

Gefahrstoffbelastung auf dem Flughafenvorfeld – Teil 2: Gefahrstoffexpositionen

D. Breuer, B. Flemming, T. Sye, S. Auras, O. Heise, I. Thullner, T. von der Heyden, C. Möhlmann, P. Welge

ZUSAMMENFASSUNG Flughäfen sind hochkomplexe Arbeitsbereiche mit vielfältigen Tätigkeiten und Gefährdungen. In Teil 1 dieser Veröffentlichung haben die Unfallversicherungsträger (UVT) 2018 die wesentlichen Arbeitsbereiche eines Flughafenvorfelds charakterisiert und mögliche Gefahrstoffbelastungen beschrieben. In diesem Teil werden nun Ergebnisse der am häufigsten gemessenen Gefahrstoffe Dieselrußemissionen, alveolengängige und einatembare Staubfraktion, Benzol, Kohlenwasserstoffgemische (Bewertung nach RCP), polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe und flüchtige organische Verbindungen (volatile organic compounds, VOC) zusammengestellt. Nicht selten erfolgten diese Messungen unter Worst-Case-Bedingungen, die Ergebnisse liegen in der Regel deutlich unter den Grenzwerten für Arbeitsplätze. Daher gehen die UVT davon aus, dass die Messwerte als gesundheitlich unbedenklich einzustufen sind. Weiterhin werden Messergebnisse zu ultrafeinen Partikeln vorgestellt. Diese Messungen fanden ebenfalls unter Worst-Case-Bedingungen statt, sodass die Messergebnisse in der Regel höher sind als in bisherigen Studien. Die Unterschiede lassen sich durch die Messstrategie erklären. Darüber hinaus enthält dieser Artikel Erkenntnisse zum Biomonitoring bei Beschäftigten auf dem Flughafenvorfeld.

Hazardous substances on the airport apron – Part 2: hazardous substance exposure levels

ABSTRACT Airports are highly complex working areas associated with a wide range of tasks and hazards. The German Social Accident Insurance Institutions characterized the essential working areas of an airport apron in 2018 in Part 1 of this publication, and described possible exposures to hazardous substances. The results for the hazardous substances most frequently measured, namely diesel particulate matter emissions, respirable and inhalable dust fractions, benzene, hydrocarbon mixtures (evaluated by means of the RCP), polycyclic aromatic hydrocarbons and volatile organic compounds (VOCs), have now been compiled in this part of the publication. These measurements were often performed under worst-case conditions; the results nevertheless generally lie substantially below the occupational exposure limits. The German Social Accident Insurance Institutions thus conclude that the measured values may be classified as not presenting a health risk. Measurement results are also presented for ultrafine particles. Here too, the measurements were performed under worst-case conditions; the results are therefore generally higher than those obtained in previous studies. The differences can be explained by the measurement strategy. The article also reports observations regarding biomonitoring among workers on the airport apron.

1 Einleitung

Flughäfen sind hochkomplexe Arbeitsbereiche mit vielfältigen Tätigkeiten und Gefährdungen. In einer ersten Veröffentlichung haben die Unfallversicherungsträger (UVT) die wesentlichen Arbeitsbereiche eines Flughafenvorfelds charakterisiert und zusammengestellt, welchen Gefahrstoffbelastungen Beschäftigte dort ausgesetzt sein können [1]. Im Folgenden werden nun die Ergebnisse im Überblick vorgestellt, die von den UVT im Rahmen der umfangreichen Messaktivitäten gesammelt wurden. Die beiden Publikationen beziehen sich ausschließlich auf Gefahrstoffe, andere Belastungsfaktoren – wie Lärm, hohes Arbeitsaufkommen oder das Tragen schwerer Lasten – werden nicht berücksichtigt.

Bei der Abfertigung von Verkehrsflugzeugen werden innerhalb kürzester Zeit auf sehr begrenztem Raum unterschiedliche Arbeiten durchgeführt. Für den reibungslosen Ablauf der Abfertigung am Flugzeug ist ein Abfertigungsagent (Ramp Agent) zuständig. Die Abfertigung von Verkehrsflugzeugen in der Luftfahrt bezeichnet die Vorbereitung eines Verkehrsflugzeuges auf den nächsten Flug.

Neben dem Bereitstellen des Caterings und Stellen der Fluggastreppen, erfolgen vor dem Start bzw. nach der Landung eines

Verkehrsflugzeuges das Be- und Entladen, die Betankung und ggf. auch die Fäkalienentsorgung. Die Frischwasserversorgung muss ebenfalls sichergestellt werden. Zudem kann es vorkommen, dass Techniker kleine Reparaturen durchführen müssen. Je nach Parkposition auf dem Flughafenvorfeld kommen Flugzeugschlepper zum Einsatz, die vielfach mit Dieselmotoren betrieben werden. Durch diese Arbeiten, aber auch durch Tätigkeiten an benachbarten Verkehrsflugzeugen, werden Fahrzeug- und Geräteabgase freigesetzt, denen die Beschäftigten bei ihrer Arbeit rund ums Flugzeug ausgesetzt sein können. Dazu kommen die Abgase vom gesamten Flugverkehr im Flughafenbereich (z. B. startende, landende oder rollende Flugzeuge). Auch sogenannte „nachrauchende“ Triebwerke¹⁾ können zu einer Gefahrstoffbelastung auf dem Flughafenvorfeld führen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse von Gefahrstoffmessungen an ausgewählten Arbeitsplätzen, die seit 2008 an verschiedenen deutschen Verkehrsflughäfen von Unfallversicherungsträgern

¹⁾ Als Nachrauchen eines Triebwerkes bezeichnet man Emissionen, die nach dem Ausschalten der Triebwerke durch Verdampfen von Triebwerksölen von heißen Triebwerksteilen entstehen können.

Tabelle 1. Abgase von Dieselmotoren im Rahmen der Abfertigung.

Gefahrstoff	Anzahl der Messwerte		Konzentration in mg/m ³ (Benzo[a]pyren in µg/m ³)					Luftgrenzwerte nach TRGS 900 [10] und TRGS 910 [11]
	N	< Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze	Minimum * ¹	Maximum	Mittelwert * ²	90-Perzentil * ³	95-Perzentil * ⁴	
Alveolengängige Staubfraktion (A-Staub)	24	17	0,03	0,47	0,12	0,23	0,35	1,25
Dieselsrußpartikel (elementarer Kohlenstoff, EC)	20	6	0,004	0,025	0,0009	0,018	0,020	0,05
Kohlenstoffmonoxid * ⁵	21	21	< 6,96	< 6,96	< 6,96	< 6,96	< 6,96	35
Kohlenstoffdioxid * ⁶	21	0	732 ⁶	1 647	1 126	1 647	1 647	9 100
Stickstoffmonoxid	21	17	0,38	0,54	0,42	0,49	0,52	2,5
Stickstoffdioxid	21	7	0,08	0,19	0,14	0,19	0,19	0,95
Benzo[a]pyren * ⁷	12	12	< 0,011	< 0,011	< 0,011	< 0,011	< 0,011	AK: 0,07 ⁸ TK: 0,7 ⁸
Benzol	9	3	0,005	0,007	0,006	0,007	0,007	AK: 0,2 TK: 1,9

*¹ kleinster messbarer Wert

*² Die Angabe verzichtet bewusst auf den Median, es wird der Mittelwert der Konzentrationen oberhalb der Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze aufgeführt. Es stellt den Mittelwert über alle betrachteten Arbeitsplätze dar.

*^{3/4} 90- bzw. 95-Perzentil der Konzentrationen oberhalb der Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze

*⁵ 16 der 21 Messungen lagen unterhalb der Nachweisgrenze von 2,32 mg/m³.

*⁶ 732 mg/m³ Kohlenstoffdioxid entsprechen dem Anteil in der natürlichen Luftzusammensetzung.

*⁷ Gemessen wurden alle 16 PAK nach United States Environmental Protection Agency (EPA), es konnten keine PAK nachgewiesen werden. Exemplarisch ist nur der Leitparameter Benzo[a]pyren aufgeführt. Zehn der zwölf Messungen lagen unterhalb der relativen Bestimmungsgrenze von 0,0034 µg/m³.

*⁸ AK: Akzeptanzkonzentration; TK: Toleranzkonzentration

durchgeführt wurden, betrachtet. Weiterhin werden die bisher vorliegenden Erkenntnisse zum Biomonitoring von Beschäftigten zusammengestellt.

