luffahrt, Autoverkehr, Heizungen usw.) überlagern sich derart und werden ausserdem noch von den Klimaverhältnissen beeinflusst, dass an den Messpunkten keine eindeutige Korrelation der Flugbewegungen mit den Immissionen möglich ist.

welche Auswirkungen diese Massnahme auf die Umwelt hat und ob das Kerosin gar den Boden erreicht.

Der Treibstoff wird beim Fuel Dumping über zwei Öffnungen an den Flügeln abgelassen. Das Verfahren dazu ist genau festgelegt. So wird das Flugzeug in ein verkehrsfreies Gebiet geleitet und pumpt auf einer Höhe von 5000 bis 6000 Meter über Grund (mindestens aber 1800 Meter) und bei einer Geschwindigkeit von 600 bis 700 Kilometern pro Stunde (mindestens 460 km/h) solange Treibstoff ab, bis das Gewicht eine sichere Landung zulässt.

Das Ablassen von beispielsweise 60 Tonnen Kerosin dauert bei einer MD-11 mit einer Ablassleistung von 2,6 Tonnen pro Minute rund 23 Minuten. Das betroffene Gebiet kann sich über eine Fläche von bis zu 2000 Quadratkilometern erstrecken, und es ergibt sich eine Verdünnung des Kerosins zu einer Konzentration von 0,12 g/m<sup>3</sup> Luft.

Unter Einwirkung von Sauerstoff und Radikalen wird das Kerosin zu Kohlendioxid und Wasserdampf zersetzt. Auf

Grund der starken horizontalen und vertikalen Verdünnung ist eine Schadstoffbelastung am Boden nicht zu erwarten und konnte bisher auch nicht nachgewiesen werden. Trotzdem können die Kohlenwasserstoffe, da sie nicht verbrannt werden, besonders im Sommer zur Ozonbildung beitragen.

In den letzten drei Jahren kam es im Flugsicherungsbereich Zürich nur zu 2 bis 5 Vorfällen pro Jahr mit einer Ablassmenge von 2 bis 80 Tonnen pro Vorfall. Die im Landeanflug bei Flugzeugen oft beobachteten Randwirbelschleppen (siehe Foto mitte rechts) sind eine physikalisch-meteorologische Erscheinung und haben nichts mit Fuel Dumping zu tun. Treibstoffablass macht auch ökonomisch keinen Sinn. Ein Fuel Dumping kann rasch über 30 000 Franken kosten (oder etwa 130 Franken pro Passagier). Zudem haben nur die grossen Langstreckenflugzeuge eine Treibstoffablassvorrichtung (rechts unten). Von den Hauptflugzeugklassen (ohne Subtypen) sind das rund 10 Prozent (z. B. MD11; Boeing B747 – B767 – B777; Airbus A340 – A330).



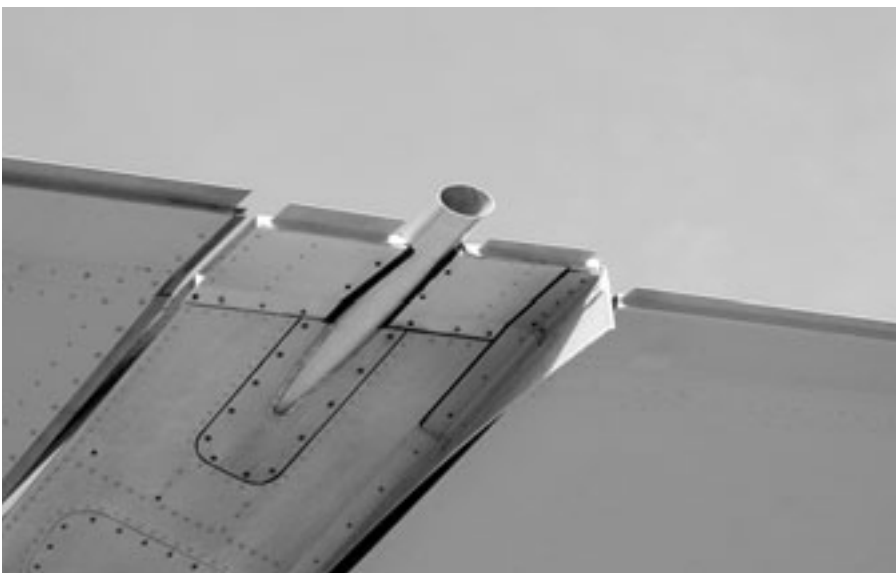
Fuel Dumping, der Ablass von Kerosin, ist eine seltene Sache.

Reproduziert mit Bewilligung von Richard Zeman, Airliners.net



Randwirbelschleppen beim Landeanflug können leicht mit Fuel Dumping verwechselt werden.

Quelle: Unique Airport, Abt. Umweltschutz



Auslassvorrichtung für das Fuel Dumping.

