



## „Sick-Aeroplane-Syndrome“

Sowohl Vielflieger wie auch das fliegende Personal von Airlines werden in zunehmendem Maße durch flugtechnisch bedingte physikalische, biologische und chemische Belastungen in ihrer Gesundheit und ihrem Wohlbefinden gefährdet. Daraus kann eine Multisystemerkrankung mit umwelt- und arbeitsmedizinischer Relevanz resultieren, für die wir den Begriff „Sick-Aeroplane-Syndrome“ (SAS) vorschlagen.

### *Gesundheitliche Belastungen*

**Physikalisch** ist dabei der Einfluss der kosmischen **Höhenstrahlung** von Bedeutung, deren Menge nicht nur von der Flugdauer sondern v.a. von der Flugroute bestimmt wird. Transatlantikflüge und Fernostreisen setzen die Flugzeuginsassen dabei oft der 5-10fachen Ionenmenge aus als vergleichbare Nord-Süd-Routen. Die gesundheitlichen Auswirkungen gehen bei akuter Belastung meist nicht über Befindlichkeitsstörungen hinaus. Bei chronischer Exposition hingegen sind die Folgen oft erst nach Jahren als Krebserkrankung erkennbar. Bezüglich des Krebsrisikos rangiert die Berufsgruppe des fliegenden Personals (Piloten und Flugbegleiter) mittlerweile an dritter Stelle unter allen Berufen.

Im Laufe der Gesamtbetriebsdauer eines Flugzeuges wird das Fluggerät immer schwerer. Ursache ist die Ansammlung von Kondenswasser in den Innenabdeckungen der Rumpf-, Kabinen- und Cockpitwände. Dies bietet den idealen Nährboden für **Schimmelpilze**, die durch die Entstehung von Sporen und Mycotoxinen zur **biologischen Belastung** der Insassen führt. Allergische und toxische Reaktionen sind die Folge.

**Chemische Belastungen** sind entweder betriebsbedingt (Biozide) oder Folge von Betriebsstörungen (Berylliumstäube, Aluminiumstäube, Kerosin, Turbinenöldämpfe).

Während auch hier die durch Beryllium, Aluminium oder Kerosin bedingten Gesundheitsstörungen meist erst bei chronischer Exposition auftreten, zeigen sich die Folgen einer Kontamination der Atemluft mit Bioziden kurzfristig (innerhalb 1-2 h), die Belastung der Luft mit Flugöldämpfen meist unmittelbar (innerhalb von 10 Sekunden bis 2-3 Minuten).

Die Ausbringung von Bioziden erfolgt in regelmäßigen Abständen im Rahmen der Betriebserlaubnis des Fluggerätes und bei bestimmten Destinationen in der Vorbereitungsphase des Landeanflugs als Voraussetzung der Landeerlaubnis. Passagiere und Flugpersonal reagieren meist erst nach der Landung auf das versprühte Gemisch von Pyrethroiden und Organophosphaten, wenn sie nicht an einer MCS leiden.

### *Aerotoxisches Syndrom*

Das Eindringen von Öldämpfen aus den Triebwerken in die Kabinen- und Cockpitluft hingegen ist Folge einer Betriebsstörung. Die in den Turbinenölen enthaltenen Organophosphate, allen voran das Tricresylphosphat (TCP), verdampfen aus defekten Dichtungen und gelangen in das Frischluftsystem (Bleed Air = Zapfluft) des Flugzeugs. Bei Inhalation verursacht es plötzliche Übelkeit, Erbrechen, Schwindel, Sehprobleme in Form des Tunnelblicks und allgemeine Koordinationsstörungen. Das

Cockpitpersonal kann oft nur durch sofortige Reinsauerstoffversorgung über die Sauerstoffmasken seine Pilotentätigkeit ausführen und einen Crash verhindern.

Dieses auch als „Aerotoxisches Syndrom“ bezeichnete Krankheitsbild gefährdet somit nicht nur die individuelle Gesundheit der betroffenen Personen, sondern durch die unmittelbar auftretende Störung der Koordinationsfähigkeit der Flugzeugführung auch die Sicherheit des Flugzeugs und damit die internationale Flugsicherheit selbst. Es ist nicht auszuschließen, dass mancher ungeklärte Flugzeug-Crash auf ein akutes Aerotoxisches Syndrom bei den Piloten zurückzuführen ist.

Die hier aufgelisteten physikalischen, biologischen und chemischen Belastungen können jede für sich allein, viel häufiger jedoch durch ihre **Kombinationswirkung**, zu chronischen Multisystemerkrankungen mit erheblichen Einbußen in Lebensqualität, Berufsfähigkeit und Erwerbsfähigkeit führen.