2 Grundlagen für die Messungen

Die den Ergebnissen zugrundeliegenden Messungen wurden entsprechend den Vorgaben der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 402 [2] durchgeführt. Dort ist detailliert beschrieben, wie die Ermittlung inhalativer Expositionen in Arbeitsbereichen zu erfolgen hat und wie die Ergebnisse zu beurteilen sind.

Die an dieser Veröffentlichung beteiligten UVT haben die vorliegenden eigenen Messergebnisse separat für den untersuchten Arbeitsbereich ausgewertet und zusammengestellt. Die Darstellung orientiert sich grundsätzlich an der Hauptschadstoffquelle, die bei den jeweiligen Messungen zu untersuchen war. Darüber hinaus werden ergänzend Messergebnisse aufgezeigt, die für besondere Fragestellungen von Interesse sein können.

Durchgeführt wurden stationäre personenbezogene und personengetragene Messungen, die eine Beurteilung der Exposition der zuvor genannten Arbeitsplätze und Tätigkeiten zulassen. In der Regel werden bei personengetragenen und stationären Messungen, z. B. für die Messung von Stäuben, unterschiedliche Probenahmegeräte verwendet. Die personengetragenen Messgeräte sind kleiner und arbeiten mit geringeren Luftvolumenströmen, dies kann eine geringere Empfindlichkeit des Messverfahrens, d. h. eine höhere Bestimmungsgrenze, zur Folge haben. Für die am häufigsten gemessenen Gefahrstoffe Dieselsrußemissionen [3], alveolengängige und einatembare Staubfraktion [4; 5], Benzol [6], Kohlenwasserstoffgemische (Bewertung nach RCP²⁾) [7], polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) [8] und flüchtige organische Verbindungen (volatile organic components, VOC) [9] wurden die Standardverfahren im Messsystem Gefährdungsermittlung der UV-Träger (MGU) nach IFA-Arbeitsmappe eingesetzt.

²⁾ RCP = Reciprocal Calculation Procedure

Als Hauptschadstoffquellen wurden berücksichtigt:

- Abgase von Dieselmotoren (Abfertigung),
- Abgase von Dieselmotoren (Bodenstrom-Versorgungsaggregat, Ground Power Unit – GPU),
- Triebwerksabgase (Pushback),
- Triebwerksabgase (Abfertigung),
- Triebwerksabgase (nachrauchende Triebwerke).

Ergebnisse aus Messungen mit besonderen Fragestellungen:

- Abgasmessungen in einer Flugzeugwartungshalle bei laufendem Betrieb,
- Betankung von Verkehrsflugzeugen,
- Zufahrtskontrolle zum Flughafenvorfeld,
- ultrafeine Partikel auf dem Flughafenvorfeld.

Zur alternativen Verwendung synthetischer Dieselmotorkraftstoffe haben die UVT erste Messungen durchgeführt. Die bisherigen Messergebnisse lassen keine zuverlässige Aussage zum Emissionsverhalten dieser Art von Kraftstoff zu. Die Enteisung von Verkehrsflugzeugen erfolgt meist mit einem Glykol-Wasser-Gemisch. Messungen während der Enteisung von Verkehrsflugzeugen haben die UVT bisher nicht durchgeführt.

3 Messergebnisse

3.1 Abgase von Dieselmotoren

3.1.1 Abfertigung

Betrachtet wurden die Arbeitsplätze rund um das Luftfahrzeug im Rahmen der Abfertigung:

- Ramp Agent, Oberlader/Lademeister Vorfeld,
- Container-Paletten-/Ladetransporter und Gepäckschlepper,
- Fracht- und Gepäckschlepperfahrer,
- Luftfahrzeug-Schlepperfahrer,
- Mechaniker,
- walk-around,
- Trinkwasserversorgung und Toilettenentsorgung,
- GPU-Stromversorgung,
- Tankfahrzeuge,
- Cateringfahrzeuge,
- Begleitservice, z. B. für Rollstuhlfahrer.

Diese Arbeitsplätze und Tätigkeiten können sich hinsichtlich der Exposition auch gegenseitig beeinflussen. Unter den Messungen sind z. B. auch ganzschichtige Expositionsmessungen unter Worst-Case-Bedingungen an Oberladern, die besonders viele und große Luftfahrzeuge in einer Schicht bei Windstille abgefertigt haben. Insgesamt wurden 149 Messungen vorgenommen. **Tabelle 1** stellt die Ergebnisse im Bereich der Abfertigung zusammen.

Alle Arbeitsplatzgrenzwerte (Schichtmittelwerte, Kurzzeitwerte und Bewertungsindizes) wurden eingehalten. Insbesondere unter Berücksichtigung der Tatsache, dass Werte unter der Bestimmungsgrenze bei dieser Auswertung nicht einbezogen wurden, handelt es sich hierbei um eine konservative Abschätzung. Das unterstützt den Befund, dass die gemessenen Konzentrationen als gesundheitlich unbedenklich einzustufen sind.

Die Messungen von Benzol und PAK wurden durchgeführt, um die Annahme zu überprüfen, dass diese zum Teil krebserzeugenden Gefahrstoffe bei der Emission von Dieselmotoren keine wesentliche Rolle spielen.

3.1.2 Ground power unit (GPU)

Zur Orientierung wurden Messungen an einer GPU in einem Worst-Case-Szenario ohne Expositionsbezug in einem windgeschützten Bereich durchgeführt. Ziel war die Simulation der maximalen Konzentration, der eine Person ausgesetzt wäre, wenn sie ganzschichtig im Abgasstrahl der GPU stehen würde (**Bild 1**). Die GPU verfügte über keinen Dieselpartikelfilter. Die stationä-



Bild 1. Ground power unit (GPU) vor einem Verkehrsflugzeug.

ren Messungen erfolgten in Ausrichtung des Auspuffs im Abstand von ca. 4 m. Es wurden jeweils Messungen im Grundlastbetrieb, aber auch im Lastzustand (25-kW-Vorwiderstand) durchgeführt (**Tabelle 2**).

Es handelt sich um Worst-Case-Messungen ohne Expositionsbezug. Sowohl beim Grundlastbetrieb als auch beim Lastbetrieb wurden Konzentrationen oberhalb des Arbeitsplatzgrenzwertes bei den Dieselpartikeln und den Stickoxiden ermittelt. Die Resultate im Lastbetrieb waren erwartungsgemäß höher.

Tabelle 2. Abgase von Dieselmotoren – GPU.

Gefahrstoff	Anzahl der Messwerte		Konzentration in mg/m ³		
	N	< Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze	Minimum	Maximum	Arbeitsplatzgrenzwert nach TRGS 900
Grundbetrieb					
Einatembare Fraktion (E-Staub)	3	0	0,22	0,40	10
Alveolengängige Staubfraktion (A-Staub)	3	0	0,17	0,40	1,25
Dieselpartikel (elementarer Kohlenstoff, EC)	3	0	0,029	0,106	0,05
Kohlenstoffmonoxid	3	0	7,46	10,2	35
Kohlenstoffdioxid *1	3	0	1280	1650	9 100
Stickstoffmonoxid	3	0	2,39	3,00	2,5
Stickstoffdioxid	3	0	2,22	2,65	0,95
Lastbetrieb					
Einatembare Fraktion (E-Staub)	3	0	0,43	0,60	10
Alveolengängige Staubfraktion (A-Staub)	3	0	0,39	0,58	1,25
Dieselpartikel (elementarer Kohlenstoff ,EC')	3	0	0,199	0,218	0,05
Kohlenstoffmonoxid	3	0	9,34	14,9	35
Kohlenstoffdioxid	3	0	2010	2380	9 100
Stickstoffmonoxid	3	0	5,51	7,89	2,5
Stickstoffdioxid	3	0	2,31	3,55	0,95

Tabelle 3. Messungen beim Pushback.

Gefahrstoff	Anzahl der Messwerte		Konzentration in mg/m ³		
	gesamt	< Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze	Minimum *1	Maximum	derzeit gültiger Arbeitsplatzgrenzwert nach TRGS 900
Kohlenstoffmonoxid	3	1	8,90	20,7	35
Kohlenstoffdioxid	3	0	732*2	1 100	9 100
Stickstoffmonoxid	3	3	< 0,38	< 0,38	2,5
Stickstoffdioxid	3	0	0,19	0,57	0,95

*1 kleinster gemessener Wert

*2 732 mg/m³ Kohlenstoffdioxid entsprechen dem Anteil in der natürlichen Luftzusammensetzung.

