



LUFTVERSCHMUTZUNG AN FLUGHÄFEN

*Ultrafeine Partikel, Lösungen und
erfolgreiche Zusammenarbeit*



THE ECOLOGICAL COUNCIL



Copenhagen Airports **CPH**

INHALTSVERZEICHNIS

Die dringende Herausforderung • 3
Luftschadstoffe • 4
Grenzwerte • 7
Emissionsstandards • 8
Stationäre Messungen • 9
Belastung der Mitarbeiter • 13
Schmutzquellen • 18
Potenzielle Lösungen • 19
Erfolgreiche Zusammenarbeit • 23
Empfehlungen • 25
Auswirkungen außerhalb des Flughafens • 26
Weitere Informationen • 27



Herausgegeben durch:



THE ECOLOGICAL COUNCIL

Blegdamsvej 4B
2200 Kopenhagen N
Dänemark
Telefon: (+45) 3315 0977
E-Mail: info@ecocouncil.dk
www.ecocouncil.dk

ISBN: 978-87-92044-37-2

Text: Kaare Press-Kristensen

Redaktionsgruppe: Lars Brogaard von 3F – Vereinigte
Föderation dänischer Arbeiter und Soeren Hedegaard Nielsen,
Jesper Aberly Jacobsen und
Lars Lemche vom Flughafen Kopenhagen.

Layout: DesignKonsortiet, Hanne Koch

Druck: Ecoprint, gedruckt nach den Prinzipien des
nordischen Schwanen-Umweltzeichens

Ausgabe: 1. Ausgabe, 1. Druck – Juli 2012



Die Broschüre kann von der Homepage des Danish Ecocouncil herunter geladen werden. www.ecocouncil.dk

Die Broschüre ist kostenlos und kann gegen Zahlung des Portos vom Danish Ecocouncil bezogen werden.

Das Zitieren, Kopieren und jegliche anderweitige Verwendung der Broschüre wird unter Angabe der Quelle

Danish Ecocouncil gern gesehen.

Die Broschüre wird vom Flughafen Kopenhagen, dem europäischen Sozialfonds und Danish Aviation finanziert.

DIE DRINGENDE HERAUSFORDERUNG

Personen, die nahe an Flugzeugtriebwerken (Haupttriebwerke und APU: Auxiliary Power Unit) und/oder Dieselmotoren (Fahrzeuge, Handling- und Loading-Geräte usw.) an Flughäfen arbeiten, sind einer komplexen Mischung potenziell gesundheitsgefährdender Schadstoffe in der Luft ausgesetzt. Die erste Studie, die dokumentiert, dass bei diesen Personen ein erhöhtes Auftreten von DNA-Schäden besteht, wurde vor fünf Jahren veröffentlicht. Das dänische staatliche Amt für Verletzungen am Arbeitsplatz hat bereits zahlreiche Krebsfälle anerkannt, die sehr wahrscheinlich durch die Luftverschmutzung an Flughäfen hervorgerufen wurden. Diese Verschmutzungen sind eine ernste, bisher aber nicht genügend beachtete Bedrohung, insbesondere für Arbeitskräfte an Flughäfen.

Die Hauptsorge bezieht sich auf die ultrafeinen Abgaspartikel von Flugzeugen und Dieselmotoren. Ultrafeine Dieselpartikel sind als Verursacher von Krebs, Herzerkrankungen, Blutgerinnseln, Gehirnblutungen und ernstesten Erkrankungen der Atemwege (Bronchitis, CURS) bekannt, wodurch das Risiko arbeitsbezogener Krankheit und eines vorzeitigen Todes steigt. Dennoch ist bisher nicht viel zur Toxizität der ultrafeinen Partikel von Flugzeugen bekannt. Seit mehr als einem Jahrzehnt ist bekannt, dass Dieselmotoren, die zum Loading und

Handling an Flughäfen verwendet werden, hohe Konzentrationen an ultrafeinen Partikeln ausstoßen. Im Laufe der letzten Jahre haben zahlreiche amerikanische Studien die hohe Konzentration von ultrafeinen Partikeln in den Abgasen von Flugzeugen dokumentiert. Allerdings überwachen bis heute nur sehr wenige Flughäfen die Emissionen ultrafeiner Partikel. Die Verlierer sind auf lange Sicht sowohl die Arbeitnehmer als auch die Arbeitgeber.

Diese Broschüre präsentiert eine neue umfassende Studie, die sich auf die Luftverschmutzung an dänischen Flughäfen konzentriert, auf Schadstoffquellen, die Belastung der Mitarbeiter mit ultrafeinen Partikeln und Maßnahmen zur Begrenzung der Verschmutzung. Die Broschüre ist daher in Bezug auf die Luftverschmutzung an Flughäfen auf dem neuesten Stand. Darüber hinaus zeichnet die Broschüre den Erfolg einer lösungsorientierten Zusammenarbeit mit dem Flughafen Kopenhagen, am Flughafen arbeitenden Unternehmen und Gewerkschaften, die die Mitarbeiter am Flughafen vertreten, auf. Jeder Flughafen kann durch lokale Maßnahmen vor Ort Verbesserungen erzielen, ebenso wichtig für eine Lösung des Problems ist aber auch ein Handeln internationaler Organisationen.

Millionen von Menschen, die an Flughäfen arbeiten, könnten durch potenziell gefährliche Luft beeinträchtigt sein.



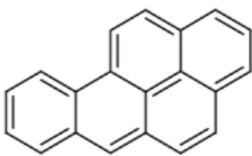


LUFTSCHADSTOFFE

Die Luftverschmutzung an Flughäfen besteht neben der am Flughafen produzierten Verschmutzung auch aus der regionalen Hintergrundbelastung sowie den Emissionen von entfernten Quellen, die mit dem Wind zum Flughafen getragen werden. Der Hauptschwerpunkt in dieser Broschüre ist die Verschmutzung, die an Flughäfen produziert wird und potentiell gefährliche Luftkonzentrationen erreicht. Die Hauptquellen der Luftverschmutzung an Flughäfen sind die Abgase von Flugzeugen und Dieselmotoren, direkte Treibstoffemissionen beim Betanken der Flugzeuge und größere Staubpartikel von Bremsen, Reifen, Asphalt, Erde usw. Die Hauptverschmutzer können aufgeteilt werden in: Polyzyklische aromatische Kohlenstoffe (PAK), flüchtige organische Verbindungen (FOV), anorganische Gase wie Schwefeldioxid (SO_2), sowie Stickstoffoxide (NO_x) und Feinstaub (PM).

Polyzyklische aromatische

Kohlenstoffe Polyzyklische aromatische Kohlenstoffe (PAK) sind eine Gruppe organischer Verbindungen, die aus geschmolzenen aromatischen Ringen bestehen. Zahlreiche PAK sind mutagenisch und/oder krebserregend.



Benzo(a)pyren

Benzo(a)pyren ist in geringen Konzentrationen krebserregend

Benzo(a)pyren ist ein PAK von besonderem Interesse, da die Verbindung bereits in geringen Konzentrationen krebserregend ist. Benzo(a)pyren wird oft als Indikatorverbindung für eine PAK-Verschmutzung verwendet. An Flughäfen entstehen PAK insbesondere durch die unvollständige Verbrennung in Flugzeugen und Dieselmotoren. PAK existieren sowohl als Feinstaubverbund als auch als Gase in Abgasen.