**Arbeits- und Umweltmedizinische Relevanz**

Je nach Ursache haben diese Gesundheitsstörungen unterschiedliche Codierungen im ICD-10. Bei einigen existieren auch anerkannte Berufskrankheiten mit entsprechenden BK-Nummern.

Für fliegendes Personal und Geschäftsleute, die aus beruflichen Gründen viel fliegen müssen, sind die Auswirkungen des „Sick-Aeroplane-Syndroms“ auch von berufsgenossenschaftlicher Relevanz. Im BG-Verfahren muss der Geschädigte im Regelfall die Kausalität der Erkrankung mit dem Fliegen beweisen. Beryllium, Aluminium, Kerosin und Trikresylphosphat tauchen im Regelbetrieb nicht im Innenraum des Flugzeuges auf. Der Nachweis der Substanzen, z.B. an den Auslassdüsen der Lüftung, stellen die Betriebsstörung des Fluggerätes unter Beweis und führen somit rechtlich zur Beweislastumkehr.

Vergiftungen und Verletzungen durch Chemikalien sind gemäß § 16e des deutschen Chemikaliengesetzes meldepflichtig. Da aber dieser § nicht strafbewehrt ist, haben Zuwiderhandlungen keine strafrechtlichen Konsequenzen. Allerdings könnten unterlassene oder verspätete Meldungen in zivilrechtlichen Schadenersatzverfahren Rechtsrelevanz erlangen.

Bezeichnung	ICD-10 normal	ICD-10 akzidentiell	BK-Nummer
Vergiftung mit Myco-toxinen (Aflatoxin)	T 64.0	X 49.-	
Vergiftung mit Organophosphaten	T 60.0	X 48.-	1307
Vergiftung mit Trikresylphosphat	T 65.8	X 49.-	1307
Vergiftung mit Per/Cypermethrin	T 60.1	X 48.-	
Vergiftung mit Pyrethroiden	T 60.2	X 48.-	
Vergiftung mit Beryllium	T 56.7	X 49.-	1110
Vergiftung mit Kerosindämpfen	T52.0	X 46.-	1317
Schädigung durch Aluminium (-OH)	T 49.1	X 44.-	4106
Schädigung durch Ionisierende Strahlung	W 91.0		2402

Tab.: ICD-10-Codierung und Berufskrankheiten-Nummern der Ursachen des SAS

Da das Aerotoxische Syndrom bzw. „Sick-Aeroplane-Syndrom“ sozial-, arbeits- und umweltmedizinische Relevanz erlangt hat, muss die Diagnose sorgfältig unter besonderer Berücksichtigung

haftungsbegründender und haftungsausfüllender Kausalitäten, erhoben werden. Die dabei erhobenen Daten dienen nicht nur der individualmedizinischen Betreuung betroffener Patienten, sondern können auf epidemiologischer Ebene auch die Risikowahrnehmung bei den Verantwortlichen fördern und somit zur Minderung des Gefahrenpotentials im Flugbetrieb beitragen.

### **Diagnosepfad**

Bei Verdacht auf das Vorliegen eines „Sick-Aeroplane-Syndroms“ schlägt der dbu deshalb folgenden Diagnosepfad vor:

#### I. Aerotoxisches Syndrom

##### 1. Immunologie: Nachweis von Sensibilisierungsreaktionen

- Typ-IV-Reaktion: Lymphozyten-Transformations-Test (LTT) auf Tri-Cresyl-Phosphat (TCP), Aluminium und Beryllium.
- Typ-I-Reaktion: Basophilen-Degranulations-Test (BDT) auf TCP {wird gerade erprobt}; auf Metalle funktioniert der BDT nicht!
- Individuelle proentzündliche Reaktionen: Zytokin-Effektorzellstatus mit Messung von INF- $\gamma$  und IL-10 nach In-vitro-Stimulation mit TCP, Aluminium und Beryllium.

##### 2. Toxikologie: Nachweis von Giften und ihrer Metabolite

- Direktnachweis von TCP/Metabolite im Urin: hier besteht eine beweisbarer Korrelation zwischen Dauer des Fluges und der Höhe des Messwertes für TCP/Metabolite  
**HINWEIS:** TCP und seine Metabolite werden *in-vivo* innerhalb von 24 h vollständig abgebaut, weshalb eine möglichst frühzeitige Gewinnung der Urinprobe wichtig ist. Der Versand der Probe ist dann zeitlich unkritisch!  
**Praktisches Vorgehen:** Der Patient erhält vor der Flugreise ein entsprechendes Urinprobenröhrchen mit der Aufforderung, diese nach Ankunft sobald als möglich, am besten noch im Flughafengebäude zu befüllen und an die auf der Versandtasche angegebene Adresse des Labors (Dr. Köster, Medizinisches Labor Bremen) zu versenden.
- Direktnachweis von TCP im Blut: TCP bildet in-vivo Hämoglobin-Addukte, die längere Zeit stabil sind und somit auch bei unvorbereiteten Fluggästen als Nachweisoption in Frage kommen könnten. Das Medizinische Labor Bremen arbeitet z. Zt. an der Validierung eines solchen Testes.
- Anwesenheitsnachweis von TCP in der sog. „Bleed Air“ des Flugzeugs: TCP lagert sich in den Auslassdüsen der Belüftungsanlage an und kann dort mittels Wischprobe durch einen alkoholgetränkten Wattebausch aufgenommen und in einem Glasgefäß asserviert werden. Äthanol verändert das TCP chemisch nicht! Die Probe kann dann in einem chemischen Labor analysiert werden.