Tabelle 4. Messergebnisse bei der Abfertigung.

Gefahrstoff	Anzahl der Messwerte		Konzentration in mg/m ³					Luftgrenzwerte nach TRGS 900 und TRGS 910
	N	< Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze	Minimum *1	Maximum	Mittelwert	90%-Perzentil	95%-Perzentil	
Benzol	10	9	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	AK: 0,2 mg/m ³ TK: 1,9 mg/m ³
Butan-1-ol	10	10	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	310
Butanon	10	10	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	600
2-Butoxyethanol	10	10	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	49
2-(2-Butoxyethoxy)-ethanol	10	10	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	67
2-(2-Butoxyethoxy)ethylacetat	6	6	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	67
2-Butoxyethylacetat	6	6	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	65
n-Butylacetat	10	10	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	300
Decamethylcyclotrisiloxan	10	10	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
n-Decan	10	7	0,006	0,127	0,087	0,127	0,127	
n-Dodecan	6	6	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
Ethylacetat	10	10	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	730
Ethylbenzol	10	10	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	88
2-Ethylhexan-1-ol	6	6	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	54
Formaldehyd	1	1	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,37
n-Heptan	10	10	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
n-Hexadecan	6	6	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
Hexamethylcyclotrisiloxan	6	1	0,005	0,022	0,012	0,018	0,020	
Hexanal	6	6	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
3-Karen	6	6	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
Kohlenwasserstoffgemische, aliphatische, C9 - C14	6	6	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	300
Limonen	10	10	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
(+)-Longifolen	6	6	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
Mesitylen (1,3,5-Trimethylbenzol)	10	10	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	100
4-Methylpentan-2-on	4	4	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	83
Naphthalin	6	6	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	2
n-Nonan	6	5	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	
Octamethylcyclotetrasiloxan	6	6	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
n-Octan	6	5	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	
n-Pentadecan	6	6	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
Phenol	6	6	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	8
2-Phenoxyethanol	10	9	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	5,7
alpha-Pinen	10	10	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
Styrol	10	10	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	86
n-Tetradecan	6	6	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
Toluol	12	10	0,005	0,006	0,006	0,006	0,006	190
n-Tridecan	6	6	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
1,2,3-Trimethylbenzol	10	10	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	100
1,2,4-Trimethylbenzol	10	8	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	100
n-Undecan	7	6	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	
m-Xylol	7	7	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
o-Xylol	7	7	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
p-Xylol	7	7	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
Xylol (alle Isomeren)	4	4	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	440
VOC*2	10	4	0,10	1,72	0,67	1,72	1,72	
Kohlenwasserstoffgemische (RCP)	2	2	< 15	< 13	< 14	< 14	< 14	11 *3

*1 kleinster gemessener Wert

*2 kalibriert auf Toluol

*3 Arbeitsplatzgrenzwert für Kohlenwasserstoffgemische mit unbekannter Zusammensetzung

Tabelle 5. Messwerte aus nachrauchenden Triebwerken.

Gefahrstoff	Anzahl der Messwerte		Konzentration in mg/m ³					Luftgrenzwerte nach TRGS 900 und TRGS 910
	N	< Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze	Minimum *1	Maximum	Mittelwert	90%-Perzentil	95%-Perzentil	
Benzol	11	5	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	AK: 0,2 mg/m ³ TK: 1,9 mg/m ³
Butan-1-ol	11	11	< 0,007	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	310
Butanon	15	4	0,005	0,078	0,028	0,063	0,071	600
2-Butoxyethanol	11	11	< 0,007	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	49
2-(2-Butoxyethoxy)-ethanol	11	11	< 0,007	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	67
2-(2-Butoxyethoxy)-ethylacetat	5	5	< 0,007	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	67
2-Butoxyethylacetat	5	5	< 0,007	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	65
n-Butylacetat	11	11	< 0,007	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	300
Decamethylcyclopentasiloxan	11	5	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	
n-Decan	15	0	0,008	0,470	0,047	0,040	0,170	
Diphenylbenzochinon (als Toluoläquivalent)	4	0	0,022	0,030	0,026	0,029	0,030	
n-Dodecan	9	0	0,005	0,470	0,061	0,106	0,288	
Ethylacetat	11	11	< 0,007	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	730
Ethylbenzol	11	9	0,011	0,054	0,033	0,050	0,052	88
2-Ethylhexan-1-ol	5	5	< 0,007	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	54
n-Heptan	12	2	0,006	0,033	0,010	0,011	0,022	
n-Hexadecan	5	4	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	
Hexamethylcyclotrisiloxan	9	0	0,007	0,039	0,019	0,035	0,037	
Hexanal	5	5	< 0,007	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
3-Karen	5	5	< 0,007	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
Kohlenwasserstoffgemische, aliphatische, C9-C14	5	4	4,100	4,100	4,100	4,100	4,100	300
Limonen	11	11	< 0,007	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
(+)-Longifolen	5	5	< 0,007	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
Mesitylen (1,3,5-Trimethylbenzol)	11	10	0,082	0,082	0,082	0,082	0,082	100
4-Methylpentan-2-on	6	6	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	83
Naphthalin	4	4	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	2
n-Nonan	8	0	0,009	0,044	0,028	0,042	0,043	
Octamethylcyclotetrasiloxan	5	1	0,008	0,013	0,010	0,013	0,013	
n-Octan	9	2	0,009	0,220	0,045	0,101	0,160	
n-Pentadecan	5	4	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	
Phenol	5	5	< 0,007	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	8
2-Phenoxyethanol	11	11	< 0,007	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	5,7
N-Phenyl-1-naphthylamin	4	4	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
alpha-Pinen	11	11	< 0,007	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
Styrol	11	11	< 0,007	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	86
n-Tetradecan	5	4	0,230	0,230	0,230	0,230	0,230	
Toluol	10	2	0,008	0,009	0,008	0,008	0,008	190
n-Tridecan	6	0	0,006	0,350	0,064	0,179	0,265	
1,2,3-Trimethylbenzol	11	10	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	100
1,2,4-Trimethylbenzol	14	4	0,008	0,230	0,031	0,034	0,132	100
n-Undecan	9	0	0,008	0,480	0,068	0,118	0,299	
m-Xylol	7	4	0,009	0,140	0,053	0,114	0,127	
o-Xylol	4	4	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	
p-Xylol	5	4	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	
Xylol (alle Isomeren)	6	0	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	440
VOC*3	15	0	0,098	11,2	1,110	0,578	3,765	
Tri-n-butylphosphat	20	15	0,012	0,075	0,040	0,065	0,070	11
Tri-iso-butylphosphat	20	14	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	50
TPP (Triphenylphosphat)	20	19	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	3

Gefahrstoff	Anzahl der Messwerte		Konzentration in mg/m ³					Luftgrenzwerte nach TRGS 900 und TRGS 910
	N	< Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze	Minimum *1	Maximum	Mittelwert	90%-Perzentil	95%-Perzentil	
ToCP (Tri-o-kresylphosphat)	28	28	< 0,016	< 0,016	< 0,016	< 0,016	< 0,016	*
TmCP (Tri-m-kresylphosphat)	34	23	0,004	0,053	0,016	0,020	0,037	
m,m,pTCP (m,m,p-Trikresylphosphat)	4	1	0,016	0,101	0,047	0,086	0,093	
m,p,pTCP (m,p,p-Trikresylphosphat)	4	1	0,015	0,086	0,041	0,073	0,080	
TpCP (Tri-p-kresylphosphat)	34	25	0,005	0,028	0,015	0,022	0,025	
Ameisensäure	14	14	< 1,1	< 0,40	< 0,55	< 0,83	< 0,93	9,5
Acetaldehyd	14	8	0,017	0,110	0,043	0,096	0,103	91
Acrylaldehyd	14	13	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,2
Butyraldehyd	14	13	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	64
Formaldehyd	14	6	0,007	0,170	0,058	0,156	0,163	0,37
Glutaral (Glutardialdehyd)	14	14	< 0,026	< 0,010	< 0,015	< 0,024	< 0,026	0,2
Propionaldehyd	14	12	0,026	0,041	0,034	0,040	0,040	
Valeraldehyd	14	14	< 0,026	< 0,010	< 0,015	< 0,024	< 0,026	39 *3
Kohlenwasserstoffgemisch, RCP-Methode	14	14	< 52	< 20	< 30,6	< 48,7	< 52	11 *4
Ozon	14	1	0,04	0,08	0,07	0,08	0,08	
Kohlenstoffmonoxid	24	24	< 2,32	< 2,32	< 2,32	< 2,32	< 2,32	35
Kohlenstoffdioxid	20	0	732*5	1098	869	1098	1098	9100
Stickstoffmonoxid	20	20	< 0,38	< 0,38	< 0,38	< 0,38	< 0,38	2,5
Stickstoffdioxid	20	20	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	0,95

*1 kleinster gemessener Wert

*2 Für einige der gemessenen Gefahrstoffe existieren keine Arbeitsplatzgrenzwerte nach TRGS 900. Dennoch wurden diese über die Messungen von flüchtigen organischen Komponenten bzw. Kohlenwasserstoff bzw. Xylol (alle Isomeren) als Summenparameter mit erfasst.