Flüchtige organische Verbindungen

Flüchtige organische Verbindungen (FOV) sind eine sehr große Gruppe von organischen Verbindungen, die hauptsächlich als Gase auftreten. Manche FOV, z. B. Benzen, sind krebserregend, während andere, z. B. Aldehyde, Reizungen von Augen und Atemwegen verursachen können. In Flughäfen rühren FOV überwiegend von Treibstoff her, der beim Tanken verdunstet, sowie von unverbranntem oder teilweise verbranntem Treibstoff in den Abgasen. Manche FOV werden im Abgas zu Feinstaub gebunden. Aldehyde werden auch durch fotochemische Reaktionen in der Umgebungsluft gebildet.

Anorganische Gase

Schwefeldioxid (SO_2) ist ein gesundheitsschädliches Gas, das zu Reizungen von Augen und Atemwegen führen kann. Flugzeugtreibstoff enthält hohe Konzentrationen an Schwefel; etwa 1.000 ppm. Im Vergleich beträgt der Schwefelgehalt von Dieseltreibstoff 10 ppm, d. h. rund 100 Mal weniger als der in Flugzeugtreibstoff. In Triebwerken wird der meiste Schwefel zu SO_2 oxidiert, der das Triebwerk als SO_2 oder Schwefelpartikel (z. B. Ammoniumsulfatpartikel) verlässt. Flugzeugtriebwerke sind eine Hauptquelle von SO_2 an Flughäfen. Stickstoffoxide (NO_x) bestehen aus Stickstoffoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO_2). NO ist in normalen Konzentrationen harmlos. Schwefeldioxid (SO_2) ist ein gesundheitsschädliches Gas, das zu Reizungen von Augen und Atemwegen führen kann. NO_x wird in Flugzeug- und Dieseltriebwerken gebildet, wenn freier Stickstoff (N_2) bei hohen Temperaturen oxidiert wird. Der Großteil des NO_x verlässt die Triebwerke als NO, aber ein bedeutender Teil oxidiert bei der Reaktion mit Ozon in der Umgebungsluft zu NO_2 .

	Größe, PM _{xx} (xx: Durchmesser in Mikrometern)	Begriff und Messung
Großpartikel	< 10	PM ₁₀ : Masse
Feinpartikel	< 2,5	PM _{2,5} : Masse
Ultrafeine Partikel	< 0,1	PM _{0,1} : Anzahl
Nanopartikel	< 0,03	PM _{0,03} : Anzahl

Tabelle 1: Partikel in der Luft

Charakterisierung der verschiedenen Partikeltypen.

Feinstaub

Feinstaub (PM), oder einfach Partikel, sind Feststoffe in der Luft. Eine weitere Klassifikation von Partikeln kann nach Größe in grob, fein, ultrafein und Nanopartikel vorgenommen werden (siehe Tabelle 1). Beachten Sie, dass die Menge von groben und feinen Partikeln in Masse gemessen wird, während ultrafeine und Nanopartikel in Zahlen gemessen werden. Die größeren Partikel bilden das Gros der gesamten Partikelmenge aber nur einen kleinen Teil der gesamten Partikelanzahl.

Umgekehrt bilden ultrafeine Partikel und Nanopartikel die Mehrzahl der gesamten Partikelanzahl, aber einen unbedeutenden Teil der gesamten Partikelmasse (siehe Abbildung 1). Organische, ultrafeine Partikel werden aufgrund der unvollständigen Verbrennung in Flugzeug- und Dieselmotoren gebildet, sowie als Kondensate in der Umgebungsluft. Flugzeugtriebwerke werden aufgrund des hohen Schwefelgehalts in Flugzeugtreibstoff als eine Hauptquelle anorganischer Schwefelpartikel angesehen.

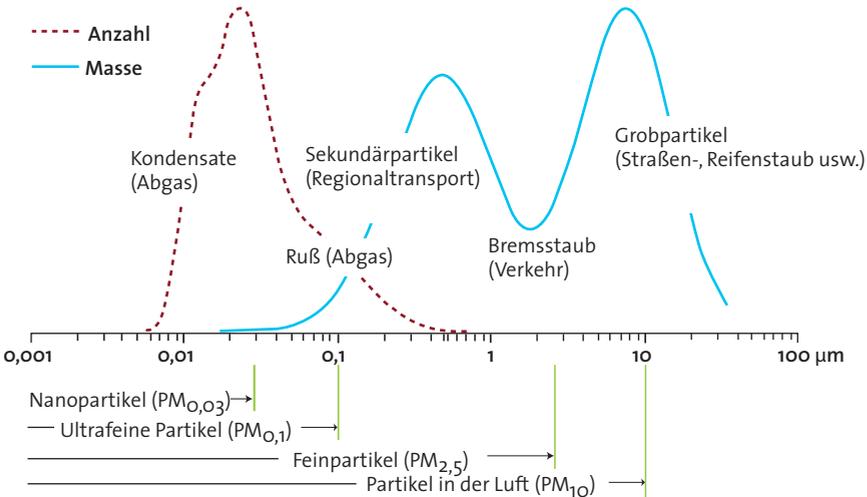


Abbildung 1: Masse und Anzahl von Partikeln in der Luft

Größere Partikel dominieren die gesamte Partikelmasse, während die Gesamtzahl der Partikel von ultrafeinen Partikeln und Nanopartikeln dominiert wird.



Seit Jahrzehnten lag das Hauptaugenmerk auf der Partikelmasse, überwiegend auf groben und feinen Partikeln. Der Hauptgrund dafür liegt darin, dass diese größeren Partikel leicht messbar waren und weil ein Zusammenhang zwischen Partikelmasse und Auswirkungen auf die Gesundheit bewiesen war. Zahlreiche neuere Untersuchungen berichten jedoch, dass ultrafeine Partikel (PM_{0,1}), in Zahlen gemessen, einen besseren Indikator für die gesundheitsschädliche Luftverschmutzung von lokalen Abgasen darzustellen scheint. Das wird durch die Tatsache erklärt, dass ultrafeine Partikel eine große Oberfläche für die Aufnahme toxischer Verbindungen (PAK, FOV usw.) haben und dass sie eine hohe Ablagerungsrate in den feinsten und entscheidenden Teilen der Lunge (den Alveolen) haben. Ein Teil der abgelagerten ultrafeinen Partikel, die die toxischen Verbindungen enthalten, wird von den Alveolen direkt in das Blut geleitet und durch den Körper transportiert. Darüber hinaus ergeben neuere Untersuchungen, dass Nanopartikel direkt durch die Nasenschleimhaut assim-

liert werden und das Gehirn erreichen. Schließlich ist man überzeugt, dass die chemische Zusammensetzung der ultrafeinen Partikel für ihre toxischen Eigenschaften entscheidend ist. Partikel mit einem hohen Rußgehalt (schwarzes Karbon) werden als die gefährlichsten Partikel angesehen, während anorganische Schwefelpartikel als am wenigsten gesundheitsschädlich betrachtet werden. Die eingeatmeten Partikel sind aber oft eine komplexe Mischung, da organische und anorganische Partikel nach dem Verlassen der Triebwerke aggregieren und weil PAK und FOV durch die Partikeloberflächen sorbiert werden.

GRENZWERTE

Die Belastung der Mitarbeiter bei der Arbeit mit Luftverschmutzungen ist durch Grenzwerte gemäß dem *Gesetz zum Schutz der Gesundheit und zur Unfallverhütung am Arbeitsplatz* geregelt. Die Grenzwerte schützen die Mitarbeiter nicht unbedingt vor einer gefährlichen Verschmutzungskonzentration und sollten daher als Kompromiss zwischen gesundheitlichen und technischen Aspekten sowie der wirtschaftlichen Seite betrachtet werden.