Quelle: Unique Airport, Abt. Umweltschutz

## Was kommt denn noch alles von oben?

Beim Flugverkehr entstehen, wie bei allen Verbrennungsprozessen, Russ und Schwebestaub (PM10). Beide stehen im Verdacht, krebserregend zu sein.

PM10-Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 10 Mikrometern ( $\mu\text{m}$ ) verhalten sich wie ein Gas und können entsprechend weit verfrachtet werden. Teilchen, die grösser sind als  $10\ \mu\text{m}$ , sinken dagegen schneller zu Boden und werden so aus der Luft entfernt.

Gegenüber dem Jahr 2002 ist der Jahresmittelwert der PM10 im Kanton Zürich um rund 10 Prozent gestiegen. Auch hier haben die Inversionsmonate, verglichen mit dem Jahr 2002, zu bis zu 100 Prozent höheren Werten geführt.

Eine mikroskopische Untersuchung von Russ an ausgewählten Standorten im Kanton Zürich sollte zeigen, wo überall «Flugzeug-Russ» auftrat. Nachzuweisen ist er an einer für den Flugverkehr typischen Grössenverteilung der Russpartikel. Dies gelang jedoch nur im Triebwerk-Prüfstand und an der Startpiste West eindeutig. Bei den anderen Standorten wurden andere Verteilungsmuster gefunden. Auch Staub- oder Russablagerungen lassen sich also in den meisten Fällen nicht eindeutig dem Flugverkehr zuordnen, sondern bestehen aus einer Mischung von Partikeln aus unterschiedlichsten Quellen.

Auch so allerlei «exotische» Ablagerungen auf Gartenmöbeln, Fenstersimsen oder Terrassen werden in Flugschneisen und in der Umgebung des Flughafens oft irrtümlich dem Flugverkehr angelastet. Untersuchungen zeigen, dass dies in vielen Fällen jedoch nicht zutrifft. Verursacher können beispielsweise Dieselfahrzeuge oder unsachgemäss verwendete Cheminées, aber auch Tiere und Pflanzen sein.

Schwarze Punkte z. B. auf Äpfeln erweisen sich so nach mikroskopischen Untersuchungen als Schorf oder Pilzbefall. Ein besonders spektakulärer Fall: Bei geruchsintensiven Ablagerungen in der Ortschaft Lindenthal (D), welche sich in der Anflugzone des Flughafens Stuttgart befindet, wurde von den Anwohnern vermutet, es seien Fäkalien, die aus Flug-

zeugen abgelassen worden seien. Es handelte sich um Bienenkot. Verblühte und abgefallene männliche Kätzchen der Erle sehen, wenn sie im Verrottungsprozess sind, wie kleine Kotwürmchen aus und sind auch schon in falschen Verdacht geraten.

### Fazit für die überflogenen Gebiete

- Der Flughafen ist ein grosser Emittent von Luftschadstoffen. Deren Einfluss lässt sich jedoch hauptsächlich in unmittelbarer Nachbarschaft wahrnehmen. Bereits im Abstand von rund zwei Kilometern werden flughafenspezifische Emissionen durch lokal produzierte Schadstoffe (z. B. aus dem Strassenverkehr) so stark überlagert, dass sie nicht separat ausgewiesen werden können.
- Das Monitoring gewährleistet eine systematische lufthygienische Überwachung der Region um den Flughafen.
- Die  $\text{NO}_2$ -Emissionen und -immissionen unmittelbar am Flughafen sind stark gekoppelt an die Anzahl Flugbewegungen und allfälligen Bautätigkeiten vor Ort. Es ist anzunehmen, dass bei einem Anstieg des Flugbetriebs die  $\text{NO}_2$ -Jahresmittelwerte ebenfalls steigen. Andere Stickoxid-Emittenten und die Klimabedingungen können den Zusammenhang allerdings überlagern und das Bild stark verwischen.
- Bei Geruchswahrnehmungen ist regional nicht immer klar, wer der Verursacher ist. «Flughafengeruch» ist je nach Windrichtung nur in wenigen hundert Metern um den Flughafen nachweisbar.
- Kerosinablass ist eine Notmassnahme, welches als seltenes Ereignis auftritt. Das Kerosin selbst kann am Boden nicht nachgewiesen werden, aber im Sommer zur Ozonbildung beitragen.
- Ablagerungen auf Gartenmöbeln, Fenstersimsen oder Terrasse stammen kaum vom Flugbetrieb sondern können verschiedene Ursachen haben: Russ aus Dieselfahrzeugen, biogenen Ursprung (Pflanzen, Insekten, ...) sowie unvollständige oder unsachmässige Verbrennung (Missbrauch von Cheminées und offenen Feuern als private Kehrrichtentsorgungsanlage).
- In der Flugschneise kann weiterhin unbedenklich gegärtnert werden, wenn es abgesehen vom Flugbetrieb keine anderen Gründe gibt, die dagegen sprechen.



Die Auswirkungen des Flughafens werden an den Messstandorten vom Strassenverkehr überlagert, aber auch von grossen Bauarbeiten.