*3 AGW für Isovaleraldehyd

*4 Zum Zeitpunkt der Messungen existierte dieser niedrige Grenzwert noch nicht. Der Grenzwert betrug zum Zeitpunkt der Messungen 100 mg/m³. Die teils hohe relative Bestimmungsgrenze begründet sich in einer kurzen Messdauer.

*5 732 mg/m³ Kohlenstoffdioxid entsprechen dem Anteil in der natürlichen Luftzusammensetzung.

Tabelle 6. Ergebnisse der Messungen an der Zufahrtskontrolle.

Gefahrstoff	Anzahl der Messwerte		Konzentration in mg/m ³					Arbeitsplatzgrenzwert nach TRGS 900 in mg/m ³
	N	< Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze	Minimum *1	Maximum	Mittelwert *2	90%-Perzentil *3	95%-Perzentil *4	
Alveolengängige Fraktion (A-Staub)	81	60	0,02	0,12	0,034	0,05	0,05	1,25
Dieselerußpartikel (elementarer Kohlenstoff, EC)	80	30	0,002	0,03	0,0063	0,0091	0,011	0,05
Kohlenstoffmonoxid	30	30	< 6,96	< 6,96	< 6,96	< 6,96	< 6,96	35
Kohlenstoffdioxid	30	0	912	2900	1330	1560	1760	9100
Stickstoffmonoxid	30	10	0,189	0,221	0,198	0,170	0,173	2,5
Stickstoffdioxid	30	0	0,062	0,182	0,125	0,162	0,173	0,95

*1 kleinster messbarer Wert

*2 Die Angabe verzichtet bewusst auf den Median, es wird der Mittelwert der Konzentrationen oberhalb der Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze aufgeführt. Es stellt den Mittelwert über alle betrachteten Arbeitsplätze dar.

*3 / *4 bezogen auf Konzentrationen oberhalb der Nachweis-/Bestimmungsgrenze

3.2 Triebwerksabgase

3.2.1 Pushback

Hierzu wurden Messungen in einem Vorfeldbereich durchgeführt, in dem sich niemand aufhalten darf. Nach dem Pushback des Luftfahrzeugs erfolgten die Messungen im Abstand von ca. 30 m hinter dem Triebwerk im direkten Abgasstrahl bei Standardschub (**Tabelle 3**). Es handelt sich um Worst-Case-Messungen ohne Expositionsbezug.

Konzentrationen oberhalb der Arbeitsplatzgrenzwerte traten nicht auf. Kohlenstoffmonoxid und Stickstoffdioxid erwiesen sich hier als Leitparameter. Messungen von Dieselerußpartikeln wurden ebenfalls durchgeführt, aufgrund der sehr kurzen Messzeiten (drei bis fünf Minuten) waren aussagefähige Messwerte nicht zu erhalten.

3.2.2 Abfertigung

Betrachtet wurden schwerpunktmäßig die Arbeitsplätze des Ramp Agents und Flugzeugabfertigers (**Tabelle 4**). Durchgeführt wurden stationäre Messungen in unmittelbarer Nähe der Triebwerke und personengetragene Messungen. Bei den Messungen herrschte üblicher Betrieb, währenddessen fanden u. a. auch Betankungen statt. Die Exposition wurde zusätzlich in unbekannter Höhe durch benachbart startende oder landende Luftfahrzeuge beeinflusst.

Für die Emissionen von Triebwerksabgasen wurde ein Messverfahren gewählt, mit dem die zu erwartenden sehr geringen Konzentrationen zuverlässig ermittelt werden können. Aufgrund der vorliegende Messwerte ist davon auszugehen, dass die Luftgrenzwerte für Arbeitsplätze deutlich unterschritten sind.

3.2.3 Nachrauchende Triebwerke

Es handelt sich um Worst-Case-Messungen ohne Expositionsbezug. Die Luftgrenzwerte werden in **Tabelle 5** zur Orientierung mit aufgeführt.

Der Großteil der Messungen wurde stationär unmittelbar hinter dem Triebwerk durchgeführt. Weitere stationäre und personengetragene Messungen fanden auf Höhe des Laderaums und bei der Ölkontrolle sowie dem Auffüllen von Triebwerksöl statt. Da sich bei den gemessenen Konzentrationen keine nennenswerten Unterschiede gezeigt haben, wurden die Ergebnisse in **Tabelle 5** zusammengefasst.

Bei den Messungen wurde gezielt darauf geachtet,

- Verkehrsflugzeuge mit in der Vergangenheit auffälligen Triebwerksarten,
- Triebwerke, die zum nächsten Wartungsintervall anstanden und
- optisch stark nachrauchende Triebwerke

messtechnisch zu erfassen. Die Dauer aller Messungen orientierte sich stets an der Aufenthaltsdauer der Beschäftigten am Verkehrsflugzeug bei den jeweiligen Tätigkeiten.

Auch hier wurde wieder das Messverfahren gewählt, mit dem die zu erwartenden sehr geringen Konzentrationen zuverlässig ermittelt werden können. Aufgrund der vorliegenden Messwerte ist davon auszugehen, dass die Luftgrenzwerte für Arbeitsplätze in allen Fällen deutlich unterschritten sind.

Zusätzlich wurden Messungen von Organotriphosphaten vorgenommen. Diese Messungen umfassten auch die Trikresylphosphate, das als besonders kritisch eingestufte Tri-ortho-kresylphosphat (ToCP) konnte bei keiner Messung nachgewiesen werden.

Die Ozonmessungen fanden vorwiegend in der Nacht statt, eine Ozonbelastung aus der Außenluft war nicht vorhanden, daher ließ sich als mögliche Ozonquelle nur der Laderaum zuordnen. Es wird vermutet, dass es sich dabei um Ozon handelte, dass das Flugzeug in der Höhe „eingesammelt“ hatte.

3.3 Zufahrtskontrollstellen an Flughäfen

Gefahrstoffmessungen wurden auch an drei Zufahrtskontrollstellen eines Großflughafens durchgeführt, um die Exposition der Luftsicherheits-Kontrollkräfte gegenüber Dieselrußpartikeln, der alveolengängigen Fraktion (A-Staub), Kohlenstoffmonoxid, Kohlenstoffdioxid, Stickstoffmonoxid und -dioxid zu ermitteln (**Tabelle 6**). Ein Beispiel für die Probenahme an einer Kontrollstelle ist schematisch in **Bild 3** dargestellt.

Die Gefahrstoffmessungen fanden jeweils an drei aufeinanderfolgenden Tagen statt. Die Dauer der Probenahme betrug bei den stationären Messungen acht Stunden, bei den personengetragenen Messungen sechs bis acht Stunden. Die Messungen an der am häufigsten frequentierten Kontrollstelle erfolgten sowohl bei winterlichen als auch bei sommerlichen Temperaturen und bei ferienbedingt erhöhter Anzahl abzufertigender Flugzeuge, infolgedessen auch bei einem höheren Fahrzeugaufkommen. Die Probenahmezeiten wurden so gewählt, dass die Spitzenzeiten während des Fahrzeugaufkommens erfasst wurden. Die personengetragenen Gefahrstoffmessungen von Dieselrußpartikeln und Stickoxiden erfolgten an mindestens zwei Luftsicherheitskontrollkräften bei der Fahrzeugkontrolle. Ebenso wurden stationäre Probenahmen in den Aufsichtsräumen und in einem Raum der Personenkontrolle durchgeführt. Diese Räume verfügen über ei-



Bild 2. Messung hinter einem Luftfahrzeug beim „Losrollen“

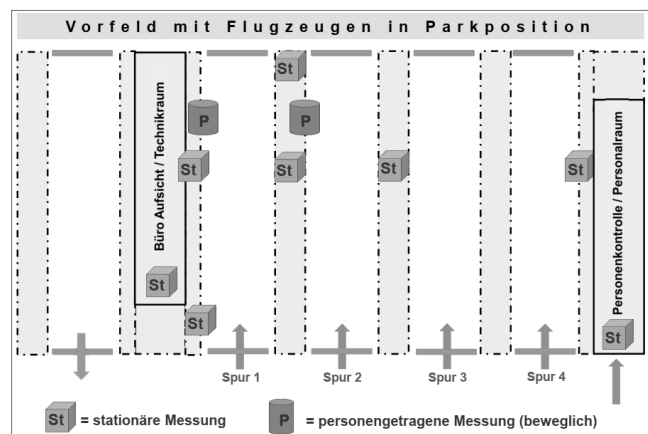


Bild 3. Aufbau einer Flughafenzufahrt und Probenahmeorte.

nen unmittelbaren Zugang zu den Kontrollspuren bzw. deren Lüftungsmöglichkeit war den Kontrollspuren zugewandt.