In Tabelle 2 werden die dänischen Grenzwerte für die Luftverschmutzung an Arbeitsstätten mit den allgemeinen dänischen (EU) Mindestgrenzen für die Luftqualität an öffentlichen Orten (Straßen usw.) verglichen. Dänische Flughäfen erfüllen alle Begrenzungen für die Luftqualität.

Tabelle 2 zeigt, dass an Arbeitsstätten im Vergleich zu öffentlichen Orten eine wesentlich höhere Luftverschmutzung akzeptiert wird. Das wird damit erklärt, dass Menschen nur eine begrenzte Zeit bei der Arbeit verbringen, empfindliche Personen werden an Arbeitsstätten nicht geschützt und weil vom Arbeitnehmer erwartet wird, ein gewisses Risiko bei der Arbeit hinzunehmen. Aber selbst die Grenzwerte für grobe und feine Partikel an öffentlichen Orten schützen die Gesundheit des Menschen nicht. In jedem Jahr wird geschätzt, dass diese

Luftverschmutzung alleine in Dänemark rund dreitausend vorzeitige Sterbefälle, zehntausende Atemwegserkrankungen und viele hunderttausende Krankheitstage verursacht, obwohl alle Partikelgrenzwerte eingehalten werden. In der EU werden jedes Jahr 300-500.000 vorzeitige Sterbefälle durch die Verschmutzung mit Feinpartikeln verursacht. Es ist bisher nach wie vor keine offizielle Schätzung von Sterbe- und Krankheitsfällen aufgrund von ultrafeinen Partikeln vorgenommen worden. Die Europäische Kommission hat sich aber die Verschmutzung mit ultrafeinen und Rußpartikeln als Schwerpunktbereich vorgenommen und wird höchstwahrscheinlich vor 2020 einen Grenzwert einführen.

Ultrafeine Partikel

In der dänischen Gesetzgebung zu Arbeitsstätten wird betont, dass Verbindungen ohne gesetzliche Grenzwerte ebenso gesundheitsschädlich sein können wie jene Verbindungen mit Grenzwerten. Ein Fehlen von Grenzwerten für ultrafeine Partikel bedeutet nicht, dass ultrafeine Partikel nicht gefährlich sind. Darüber hinaus wird in der dänischen Gesetzgebung zu Arbeitsstätten Folgendes angegeben: *An Orten, an denen eine gesundheitsschädigende Luftverschmutzung unvermeidbar ist, muss jede mögliche Anstrengung unternommen werden, um die Mitarbeiter zu schützen.* Das ist in Bezug auf ultrafeine Partikel besonders wichtig.

	Arbeitsstätten (8 Stunden-Durchschnitt, µg/m ³)	Öffentliche Orte (Jahresdurchschnitt, µg/m ³)
Benzo(a)pyren	–	0,001 ^{a)}
Benzen	1.600	5
Formaldehyd	400	–
Acrolein	115	–
Schwefeldioxid	1.300	125 ^{b)}
Stickstoffdioxid	90.000	40
Grobpartikel	3-10.000	40
Feinpartikel		25 ^{c)}
Ultrafeine Partikel	Noch keine Grenzwerte	
Nanopartikel		

Tabelle 2: Grenzwerte für die Luftverschmutzung

Grenzwerte für die Luftverschmutzung an Arbeitsstätten und an öffentlichen Orten.

Erklärung: a) Ab 2013, b) 24 Stunden-Durchschnitt, c) Ab 2015.

EMISSIONSSTANDARDS

Die EU reguliert den Ausstoß von Straßenfahrzeugen nach spezifischen Emissionsstandards namens *Euronormen* und von nicht straßengebundenen Fahrzeugen nach einer spezifischen Richtlinie, die die Emissionsstandards für nicht straßengebundene Fahrzeuge (mobile Maschinen) festlegt. Für das Handling und Loading an Flughäfen verwendete Dieselmotoren sind in der Richtlinie für nicht straßengebundene Fahrzeuge eingeschlossen. Die Emissionsstandards für NO_x und Partikel sind in Tabelle 3 dargestellt.

Diese Emissionsstandards müssen unter Standard-Testbedingungen erfüllt werden, um Fahrzeuge in der EU verkaufen zu können. Zahlreiche neue Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass die Emissionen unter Alltagsbedingungen im Vergleich zu den Testbedingungen höher sind und dass die Emissionen mit dem Alter der Fahrzeuge zunehmen. Darüber hinaus bestehen für nicht straßengebundene Fahrzeuge viele Ausnahmen von der allgemeinen Regelung.

Aus Tabelle 3 ist ersichtlich, dass neue Straßen- und nicht-straßengebundene Fahrzeuge heute wesentlich geringere Emissionen haben als vor 10-15 Jahren. Allerdings sind manche nicht straßengebundene Fahrzeuge, die an Flughäfen verwendet werden, oft älter als 15 Jahre. Die Emissionsstandards für leichtere Fahrzeuge (PKW und Lieferwagen) werden in mg/km angegeben und lassen sich nicht direkt mit Emissionen von nicht straßengebundenen

Fahrzeugen vergleichen, die in mg/kWh gemessen werden. Die Emissionsstandards für LKW und Busse werden ebenfalls in mg/kWh gemessen. Wenn in mg/kWh gemessene Emissionen verglichen werden, ist es klar, dass die Standards für LKW/Busse viel strikter sind als die Standards für nicht straßengebundene Fahrzeuge, was eine höhere Verschmutzung durch nicht straßengebundene Fahrzeuge zulässt. Schließlich zeigt Tabelle 3, dass die EU für leichte Dieselfahrzeuge (Euro V und VI) und Benzin-PKW mit Direkteinspritzung (Euro VI) einen Standard für die Partikelanzahl und damit eine bestimmte Grenze in Bezug auf ultrafeine Partikel eingeführt hat.

Die Emissionsstandards für Flugzeuge sind von der International Civil Aviation Organisation eingeführt worden. Die Emissionsstandards waren hauptsächlich auf FOV und anorganische Gase (insbesondere NO_x) und eine eher diffuse Messung von Partikeln als *Rauchzahl* ausgerichtet. Diese wird von der Reflexion auf einem Filterpapier berechnet, gemessen vor und nach dem Passieren einer bekannten Menge einer rauchgeladenen Probe. 2010 wurde entschieden, für 2013 eine Zertifizierungsanforderung für Partikel einzurichten, gefolgt von einem Zertifizierungsstandard für Partikel im Jahr 2016. Frühere Schätzungen geben an, dass Flugzeugtriebwerke im Vergleich zu modernen DieselpKW (Euro V) mehr als 1.000 Mal mehr Partikel (gemessen an ihrer Anzahl) pro kg Treibstoff ausstoßen.