#### II. Sick-Aeroplane-Syndrom durch Schimmelpilzbelastungen des Flugzeugs

##### 1. Immunologie

- Spezifische IgG-AK gegenüber den 6 typischen Innenraumschimmelpilzen (*Aspergillus fumigatus*, *Penicillium notatum*, *Cladosporium herbarum*, *Alternaria alternata*, *Stachybotrys atra*, *Rhizopus nigricans*): Schimmelpilz-IgG-Test = SchIgG-Test (laborinterne Kurzbezeichnung).

Im Vergleich mit einem unbelasteten Normalkollektiv bedeuten erhöhte Werte, dass der Patient in einem Zeitraum von 2-3 Wochen vor der Blutanalyse sich regelmäßig in mit den gefundenen Schimmelpilzen höher belasteten Räumen aufgehalten hat. Dies stellt zunächst nur einen Anwesenheitsnachweis und keinen Krankheitsnachweis dar.

- Bei positivem SchIgG empfiehlt sich der Nachweis einer gesundheitlichen Belastung durch Schimmelpilze mittels:
  - a. Typ-IV-Reaktion: Lymphozyten-Transformations-Test (LTT) auf Schimmelpilze und/oder
  - b. Typ-I-Reaktion: Basophiler Degranulations-Test (BDT) gegenüber Schimmelpilzen
  
- Gelingt der Beweis der Erkrankung durch einen der beiden Tests, ist die mögliche Schimmelpilzquelle in einem Flugzeug von anderen Expositionsorten (Wohnung/Arbeitsplatz) zu differenzieren. Dazu eignet sich sehr gut ein vom Institut für Toxikologie der CAU Kiel mit entwickelter Nährbodentest. (Die Durchführung des Testes könnte allerdings am Widerstand der Airline scheitern.)  
 Dabei werden professionelle Nährböden mit Malzextraktagar (MEA) nach exakter Anweisung über einen genau definierten Zeitraum im Flugzeug platziert, anschließend verdeckelt und verklebt 7 Tage lang bei Raumtemperatur inkubiert. Zeigt sich am 7. Tag eine deutliche Koloniebildung so sollte mit diesen Schimmelpilzpräparationen auf dem MEA eine Sensibilisierung des Patienten nachgewiesen werden:
  - a. Typ-I-Reaktion: BDT nativ gegenüber der MEA-Kolonie (Platte wird mit ins Labor gesandt)
  - b. Individuelle proinflammatorische Reaktion: Zytokin-Effektorzellstatus nativ gegenüber der MEA-Kolonie

Positive Reaktionen in einem der beiden Tests beweist dann den Flugzeuginnenraum als Expositionsort.

## 2. Toxikologie

- Mykotoxine: Analysen von Schimmelpilzgiften sind weltweit nach den Recherchen des dbu-Vorstandes in der Humanmedizin nicht in ausreichend sensitiver und zuverlässiger Weise vorhanden. Bei dringendem Verdacht können jedoch Blutproben an ein veterinärmedizinisches Labor bei Leipzig gesandt werden, das mit entsprechender Sensitivität Untersuchungen auf die folgenden drei Mykotoxine durchführen kann: DON, Ochratoxin A, Aflatoxin.  
 Für die Beurteilung eventueller positiver Befunde stehen Referenzwerte zur Verfügung.

## III. Kosmische Höhenstrahlung

Um die Gesamtbelastung von Vielfliegern inklusive des fliegenden Personals durch die kosmische Höhenstrahlung abschätzen zu können empfehlen wir das Tragen von Dosimetern, wie sie im nuklearmedizinischen oder nukleartechnischen Bereich üblich sind, vor allem auf den Nordatlantikstrecken und den Fernostrouten.

*(Nachweise bei den Autoren)*

*Dr. med. Frank Bartram  
 1. Vorsitzender des dbu*

*Dr. med. Hans-Peter Donat  
 2. Vorsitzender des dbu  
 Korrespondenzautor  
 Facharzt für Allgemeinmedizin-Umweltmedizin,  
 Dr.-Adam-Voll-Str. 1, 93437 Furth im Wald,  
 Tel.:+49-9973-5005420; Fax+49-9937-5005450*