Alle Arbeitsplatzgrenzwerte (Schichtmittelwerte, Kurzzeitwerte und Bewertungsindizes) wurden eingehalten. Insbesondere unter Berücksichtigung der Tatsache, dass Werte unter der Bestimmungsgrenze bei dieser Auswertung nicht einbezogen wurden, handelt es sich hier um eine konservative Abschätzung. Dies unterstützt den Befund, dass die Messwerte als gesundheitlich unbedenklich einzustufen sind.

3.4 Betankung von Verkehrsflugzeugen

Hinsichtlich der Gefahrstoffexposition beim Betankungsvorgang sind maßgeblich Kohlenwasserstoffe zu beurteilen. Da im Expositionsbereich des Tankwerts parallel zur Betankung aber auch dieselmotorbetriebene Fahrzeuge wie z. B. Gepäck- und Geräteschlepper, Catering-Hubfahrzeuge, Follow-Me-Fahrzeuge, Fluggasttreppen, Flugzeugschlepper usw. betrieben werden, ist eine Exposition gegenüber Abgasen von Dieselmotoren (u. a. Dieselrußpartikel und Stickoxide) zu beachten. Vor diesem Hintergrund wurden an verschiedenen Flughäfen mehrere Messserien beim Betanken von Verkehrsflugzeugen sowohl mittels Dispensern als auch mithilfe von Tankwagen durchgeführt. Die Messungen erfolgten unter verschiedenen klimatischen Rahmenbedingungen sowohl in den Sommer- als auch in den Wintermonaten. Als Treibstoff kam jeweils Kerosin Jet A1 zur Anwendung. Die Messungen umfassten alle wesentlichen Arbeitsschritte der jeweiligen Betankungsvorgänge:

Tabelle 7. Messwerte für Kohlenwasserstoffe nach der RCP-Methode, Dieselrußpartikel sowie die A-Fraktion bei der Betankung von Verkehrsflugzeugen (Messungen im Zeitraum 2011 bis 2018).

Gefahrstoff	Anzahl der Messwerte		Konzentration in mg/m ³		
	N	Anzahl Betriebe	Minimum *	Maximum	Arbeitsplatzgrenzwert nach TRGS 900
Alveolengängige Fraktion (A-Staub)	8	3	< 0,08	0,13	1,25
Dieselrußpartikel (elementarer Kohlenstoff, EC)	16	3	< 0,016	< 0,05	0,05
Kohlenwasserstoffgemisch, RCP-Methode	16	3	< 10	< 35	100*

* Zum Zeitpunkt der Messungen lag der AGW für RCP-Gemische unbekannter Zusammensetzung bei 100 mg/m³.



Bild 4. Qualitätsprüfung des Kerosins während der Betankung.

- Herstellen der Schlauchverbindung zwischen Dispenser oder Tankwagen, Flugzeug und Hydranten (nur bei Dispenser),
- Abheben des Pitdeckels vom Hydrantenschacht,
- Überwachung des Betankungsvorganges,
- Beprobung und Qualitätskontrolle des Treibstoffes am Dispenser oder Tankwagen,
- Trennung der Schlauchverbindung zwischen Dispenser oder Tankwagen, Flugzeug und Hydranten,

jeweils inklusive der Fahrten mit dem Dispenser oder Tankwagen zu den jeweiligen Flugzeugabfertigungspositionen. **Tabelle 7** zeigt die Ergebnisse der Messungen, sie erfolgten sofern möglich personengeleitet.

Insgesamt ist festzustellen, dass die Arbeitsplatzgrenzwerte für Kohlenwasserstoffe nach der RCP-Methode sowie für die A-Fraktion bei der Betankung von Verkehrsflugzeugen mit Kerosin Jet A1 unterschritten wurden. Auch der Arbeitsplatzgrenzwert für Dieselrußpartikel wurde bei der Betankung unterschritten.

Des Weiteren wurde mithilfe von Photoionisationsdetektoren (PID; CUB Personal PID Monitor, Fa. Ion Science, Royston, Großbritannien oder MiniRAE 3000, Fa. Honeywell, Morristown, New Jersey, USA) der Verlauf der Konzentration leichtflüchtiger organischer Verbindungen aufgezeichnet, wobei mit diesen Messgeräten eine weitergehende Differenzierung der erfassten leichtflüchtigen organischen Verbindungen nicht möglich ist. Parallel wurden während der PID-Messungen die Tätigkeiten des Tankwartes protokolliert, um etwaige Belastungsspitzen bei den Betankungsvorgängen bestimmten Tätigkeiten zuordnen zu können. Zudem wurden die Konzentrationsverläufe nachträglich mit gleichzeitig durchgeführten Videoaufnahmen synchronisiert, um diese auch bildlich bestimmten Tätigkeiten zuordnen zu kön-

nen. Über die Schicht wurde der Arbeitsplatzgrenzwert für Kohlenwasserstoffe nach der RCP-Methode eingehalten. Jedoch zeigten die Konzentrationsverläufe der PID-Messungen für leichtflüchtige organische Verbindungen sowohl bei der Betankung mittels Dispenser als auch bei der Betankung mittels Tankwagen Expositionsspitzen. Die in den PID-Messungen erfassten Verbindungen umfassten dabei vor allem auch die leichtflüchtigen Bestandteile von Kerosin. Expositionsspitzen von bis zu 20 ppm erhielt man bei der Qualitätsprüfung des Kerosins. Dazu wurde zunächst ein Probenahmegefäß für die Sichtprüfung (Visual Check) mit Kerosin befüllt, die Qualitätsprüfung erfolgte bei geöffnetem Probenahmegefäß mittels einer Spritze mit Prüfkapsel (**Bild 4**). Bei der Betankung mittels Dispenser waren darüber hinaus Expositionsspitzen beim Öffnen des Pitdeckels am Hydrantenpit zu beobachten, da auf dem Pit nach der Betankung geringe Kerosinmengen verblieben. Die Expositionsspitzen waren in den Sommermonaten bei höheren Außentemperaturen ausgeprägter als in den Wintermonaten. Beim Einsatz von Tankwagen fanden sich vergleichbare Expositionsspitzen wie beim Einsatz von Dispensern.

Bei der Befüllung der Tankwagen auf den Befüllpositionen waren darüber hinaus im Bereich unterhalb der Druckausgleichsöffnung des Tanks Expositionsspitzen von bis zu 100 ppm zu beobachten. Ein Aufenthalt der Tankwarte in diesem Bereich kommt jedoch in der Regel nicht vor, da diese die Befüllung überwachen.

Bei den Stickstoffoxidmessungen wurden Gasmessgeräte Dräger X-am 5600 und X-am 7000 (Fa. Dräger, Lübeck) eingesetzt. Bei diesen Messungen wurden die Arbeitsplatzgrenzwerte für Stickstoffmonoxid und -dioxid über die Schicht gesehen unterschritten. Allerdings waren auch in den Konzentrationsverläufen der Stickstoffoxide Expositionsspitzen zu beobachten. Diese sind auf die Abgasemissionen der dieselmotorbetriebenen Fahrzeuge zurückzuführen. Hier ist insbesondere der Einfluss der Windrichtung bei den Visual Checks zu beachten. Bei ungünstigen Windverhältnissen können die Abgase des Fahrzeugs in Richtung des auf der Fahrerseite positionierten Probenahmegefäßes getrieben werden und es kann kurzfristig zu deutlichen Spitzen im Konzentrationsverlauf der Stickstoffoxide kommen. Die Kurzzeitwerte für NO und NO₂ wurden jedoch auch in diesen Fällen unterschritten.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass es bei der Betankung von Verkehrsflugzeugen, unabhängig vom eingesetzten System, zu einer Exposition gegenüber Kohlenwasserstoffen und Abgasen von Dieselmotoren kommen kann. Dabei sind Expositionsspitzen für bestimmte Arbeitsschritte wie etwa die Befüllung des Probenahmegefäßes und die Durchführung des Visual Checks zu beobachten. Die Arbeitsplatzgrenzwerte wurden, auch unter Berücksichtigung der genannten Expositionsspitzen, unterschritten.