Straßenfahrzeuge		NO _x / Partikel		Nicht straßengebundene Fahrzeuge	NO _x / Partikel
		Auto/Lieferwagen: mg/km und LKW/Busse: mg/kWh			mg/kWh
Euro III (2000-1)	Benzin-PKW	150 / -		Stufe I (1999)	A 9.200 / 540
	Diesel-PKW	500 / 50			B 9.200 / 700
	Lieferwagen	780 / 100			C 9.200 / 850
	LKW/Busse	5.000 / 100			-
Euro IV (2005-6)	Benzin-PKW	80 / -		Stufe II (2001-4)	E 6.000 / 200
	Diesel-PKW	250 / 25			F 6.000 / 300
	Lieferwagen	390 / 60			G 7.000 / 400
	LKW/Busse	3.500 / 20			D 8.000 / 800
Euro V (2009-10)	Benzin-PKW	60 / 5 ^{a)}	Partikelanzahl 600 · 10 ⁹	Stufe IIIA (2006-8)	H 4.000 / 200
	Diesel-PKW	180 / 5			I 4.000 / 300
	Lieferwagen	280 / 5			J 4.700 / 400
	LKW/Busse	2.000 / 20			K 7.500 / 600
Euro VI (2013-15)	Benzin-PKW	60 / 5 ^{a)}	Partikelanzahl 600 · 10 ⁹ ^{a)}	Stufe IIIB (2011-13)	L 2.000 / 25
	Diesel-PKW	80 / 5			M 3.300 / 25
	Lieferwagen	125 / 5			N 3.300 / 25
	LKW/Busse	400 / 7			P 4.700 ^{b)} / 25

Tabelle 3: Emissionsstandards für Straßenfahrzeuge und nicht straßengebundene Fahrzeuge
Kleine, nicht straßengebundene Fahrzeuge dürfen mehr verschmutzen als LKW.

Erklärung: a) Nur für Benzin-PKW mit Direkteinspritzung. b) Summe von HC und NO_x.

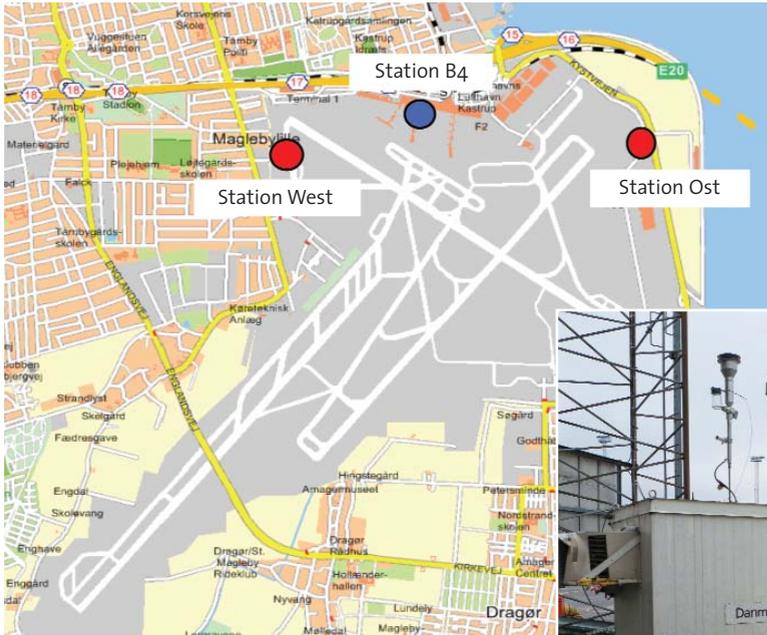


Abbildung 3:
Stationäre Messungen
Die stationären Messungen wurden an drei Orten vorgenommen.

STATIONÄRE MESSUNGEN

Die stationären Messungen wurden 2010-11 am Flughafen Kopenhagen vorgenommen, mit dem Zweck, detaillierte und langfristige Messdaten zu der Luftverschmutzung am Flughafen zu erhalten. Die Messstation wurde am Flughafenvorfeld nahe den Mitarbeitern aufgestellt, die für das Loading und Handling der Flugzeuge Gate B4 benutzen; als Station B4 bezeichnet (Abbildung 2). An Station B4 wurden alle Gruppen relevanter Schadstoffe (s. Seite 4) gemessen. Darüber hinaus wurden Stickstoffdioxid und Feinpartikel sowie ultrafeine Partikel an Station Ost und Station West gemessen, bei denen es sich um offizielle Messstationen handelt, die gemäß dem Umweltprüfzeichen verwendet werden. Die Station West befindet sich nahe den Häusern im Wohngebiet in der Nähe des Flughafens (Abbildung 3).

DCE an der Universität von Aarhus führte alle Erfassungen und Analysen im Zusammenhang mit den stationären Messungen durch. Die analysierten Luftproben der Station



Abbildung 2: Die Messstation
Die stationären Messungen wurden von DCE an der Universität von Aarhus durchgeführt.

B4 wurden 2,5 Meter über dem Bodenniveau genommen und nach 9 PAK, 33 FOV inkl. 9 Aldehyden, SO_2 , NO_x , Feinpartikeln, ultrafeinen Partikeln und Ruß (schwarzes Karbon) analysiert. Das Größenintervall für die gemessene Partikelanzahl war 6-700 nm und schließt somit manche Partikel ein, die größer als ultrafeine Partikel sind (über 100 nm). Die Partikelanzahl ist aber deutlich von Partikeln unter 100 nm dominiert und wird nicht sonderlich durch Partikel von 100-700 nm beeinflusst (Abbildung 4).

	Stationen am Flughafen			Grenzwerte		Referenzmesswerte		
	B4	Ost	West	AS	ÖB	HCAB	HCOE	LV
Benzo(a)pyren	0,00012	–	–	–	0,001	0,00034	–	–
Benzen	0,6	–	–	1.600	5	–	0,7	–
Formaldehyd	5,5	–	–	400	–	–	–	–
Acrolein	6,8	–	–	115	–	–	–	–
Gesamt VOC	5,4	–	–	–	–	–	5-3	–
Schwefeldioxid	1	–	–	1.300	125	1	–	–
Stickstoffdioxid	24	18	16	90.000	40	56	17	11
Feinpartikel	17	15	16	3-10.000	25	17	14	13
Ult. Part. 24 Std.	32-38.000	10.000	11.000	Noch keine Grenzwerte		13-16.000	6.000	4.000
Ult. Part. 6-22	30-90.000	5-20.000	–			5-10.000	–	5.000

Tabelle 4: Stationäre Messungen am Flughafen Kopenhagen

Die Anzahl ultrafeiner Partikel an Station B4 ist zwei bis drei Mal höher als an stark befahrenen Stadtstraßen.

Alle Werte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, außer ultrafeine Partikel, die in Partikelanzahl pro cm^3 gemessen werden. Die Messwerte für Benzo(a)pyren, FOV und SO_2 sind Durchschnittswerte im Monatsverlauf, während die Werte für NO_2 und Partikel Durchschnittswerte über mindestens ein halbes Jahr sind. Grenzwerte: AS: Arbeitsstätten, ÖB: Öffentliche Bereiche (siehe Tabelle 2 für weitere Erklärungen). HCAB: Eine der am stärksten verschmutzten Stadtstraßen in Dänemark, HCOE: Gebäudedach in Kopenhagen und LV: Lille Valby auf dem Land. Ult. Part.: Ultrafeine Partikel (6-700 nm) gemessen in Partikelanzahl pro cm^3 Referenz: DCE an der Universität von Aarhus, 2010 und 2011

Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse der stationären Stationen. Nicht alle PAK und FOV sind dargestellt, aber ausgelassene Ergebnisse verändern nicht das Gesamtbild. Zum Vergleich werden Grenzwerte und Konzentrationen von einer der am stärksten verschmutzten Stadtstraßen in Dänemark (HCAB), vom Stadthintergrund (HCOE, Gebäudedach in Kopenhagen) und vom Land (Lille Valby) dargestellt.