3.5 Ultrafeine Partikel

Neben den bekannten gesundheitlichen Effekten von Partikeln im Mikrometerbereich [12], die in Deutschland auch durch den allgemeinen Staubgrenzwert [10] abgedeckt sind, standen auch die ultrafeinen Partikel (UFP) im Fokus der Untersuchungen. Eine Konvention mehrerer europäischer Institute auf dem Gebiet der Arbeitssicherheit in Abstimmung mit der deutschen MAK-Kommission besagt, dass unter ultrafeinen Aerosolteilchen solche zu verstehen sind, die kleiner als $100 \text{ nm} = 0,1 \text{ }\mu\text{m}$ sind. Die Messungen berücksichtigen aber auch Partikel über 100 nm , um auch die agglomerierten Partikel mit zu bestimmen [13]. Grenzwerte speziell für ultrafeine Aerosole existieren nicht. Zum Vergleich: Die Jahresmittelwerte in der Außenluft großer Städte betragen zwischen $5\,000$ und $10\,000 \text{ P/cm}^3$ [14].

Einflüsse der UFP (teilweise auch in Verbindung mit feinen Stäuben) auf die Lunge und das Herz-Kreislauf-System sind bekannt und werden weiter diskutiert [15 bis 18]. Kurzzeiteffekte in Form von systemischen oder Lungenentzündungen, Änderungen der Herzfrequenz und des Blutdrucks sind dokumentiert. In Tierversuchen wurden Entzündungen der Lunge, ein Übergang der UFP von der Lunge in andere Körperteile und eine erhöhte Blutkoagulationsneigung gefunden. Ein leicht vermehrtes Auftreten von Schlaganfällen bei langjähriger Exposition gegenüber UFP und auch feinen Stäuben scheint möglich [19]. Wegen dieser nur schwachen Evidenz existiert kein eigener Arbeitsplatzgrenzwert für UFP. Sie sind Teil der alveolengängigen und einatembaren Staubfraktion, die mit dem allgemeinen Staubgrenzwert bewertet werden, sofern keine bioverfügbaren Gefahrstoffe mit spezifischer Toxizität enthalten sind.

Das Vorkommen von UFP an Flughäfen wurde in einigen Fällen in deren Randbereichen untersucht, um einen Einfluss auf Wohngebiete zu ermitteln. Dabei werden UFP-Konzentrationen von bis zu einigen $10\,000$ Partikeln pro cm^3 in verschiedenen zeitlichen Mittelwerten berichtet [20 bis 24]. Es gibt nur wenige Untersuchungen zu Vorkommen von UFP auf Vorfeldpositionen [25; 26]. Insbesondere die Studie von Møller et. al. [26] gibt für Beschäftigte im Außenbereich auf dem Vorfeld eine Exposition zwischen $28\,000$ und $50\,000$ Partikeln pro cm^3 an (Median, ca. 300 min Messdauer, personengetragene Messtechnik). Arbeiten im Flugzeug liegen zwischen $22\,000$ bis $34\,000 \text{ P/cm}^3$ und in Fahrzeugen auf dem Vorfeld im Bereich zwischen $20\,000$ und $68\,000 \text{ P/cm}^3$. Aus dieser großen Kohortenstudie lässt sich kein Zusammenhang zwischen UFP-Exposition und Lungen-, Herz-Kreislauf- und Krebserkrankungen ableiten [27].

Typische Eigenschaften der ultrafeinen Aerosole auf dem Vorfeld sind eine hohe Variabilität der Anzahlkonzentration mit dem Ort und der Zeit, abhängig von den Bewegungen der Luftfahrzeuge und Kraftfahrzeuge sowie den Windbedingungen. Die Partikelgrößen sind hauptsächlich kleiner als 40 nm . Die Zusammensetzung ist nicht genau bekannt, hauptsächlich wird Kohlenstoff/Ruß aus der Verbrennung von Kerosin angenommen. Zudem findet eine Veränderung des Aerosols über seine Lebensdauer statt.

Von den UVT wurde das Vorkommen ultrafeiner Partikel in der Luft an Vorfeldarbeitsplätzen nicht systematisch untersucht. Es gab jedoch mehrere Messkampagnen mit in der Regel stationären Messungen an belasteten Positionen und Zeiten bis ca. vier Stunden, im Unterschied zu den oben beschriebenen Studien [25; 26].

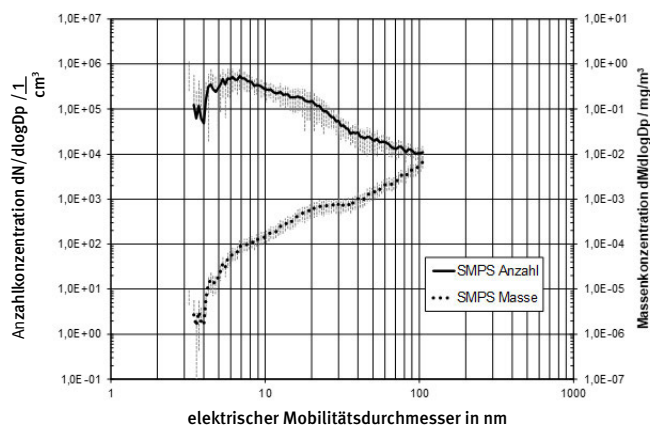


Bild 5. Zeitlicher Mittelwert der Anzahl- und Massenkonzentration des Aerosols hinter einer Boeing 737-300, APU-Betrieb (angenommene Dichte von 1 g/cm^3 , Standardabweichung als Fehlerbalken). APU = auxiliary power unit (Hilfstriebwerk).

Größenverteilungen der Partikelanzahl wurden mit einem Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS, TSI 3936L25 mit Klassierer 3080 und Differential Mobility Analyser DMA 3081 oder nano-DMA 3085, CPC TSI 3025A, Fa. TSI, Aachen) gemessen. Die Scanzeit betrug je 2 min, die Größenbereiche waren 14 bis 673 nm , 6 bis 229 nm oder 3 bis 108 nm . Bei der Probenahme wurde meistens ein Zwei-Liter-Ausgleichsgefäß eingesetzt, um temporäre Spitzen zu vermeiden. Ebenso fanden Monitore zur Bestimmung der Anzahlkonzentration und einer mittleren Partikelgröße Verwendung (DiSCmini, Fa. Testo, Lenzkirch). Das SMPS wurde jeweils ca. 30 bis 45 min eingesetzt, d. h. es konnten aufgrund der zeitlich begrenzten Park- und Arbeitsvorgänge nur Stichproben gewonnen werden. Die Angaben zu den Anzahlkonzentrationen sind aufgrund der unterschiedlichen Messtechnik nicht einfach direkt vergleichbar.

An einer Parkposition am Abfertigungsgebäude hinter einer Boeing 737-300 lag die Anzahlkonzentration im Mittel der 13 Messungen mit 30 min Gesamtmessdauer bei $247\,000 \pm 70\,300 \text{ P/cm}^3$ (Spanne von $136\,000$ bis $351\,000 \text{ P/cm}^3$), der Median der Partikelgröße bei $7,6 \text{ nm}$ (Bild 5). Eine andere Messkampagne an gleicher Position ergab Gesamtanzahlkonzentrationen zwischen ca. $38\,000$ und $700\,000 \text{ P/cm}^3$ (Mittel $328\,520 \pm 308\,300 \text{ P/cm}^3$, $n = 8$). Messungen mit mobilen Monitoren (DiSCmini) an der Person (Lademeister) und stationär bewegen sich im gleichen Konzentrationsbereich.

Neben einem dieselbetriebenen Stromaggregat nahe des Fahrwegs ergaben sich Gesamtkonzentrationen von im Mittel $200\,700 \pm 121\,500 \text{ P/cm}^3$ ($n = 13$, Spanne von $22\,700$ bis $345\,000 \text{ P/cm}^3$). Die Mediane des Durchmessers liegen hauptsächlich zwischen 29 und 42 nm , sind also größer als hinter dem Flugzeug, bedingt auch durch Abgase von Dieselmotoren anderer Fahrzeuge.