Vier Wochen lang wurden an zwölf anderen Gates am Flughafen Kopenhagen Synchronmessungen von NO_2 , Benzen und Feinpartikeln durchgeführt. Diese Ergebnisse zeigten, dass die stationären Messungen an Station B4 im Allgemeinen vergleichbar waren und daher repräsentativ für die Luftverschmutzung an den meisten anderen Gates (innerhalb ca. 25 %) am Flughafen sind.

Aus Tabelle 3 ist ersichtlich, dass die Konzentration aller Luftschadstoffe, außer ultrafeine Partikel, viel niedriger ist als die Grenzwerte für Arbeitsstätten und niedriger als die Grenzwerte für die Luftqualität an öffentlichen Orten. Die an den Flughafen-Gates gemessene Konzentration von

Stickstoffdioxid ist mit dem Stadthintergrund (HCOE) vergleichbar und viel niedriger als die Konzentration an stark befahrenen Stadtstraßen (HCAB), aber höher als auf dem Land (Lille Valby). Die Gesamtkonzentration der FOV war mit dem Stadthintergrund vergleichbar. Im Gegensatz dazu ist die Konzentration von Feinpartikeln mit der an stark befahrenen Stadtstraßen gemessenen Konzentration vergleichbar und damit erheblich höher als auf dem Land.

Das Bild aus Tabelle 3 unterscheidet sich aber deutlich bei den ultrafeinen Partikeln. Die durchschnittliche 24-Stunden-Konzentration ultrafeiner Partikel an Station B24 ist zwei bis drei Mal höher als an stark befahrenen Stadtstraßen (HCAB). Und die Anzahl ultrafeiner Partikel für die Stationen Ost und West waren nur 20-30 Prozent unter den Konzentrationen an stark befahrenen Stadtstraßen.

Sowohl die Konzentration an Station B4 als auch an der Station Ost war aber höher als an stark befahrenen Stadtstraßen während der Hauptarbeitszeiten (6-22).

Abbildung 4 veranschaulicht die Anzahl von Partikeln nach Partikelgröße an den Stationen B4 und Ost. Die an Station West vorgefundene Partikelgrößenverteilung ist nahe an der an Station Ost vorgefundene Verteilung. Zum Vergleich wird die Partikelverteilung an stark befahrenen Stadtstraßen (HCAB), Stadthintergrund (HCOE) und Land (Lille Valby) gezeigt.

Aus Abbildung 4 wird deutlich, dass die Partikelanzahl am Flughafen von Partikeln zwischen 6 - 40 nm dominiert wird. Diese Partikel sind Partikel mit einer hoher Ablagerungsrate an den feinsten Stellen der Lunge: den Alveolen. Diese Partikel werden üblicherweise direkt von Flugzeug- und Dieseltreibwerken ausgestoßen und bilden etwa 90 % der Partikelanzahl an Station B4 und etwa 70 % an den Stationen Ost und West. Dieser Partikelanteil ist der Hauptgrund dafür, weshalb

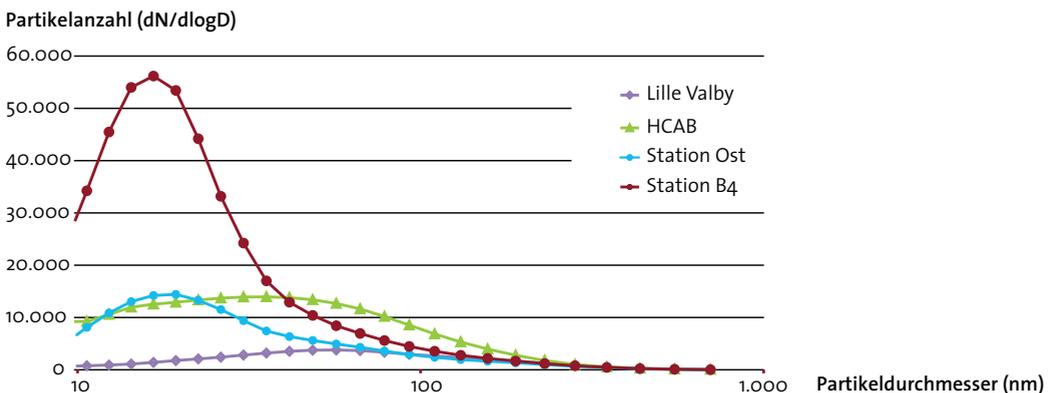
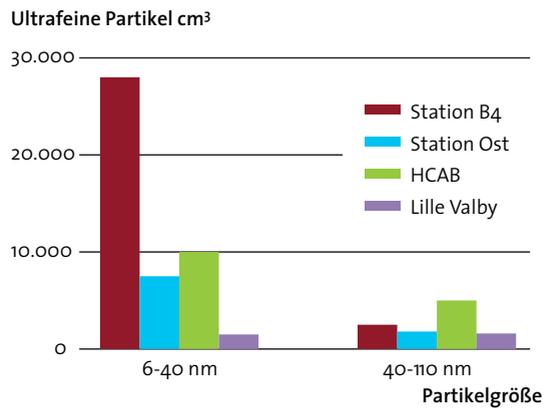
die Anzahl ultrafeiner Partikel am Flughafen um ein Mehrfaches höher ist als an stark befahrenen Stadtstraßen (HCAB). Die Partikelkonzentration an den Stationen Ost und West war insbesondere dann hoch, wenn der Wind vom Flughafen her kam.

Die Messwerte zeigten in gewissem Grad eine Konvergenz zwischen Schwefel und der Anzahl ultrafeiner Partikel in der Flughafenluft, was darauf hin deutet, dass ein beachtlicher Teil der ultrafeinen Partikel am Flughafen Schwefelpartikel sind. Die Hauptquelle der Schwefelpartikel ist aufgrund des hohen Schwefelgehalts im Flugzeugtreibstoff wahrscheinlich in den Flugzeugen zu sehen.

Abbildung 4: Ultrafeine Partikelgröße

Die Partikelanzahl am Flughafen wird von Partikeln von 6-40 nm dominiert.

Referenz: DCE an der Universität von Aarhus, 2011



Darüber hinaus unterstreicht Abbildung 4, dass die Anzahl der Partikel von 40-109 nm für die Station B4 und stark befahrene Stadtstraßen fast dieselbe ist, während sie an den Stationen Ost und West bedeutend geringer ist. Diese Partikel sind von besonderem Interesse, da zu diesem Partikelanteil toxische Rußpartikel gehören (Abbildung 1). Die Ergebnisse der Analyse des Rußes in den erfassten Feinpartikeln zeigte aber eine geringere Rußkonzentration in diesen am Flughafen erfassten Feinpartikeln als an den stark befahrenen Stadtstraßen (HCAB). Das legt nahe, dass Feinpartikel von Stadtstraßen gefährlicher sein könnten als Feinpartikel an Flughäfen. Das bedeutet aber nicht unbedingt, dass die ultrafeinen Partikel von 40-109 nm an Flughäfen weniger gefährlich sind als derselbe Partikelanteil an stark befahrenen Stadtstraßen, da Partikel von 40-109 nm nur einen kleinen und nicht unbedingt repräsentativen Teil

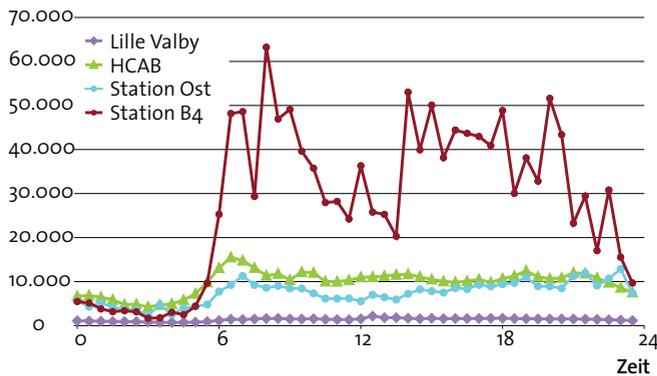
der Feinpartikel ausmachen. Die Partikelzusammensetzung könnte aber erheblich zwischen den verschiedenen Partikelgrößen variieren, was zu unterschiedlichen Toxizitäten führt.

Abbildung 5 zeigt die 24-Stunden-Variation in der Konzentration ultrafeiner Partikel am Flughafen im Vergleich zur Variation an stark befahrenen Stadtstraßen (HCAB) und Messwerten vom Land (Lille Valby).

Aus Abbildung 5 ist ersichtlich, dass die Konzentration ultrafeiner Partikel zeitlich von der Verkehrsaktivität am Flughafen und der stark befahrenen Stadtstraßen abhängig ist, d. h. die morgendlichen und abendlichen Stoßzeiten des Verkehrs spiegeln sich deutlich in der Konzentration ultrafeiner Partikel wider. Darüber hinaus wird hier deutlich, dass sehr hohe Spitzenwerte ultrafeiner Partikel zwischen 6 und 40 nm

den größten Teil des Tages beobachtet werden und dass dieser Partikelanteil die ultrafeinen Partikel am Flughafen dominiert. Im Vergleich dazu ist die Konzentration ultrafeiner Partikel auf dem Land ohne lokale Verschmutzungsquellen den ganzen Tag über niedrig und fast konstant. Während der Nacht ist die Partikelkonzentration am Flughafen und auf dem Land gleich. Die höchsten Halbstunden-Spitzenwerte wurden über 500.000 Partikel pro cm³ an Station B4 gemessen, über 130.000 Partikel pro cm³ an Station Ost und über 40.000 Partikel pro cm³ an stark befahrenen Stadtstraßen.

Partikelanzahl pro cm³ (6 - 40 nm)



Partikelanzahl pro cm³ (40 - 110 nm)

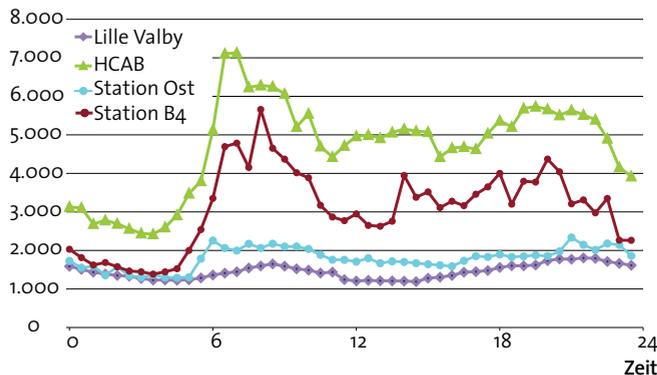


Abbildung 5: Variation ultrafeiner Partikel im Tagesverlauf

Die Konzentration ultrafeiner Partikel hängt deutlich von der Verkehrsaktivität ab

Referenz: DCE, Universität Aarhus, 2011



Flughafen Aalborg

Abbildung 6: Flughafen Aalborg und Flughafen Kopenhagen

Aufgrund der physischen Konstruktion kann der freie Abzug am Flughafen Aalborg (links) von drei Seiten her erfolgen, ist am Flughafen Kopenhagen (rechts) aber auf nur eine Seite beschränkt).



Flughafen Kopenhagen

BELASTUNG DER MITARBEITER

Die Messungen an dänischen Flughäfen zur Bestimmung der Belastung der Mitarbeiter wurden 2010-11 durchgeführt. Die Messungen wurden nahe bei den Mitarbeitern während der Arbeit durchgeführt, um die tatsächliche Belastung der Mitarbeiter mit ultrafeinen Partikeln im Verlauf eines Arbeitstages oder über längere Zeiträume zu erfassen.

Die mobilen Messungen wurden mit einem P-Trak (Modell 8525 Ultrafein-Partikelzähler) so nahe wie möglich bei Mitarbeitern beim Loading und Handling von Flugzeugen aufgenommen, ohne diese bei ihrer Arbeit zu stören. Mehrere verschiedene Kategorien von Mitarbeitern wurden über längere oder kürzere Zeiträume ihres Arbeitstages begleitet. Die mobilen Messungen wurden sowohl am Flughafen Kopenhagen als auch am Flughafen Aalborg durchgeführt, um an zwei sehr unterschiedlich aufgebauten Flughäfen zu messen. Allein auf den physischen Gegebenheiten basierend wird erwartet, dass der Flughafen Aalborg in Bezug auf die Luftverschmutzung nahe am "best case"

ist, da freier Emissionsabzug und Windaussetzung von drei Seiten her möglich ist (Abbildung 6, links). Im Vergleich dazu ist das Vorfeld am Flughafen Kopenhagen als Trichter mit nur von einer Seite her freiem Abzug und Windaussetzung von einer Seite her gebaut (Abbildung 6 rechts). Mitarbeiter des Flughafens Kopenhagen wurden geschult und maßen die Belastung der Mitarbeiter am Flughafen. The Danish Ecocouncil maß die Belastung der Mitarbeiter am Flughafen Aalborg. Das Größenintervall für die Partikelanzahl war 20-1000 nm und umfasst daher manche Partikel, die größer sind als ultrafeine Partikel (über 100 nm) und schließt die kleinsten ultrafeinen Partikel (unter 20 nm) aus. Daher können die Ergebnisse der mobilen Messungen nicht direkt mit den stationären Messungen verglichen werden, da ein bedeutender Teil der ultrafeinen Partikel unter 20 nm groß ist (Abbildung 4). Als Ergebnis unterschätzen die Messungen die Belastung der Mitarbeiter mit ultrafeinen Partikeln in absoluten Zahlen. Trotzdem ist man überzeugt, dass die Messungen in relativen Zahlen ein recht gutes Bild der Freisetzung bieten.

	Start (Zeit)	Ende (Zeit)	Gesamtzeit (Stunden: Min)	Durchschnitt (Part./cm ³)	Max. 1/2-Stunde (Part./cm ³)	Funktionen auf dem Flugfeld
21.01.2011	10:55	14:24	03:29	40.400	75.000	Gepäckabfertiger
27.01.2011	10:55	14:24	03:29	82.800	140.200	Gepäckabfertiger
02.02.2011	06:55	15:13	08:18	75.000	104.100	Gepäckabfertiger
04.02.2011	10:29	14:42	04:13	32.400	55.500	Gepäckabfertiger
15.02.2011	06:57	12:59	06:02	95.000	213.900	Gepäckabfertiger
16.02.2011	06:55	13:29	06:34	82.000	220.000	Gepäckabfertiger
25.01.2011	08:00	13:46	05:46	52.500	120.800	Arbeiter
Durchschnitt aller obigen Messwerte				65.700	132.800	–
Starker Berufsverkehr auf Stadtstraßen				40-45.000	50-60.000	–
Typische Konzentration in Büroumgebungen				2-4.000	3-6.000	–
Typische Konzentration auf dem Land				2-3.000	4-6.000	–

Tabelle 5: Belastung der Mitarbeiter mit ultrafeinen Partikeln am Flughafen Kopenhagen

Die Belastung der Mitarbeiter an Flughäfen ist viel höher als an stark befahrenen Stadtstraßen.