Die dargestellten Messungen der Anzahlgrößenverteilungen geben eindeutig die geringen Partikelgrößen in Verbindung mit hohen Anzahlkonzentrationen im Bereich des Vorfelds bei APU-Betrieb der geparkten Flugzeuge wieder. Die Variation der Anzahlkonzentration ist aufgrund wechselnder Bedingungen (Fahrbewegungen und Luftströmungen) sehr hoch und erschwert die Bewertung der Exposition gegenüber ultrafeinen Partikeln auf dem Vorfeld. Die im Rahmen der Messkampagnen untersuchten

Flugzeugtypen werden heutzutage nicht mehr im seinerzeitigen Umfang oder überwiegend mit veränderten Triebwerken eingesetzt. Flugzeuge mit moderneren Triebwerken dürften auch eine andere Qualität und Quantität der Emissionen verursachen. Die UVT werden dies in weiteren Messkampagnen verfolgen.

Die von den UVT erhaltenen Ergebnisse sind im Mittel höher als die bei den oben genannten Studien [25; 26] erhaltenen Anzahlkonzentrationen. Bedingt durch die unterschiedliche Messtechnik und vor allem durch die Wahl der Probenahmeorte, -zeiten und der Probenahme-strategie sind die Unterschiede jedoch nicht überraschend und ergänzen die vorliegenden Erkenntnisse.

3.6 Biomonitoring

Zum Biomonitoring bei Beschäftigten auf dem Flughafen-vorfeld liegen den UVT keine eigenen Messergebnisse vor. Auch in der wissenschaftlichen Literatur sind nur wenige Untersuchungen dazu publiziert, die hier kurz dargestellt werden.

In einer Studie an 41 Flughafenbeschäftigten und 31 nicht exponierten Kontrollpersonen am Flughafen Rom, die den Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und genotoxischen Effekten und oxidativen Veränderungen der DNA untersuchte, war auch eine Gruppe von hauptsächlich auf dem Flughafen-vorfeld Beschäftigten ($n = 24$, mutmaßlich hoch exponiert) eingeschlossen, die mit einer Gruppe von nur teilweise in der Nähe der Flugzeuge oder innerhalb des Terminals arbeitenden Personen ($n = 17$, mutmaßlich niedrig exponiert) und der Kontrollgruppe verglichen wurden [28].

Die mittlere Gesamt-PAK-Konzentration lag bei stationären Messungen an fünf Arbeitstagen auf dem Flughafen-vorfeld ($27,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) höher als im Flughafengebäude ($17,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) und dort höher als im Abflugbereich des Terminals ($9,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Allerdings war die Konzentration von Vier-bis-sechs-Ring-PAK auf dem Flughafen-vorfeld nicht höher als im Terminal. Die Benzo[a]pyrenkonzentration als Leitparameter der PAK lag auf dem Flughafen-vorfeld niedriger als im Flughafengebäude und mit $0,4 \text{ ng}/\text{m}^3$ deutlich unterhalb der Akzeptanzkonzentration nach TRGS 910 von $70 \text{ ng}/\text{m}^3$ [3].

Im Nachschicht-Urin am Ende der Arbeitswoche fanden sich keine Unterschiede in der Konzentration von 1-Hydroxypyren als Marker der inneren PAK-Belastung. Dies wird durch die geringe äußere Exposition erklärt.

Erhöhte Werte im Comet-Assay an Mundschleimhautzellen bei Beschäftigten auf dem Flughafen-vorfeld geben erste Hinweise auf frühe genotoxische Effekte und oxidative Veränderungen. Auf chromosomaler Ebene wurden (nicht signifikant) erhöhte Schwesterchromatid-Austauschraten und signifikant erhöhte Raten für Chromosomenaberrationen (ohne Einschluss von achromatischen Bereichen) bei Beschäftigten auf dem Flughafen-vorfeld gefunden. Weder in Mundschleimhautzellen noch in Lymphozyten fanden sich bei Beschäftigten auf dem Flughafen-vorfeld signifikant mehr Mikrokerne.

Allerdings ist die Fallzahl klein ($n = 17$) und mögliche andere Einflussgrößen auf die genotoxikologischen Parameter können in dieser Gruppe nicht charakterisiert werden. Auch fehlen detaillierte Angaben zur Exposition. Deshalb ist die Relevanz dieser Befunde schwer einzuschätzen.

In einer weiteren Studie wurden die Metalle Aluminium (Al), Cadmium (Cd) und Chrom (Cr) in exhalierendem Atemkondensat

bei 248 Beschäftigten auf dem Flughafen-vorfeld im Vergleich zu 210 Beschäftigten aus dem administrativen Bereich (Kontrollgruppe) gemessen [29].

Für Chrom und Aluminium wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen gefunden. Die Cadmiumkonzentrationen im Atemkondensat waren zwar bei den Beschäftigten auf dem Flughafen-vorfeld höher als bei jenen aus dem administrativen Bereich, aber insgesamt niedrig und im Bereich der Positivitätsgrenze (einer Art Bestimmungsgrenze). Nur etwa einem Drittel der Vorfeld-beschäftigten konnten überhaupt Cadmiumkonzentrationen oberhalb der Positivitätsgrenze gemessen werden. Sie lagen um etwa den Faktor 10 höher als in gesunden Kontrollpersonen einer weiteren Studie [30], aber im gleichen Bereich wie bei gesunden Kontrollpersonen einer dritten Studie [31]. Eine arbeitsmedizinisch-toxikologische Bewertung dieser Daten ist nicht möglich, da es keine Vergleichswerte zu den korrespondierenden Luftkonzentrationen oder den Gehalten im Urin der Personen gibt.

Die wenigen Daten zum Biomonitoring lassen keine konsistenten Rückschlüsse auf die bei Beschäftigten auf dem Flughafen-vorfeld auftretenden inneren Expositionen oder auf mögliche gesundheitliche Risiken oder Effekte zu. Studien mit bewertungsrelevanten Parametern in Blut oder Urin liegen nicht vor.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In umfangreichen Messungen haben die UVT in verschiedenen Arbeitsbereichen auf dem Flughafen-vorfeld die Belastung der Beschäftigten durch Gefahrstoffe untersucht. Auch wenn bei den Messungen vielfältig Worst-Case-Bedingungen eingestellt wurden, konnten in der Regel keine Überschreitungen der Arbeitsplatzgrenzwerte festgestellt werden. Im Gegenteil, die ermittelten Konzentrationen lagen häufig weit unterhalb der geltenden Grenzwerte.

Die Anzahlkonzentration ultrafeiner Partikel fällt auf dem Vorfeld sehr unterschiedlich aus und kann im ungünstigen Fall wenige hunderttausend Partikel pro cm^3 über den Tätigkeitszeitraum erreichen. Die häufigste Partikelgröße lag unter 10 nm bei APU-Betrieb. Dieselmotoren anderer Fahrzeuge emittieren größere Partikel.

Die beteiligten UVT kommen zu dem Rückschluss, dass in den untersuchten Bereichen und bei den untersuchten Tätigkeiten die Exposition gegenüber Gefahrstoffen als gesundheitlich unbedenklich anzusehen ist.

Um eine umfassende Aussage treffen zu können, müssen noch einige Spezialarbeitsvorgänge wie zum Beispiel das Enteisen von Verkehrsflugzeugen genauer untersucht werden. Auch die Untersuchungen zu UFP sollten noch weiter vertieft werden. ■

DANKSAGUNG

Wir danken der FRAPORT AG für die intensive Diskussion im Zusammenhang mit der Erstellung dieser Publikation.