Die Anzahl der ultrafeinen Partikel ist als Partikelanzahl pro cm³ angegeben. Quelle: Flughafen Kopenhagen. Die Konzentrationen der Stadtstraßen sind aus den Berufsverkehrszeiten an Nørre und Øster Søgade in Kopenhagen, die Konzentrationen aus den Büroumgebungen und auf dem Land sind von mehrfachen Messungen über mehrere Jahre. Quelle: The Danish Ecocouncil.

Flughafen Kopenhagen

In Tabelle 5 sind die Ergebnisse der Messungen von der Mitarbeiterbelastung mit ultrafeinen Partikeln dargestellt.

Aus den Messwerten ist im Allgemeinen zu erkennen, dass die Belastung der Mitarbeiter mit ultrafeinen Partikeln am Flughafen größer ist als während des Berufsverkehrs an stark befahrenen Stadtstraßen in Kopenhagen. Der Durchschnitt aller am Flughafen erfassten Belastungsmesswerte ist höher als die Messungen im Berufsverkehr an stark befahrenen Stadtstraßen. Die durchschnittliche, maximal halbstündige Belastung ist mehr als die doppelte maximale Belastung an stark befahrenen Stadtstraßen. Viele Gepäckabfertiger auf dem Flughafenvorfeld atmen etwa 25 mal mehr ultrafeine Partikel ein als ein typischer Büroangestellter, manche Gepäckabfertiger sogar bis zu 50 Mal mehr. Die Messwerte zeigen deutlich große Unterschiede bei den

BOX 1: Billionen ultrafeiner Partikel

Wenn ein Gepäckabfertiger Luft einatmet, die im Schnitt 65.000 ultrafeine Partikel pro cm³ enthält (Tabelle 5), und 15 Mal pro Atemzug 0,5 Liter Luft (ruhige Arbeit) einatmet, ist das Ergebnis die Einatmung von 500 Millionen Partikeln pro Minute. Das entspricht 240 Billionen ultrafeinen Partikeln pro Arbeitstag, von denen ein beachtlicher Teil in den entscheidenden Teilen der Lunge (den Alveolen) abgelagert wird und die direkte Freisetzung einiger der auf die Partikeloberfläche gesorbt toxischen Verbindungen in den Blutkreislauf erlaubt. Die gesundheitlichen Auswirkungen sind schwer zu quantifizieren und vorauszusehen, aber diese Belastung ist definitiv nicht gesund.

Belastungen der Mitarbeiter, die die unterschiedlichen Aktivitäten widerspiegeln und die vom Flughafen, vom Standort und von der Tageszeit abhängen. Abbildung 7 zeigt die Belastung der Mitarbeiter über 6 Stunden Arbeit für einen Gepäckabfertiger. Die Abbildung zeigt, dass viele verschiedene Quellen zur Belastung der Mitarbeiter am Flughafen beitragen und dass die Unterschiede im Laufe eines Arbeitstages groß sind, insgesamt bis zu einem Faktor von 150:

Partikel pro cm³

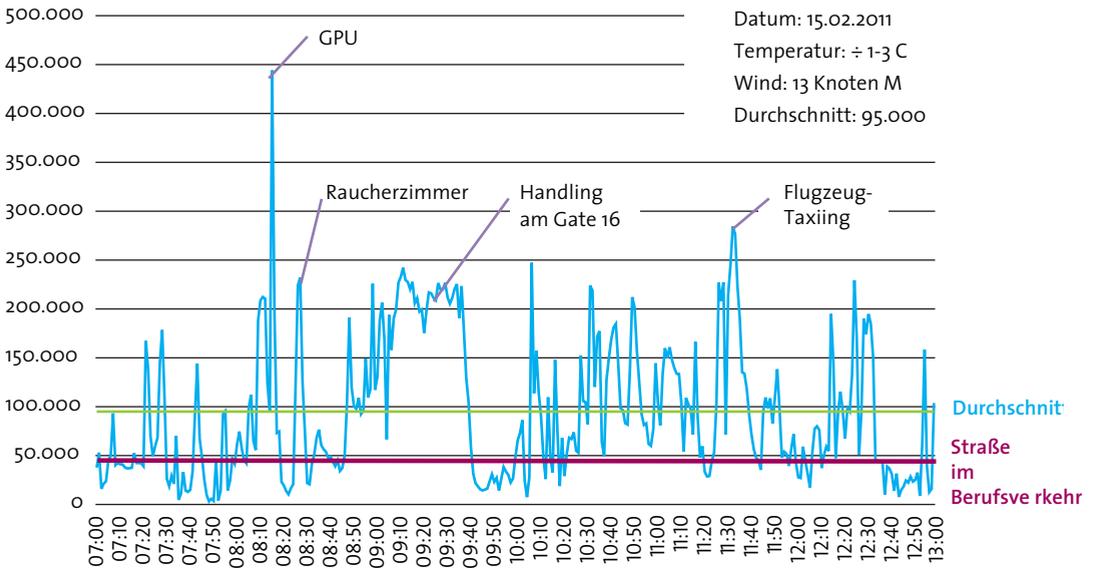


Abbildung 7: Belastung der Mitarbeiter am Flughafen Kopenhagen

Gepäckabfertiger, die auf dem Flughafenvorfeld arbeiten, sind besonders den ultrafeinen Partikeln ausgesetzt.

Quelle: Flughafen Kopenhagen.

Von etwa 3.000 Partikel pro cm³ um 07:50 bis etwa 445.000 Partikel pro cm³ 25 Min. später. Somit können die Verschmutzungsgrade erheblich variieren. Manche Spitzenkonzentrationen lassen sich leicht erklären, da die Verschmutzungsquelle direkt identifiziert werden kann. Andererseits trägt gerade die Belastung von 09:10 bis 09:40 erheblich zur Gesamtbelastung der Mitarbeiter bei (hohe Konzentrationen über einen langen Zeitraum), es können aber keine direkten Verschmutzungsquellen identifiziert werden. Das lässt

vermuten, dass die Verschmutzung wahrscheinlich mit dem Wind von einer Stelle des Flughafens zur anderen übertragen wird. Darüber hinaus ist erkennbar, dass der Konzentrationsgrad der ultrafeinen Partikel in einem abgeschlossenen Raucherzimmer derselbe ist wie die Konzentrationsgrade, die von Flugzeugen und Dieselmotoren am Flughafen herrühren. Schließlich zeigen die Daten, dass ein Gepäckabfertiger für den größten Teil des Tages wesentlich höheren Graden ultrafeiner Partikel ausgesetzt ist als jene, die an stark befahrenen Straßen während des Berufsverkehrs auftreten.