Literatur

- [1] Breuer, D.; Flemming, B.; Sye, T.; Auras, S.; Heise, O.; Thullner, I. et al.: Gefahrstoffbelastung auf dem Flughafenvorfeld – Teil 1: Grundlagen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 78 (2018) Nr. 10, S. 399-404.
- [2] Technische Regel für Gefahrstoffe: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition (TRGS 402). GMBI. (2010) Nr. 12, S. 231-253; zul. geänd. GMBI. (2016) Nr. 43, S. 843-846.
- [3] Mattenklott, M.: Dieselmotor-Emissionen (Bestimmung des Gesamtkohlenstoffs im Feinstaub) (Kennzahl 7050). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 18. Lfg. IV/1997. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 1997 – Losebl.-Ausg. www.ifa-arbeitsmappeditonal.de/7050
- [4] Mattenklott, M.: Alveolengängige Fraktion (Kennzahl 6068). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Lfg. 1/2015. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 2015 – Losebl.-Ausg. www.ifa-arbeitsmappeditonal.de/6068
- [5] Mattenklott, M.: Einatembare Fraktion (Kennzahl 7284). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 31. Lfg. X/2003. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 2003 – Losebl.-Ausg. www.ifa-arbeitsmappeditonal.de/7284
- [6] Giesen, Y.; Werner, S.; Ngazi, R.; Dospil, J.: Benzol, Messverfahren Nr. 2 (Kennzahl 6265). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Lfg. 1/2019. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 2019. www.ifa-arbeitsmappeditonal.de/6265
- [7] Breuer, D.; Eisenhardt, A.: Kohlenwasserstoffgemische-RCP (Kennzahl 7735). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 43. Lfg. XI/2009. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 2009. www.ifa-arbeitsmappeditonal.de/7735
- [8] Assenmacher-Maiworm, H.; Heinrich, B.; Breuer, D.: Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), schwerflüchtig (Kennzahl 8408). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Lfg. 1/2018. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 2018. www.ifa-arbeitsmappeditonal.de/8408
- [9] Breuer, D.; Friedrich, C.; Moritz, A.: VOC (Volatile organic compounds, flüchtige organische Verbindungen) (Kennzahl 8936). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 45. Lfg. X/2010. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 2010. www.ifa-arbeitsmappeditonal.de/8936
- [10] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). BArbBl. (2006) Nr. 1, S. 41-55; zul. geänd. u. erg. GMBI. (2019) Nr. 7, S. 117-119.
- [11] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen (TRGS 910). GMBI. (2014) Nr. 12, S. 258-270; zul. geänd. GMBI. (2018) Nr. 28, S. 545.
- [12] Maynard, R. L.; Howard, B.: Particulate matter: properties and effects: consistency of epidemiological and toxicological studies. Hum. Exp. Toxicol. 25 (2006) Nr. 10, S. 559-579.
- [13] Möhlmann, C.: Ultrafeine (Aerosol)-Teilchen und deren Agglomerate und Aggregate (Kennzahl 0412-5). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 38. Lfg. IV/2007. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 2007. www.ifa-arbeitsmappeditonal.de/0412.5
- [14] Birmili, W.; Sun, J.; Weinhold, K.; Merkel, M.; Rasch, F.; Wiedensohler, A. et al.: Atmospheric aerosol measurements in the German Ultrafine Aerosol Network (GUAN) – Part 3: Black Carbon mass and particle number concentrations 2009 to 2014. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 75 (2015) Nr. 11-12, S. 479-488.
- [15] Wichmann, H. E.; Spix, C.; Tuch, T.; Wölke, G.; Peters, A.; Heinrich, H. et al.: Daily mortality and fine and ultrafine particles in Erfurt, Germany. Part 1: role of particle number and particle mass. Res. Rep. Health Eff. Inst. (2000) Nr. 98, S. 5-86.
- [16] HEI Review Panel on Ultrafine Particles, Understanding the Health Effects of Ambient. HEI Research Report (2013) Nr. 98. Hrsg.: Health Effects Institute, Boston, Massachusetts, USA.
- [17] Ostiguy, C.; Roberge, B.; Woods, C.; Soucy, B.: Engineered nanoparticles current knowledge about OHS risks and prevention measures. In: IRSST-Report (2010) Nr. R-656, S. 30-31. www.irsst.qc.ca/media/documents/pubirsst/r-656.pdf
- [18] Ohlwein, S.; Kappeler, R.; Kutlar J. M. et al.: Health effects of ultrafine particles: a systematic literature review update of epidemiological evidence. Int. J. Public Health 64 (2019) Nr. 4, S. 547-559. doi.org/10.1007/s00038-019-01202-7
- [19] Sjögren, B.; Lönn, M.; Fremling, K.; Feychting, M.; Nise, G.; Kauppinen, T. et al.: Occupational exposure to particles and incidence of stroke. Scand. J. Work Environ. Health 39 (2013) Nr. 3, S. 295-301.
- [20] Vorage, M.; Madl, P.; Hubner, A.; Lettner, H.: Aerosols at Salzburg Airport: Long-term measurements of ultrafine particles at two locations along the runway. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 79 (2019) Nr. 6, S. 227-234.
- [21] Hudda, N.; Fruin, S. A.: International airport impacts to air quality: size and related properties of large increases in ultrafine particle number concentrations. Environ. Sci. Technol. 50 (2016) Nr. 7, S. 3362-3370.
- [22] Fine, P.; Polidori, A.; Teffera, S.: General aviation airport air monitoring study. Environ. Sci. Technol. 47 (2013) Nr. 10, S. 5235-5242.
- [23] Ultrafine particles at airports: current understanding of ultrafine particle emissions and concentrations at airports in 2018. Hrsg.: Airports Council International: ACI Europe, Brüssel, Belgien 2018. <https://www.aeroport.fr/uploads/documents/voir-le-rapport-de-l'aci-europe-sur-les-particules-fines.pdf?v12>
- [24] Lufthygienischer Jahresbericht 2018. Hrsg.: Fraport AG, Frankfurt am Main 2018. www.fraport.de/de/nachbarschaft-region/entwicklung-standort-fra-umwelt/luftqualitaet.html
- [25] Ellermann, T.; Massling, A.; Løfstrøm, P.; Winther, M.; Nøjgaard, J. K.; Ketzel, M.: Assessment of the air quality at the apron of Copenhagen Airport Kastrup in relation to the occupational environment. Hrsg.: Aarhus University, Danish Centre for Environment and Energy (DCE). 2012, Nr. 15. www.dmu.dk/Pub/TR15.pdf
- [26] Møller, K. L.; Thygesen, L. C.; Schipperijn, J.; Loft, S.; Bonde, J. P. et al.: Occupational exposure to ultrafine particles among airport employees – combining, personal monitoring and global positioning systems. PLoS ONE 9 (2014) Nr. 9. doi:10.1371/journal.pone.0106671
- [27] Møller, K. L.; Thygesen, L. C.; Mikkelsen, S.; Brauer, C.: Helbredsskader og partikelforurening i Københavns Lufthavn, Kastrup. Slutrapport til Arbejds miljø forskningsfonden. Projektet er støttet af Arbejds miljø forskningsfonden. Nr. 22 (2016).
- [28] Cavallo, D.; Ursini, C. L.; Carelli, G.; Iavicoli, I.; Ciervo, A.; Perniconi, B. et al.: Occupational exposure in airport personnel: Characterization and evaluation of genotoxic and oxidative effects. Toxicology 223 (2006) Nr. 1-2, S. 26-35.
- [29] Marie-Desvergne C.; Dubosson, M.; Touri, L.; Zimmermann, E.; Gaude-Môme, M.; Leclerc, L. et al.: Assessment of nanoparticles and metal exposure of airport workers using exhaled breath condensate. J. Breath Res. 10 (2016) Nr. 3, S. 36006. doi: 10.1088/1752-7155/10/3/036006
- [30] Mutti, A.; Corradi, M.; Goldoni, M.; Vettori, M. V.; Bernard, A., Apostoli, P.: Exhaled metallic elements and serum pneumoproteins in asymptomatic smokers and patients with COPD or asthma. Chest 129 (2006) Nr. 5, S. 1288-1297. doi: 10.1378/chest.129.5.1288
- [31] Fox, J. R.; Spannhake, E. W.; Macri, K. K.; Torrey, C. M.; Mihalic, J. N.; Eftim, S. E. et al.: Characterization of a portable method for the collection of exhaled breath condensate and subsequent analysis of metal content. Environ. Sci. Process Impacts 15 (2013) Nr. 4, S. 721-809. doi: 10.1039/c3em30906a

Prof. Dr. rer. nat. Dietmar Breuer,
Dipl.-Chem. Thomas von der Heyden,
Dipl.-Phys. Carsten Möhlmann,
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.
Dipl.-Ing. Björn Flemming,
Dipl.-Ing. Thomas Sye,
Berufsgenossenschaft Verkehrswirtschaft Post-Logistik Telekommunikation (BG Verkehr), Hamburg.
Dr. phil. nat. Stefan Auras,
Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik (BGHW), Mannheim.
Dipl.-Ing. Oliver Heise, M.Sc.,
Dipl.-Ing. Ingrid Thullner,
Unfallkasse Hessen (UKH), Kassel.
Dipl.-Biol. Peter Welge,
Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA), Bochum.