	Start (Zeit)	Ende (Zeit)	Gesamtzeit (Stunden: Min)	Durchschnitt (Part./cm ³)	Max. ½-Stunde (Part./cm ³)	Ort auf dem Flughafenvorfeld
10.02.2011	07:23	13:03	05:40	40.000	83.900	Garbage truck
22.02.2011	09:24	14:00	04:36	4.000	94.300	Car repair/garage
25.02.2011	08:42	12:11	03:29	2.900	81.000	Fire stations
Starker Berufsverkehr auf Stadtstraßen				40-45.000	50-60.000	–

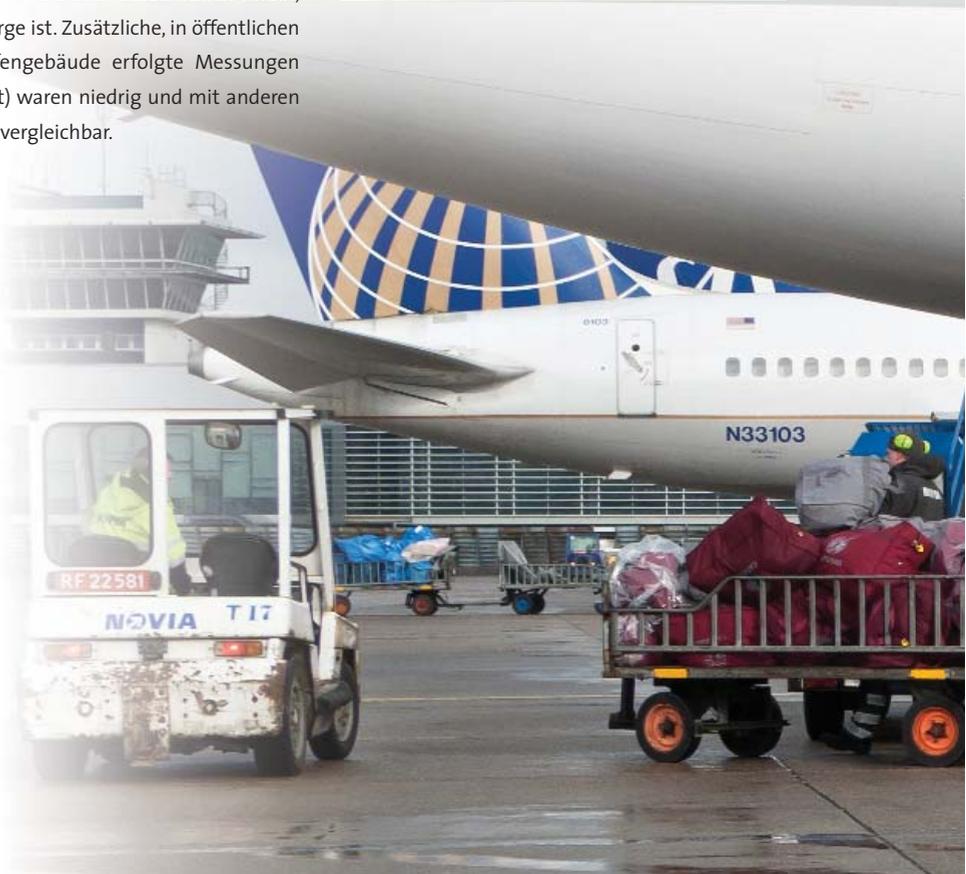
Tabelle 6: Messungen an relevanten Orten am Flughafen Kopenhagen

Mitarbeiter, die nicht direkt auf dem Flughafenvorfeld arbeiten, könnten auch stark belastet sein.

Die Anzahl der ultrafeinen Partikel ist als Partikelanzahl pro cm³ angegeben. Quelle: Flughafen Kopenhagen. Die Konzentrationen an den Stadtstraßen sind aus dem Berufsverkehr auf Nørre und Øster Søgade in Kopenhagen. Quelle: The Danish Ecocouncil.

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse der Messungen ultrafeiner Partikel an diversen anderen Stellen am Flughafen.

Aus Tabelle 6 geht hervor, dass Gruppen von Mitarbeitern, die in anderen Bereichen des Flughafens arbeiten, ultrafeinen Partikeln ausgesetzt sind. Diese Gruppen scheinen geringeren Konzentrationen ausgesetzt zu sein als Gepäckabfertiger. Sie sind aber ähnlichen Konzentrationen wie jenen ausgesetzt, die man während des Berufsverkehrs an stark befahrenen Stadtstraßen findet, was auch Anlass zur Sorge ist. Zusätzliche, in öffentlichen Bereichen der Flughafengebäude erfolgte Messungen (Daten nicht dargestellt) waren niedrig und mit anderen öffentlichen Gebäuden vergleichbar.



Flughafen Aalborg

Abbildung 8 zeigt die Messwerte der Belastung von Mitarbeitern während des Handlings am Flughafen Aalborg im Vergleich zu den Konzentrationen, die während des Berufsverkehrs an stark befahrenen Stadtstraßen in Kopenhagen (Nørre Søgade) auftraten.

Abbildung 8 macht deutlich, dass die Belastung von Mitarbeitern mit ultrafeinen Partikeln während des Handlings viel höher ist, als würde die Arbeit im Berufsverkehr an einer stark befahrenen Stadtstraße durchgeführt werden. Die starke Verschmutzung während des Handlings übertrifft die Straßenschmutzung bei Weitem. Die erste Spitze (1) ist ein Flugzeug-Taxiing von einem anderen Gate (mit den Haupttriebwerken) zum Start. Die zweite Spitze (2) ist ein drittes Flugzeug von einem benachbarten Gate mit seinem APU. Die dritte Spitze (3) ist ein Flugzeug, das seine Haupttriebwerke anlässt und sich zum Start bewegt. Die vierte Spitze (4) ist das gerade bearbeitete

Flugzeug, das sein APU einschaltet. Beachten Sie, dass in der Zeit zwischen den Spitzen 3 und 4 die Konzentration ultrafeiner Partikel nicht unter die Konzentration an stark befahrenen Stadtstraßen fällt. Das liegt an der Verschmutzung durch die für Handling und Loading verwendeten Dieselmotoren.

Von den Messwerten am Flughafen Aalborg her ist es klar, dass selbst an kleinen Flughäfen mit optimalen Abzugsbedingungen (Abbildung 6) eine ernste Belastung der Mitarbeiter mit ultrafeinen Partikeln auftreten kann.

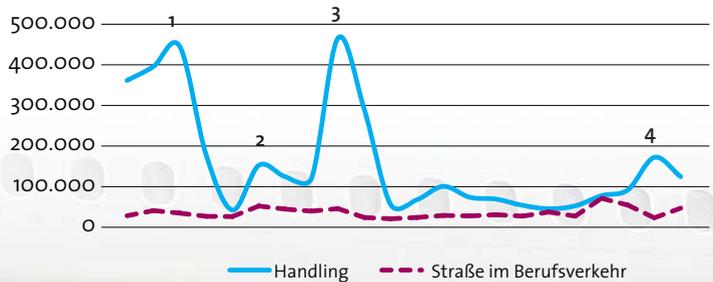


Abbildung 8: Belastung der Mitarbeiter beim Handling am Flughafen Aalborg (22 Min.)

Quelle: The Danish Ecocouncil.



SCHMUTZQUELLEN

Zur Quantifizierung der Verschmutzung aus unterschiedlichen Quellen am Flughafen Kopenhagen wurde eine detaillierte Studie zu den Emissionen der Schmutzquellen vorgenommen, gefolgt von Modellberechnungen zur Verschmutzung auf dem Flughafenvorfeld (Abbildung 9).

Die Abbildung macht deutlich, dass etwa 90 % der ultrafeinen Partikel von Quellen am Flughafen stammen. Das Gegenteil ist für Feinstpartikel der Fall, bei denen NO_x gleichmäßiger zwischen den Quellen sowohl innerhalb als auch außerhalb des Flughafens verteilt ist. Darüber hinaus ist es klar, dass Dieselmotoren vom Handling die dominante Quelle am Flughafen darstellen, und dass sie besonders zur Verschmutzung mit NO_x und Feinstpartikeln beitragen. Flugzeugtriebwerke (Haupttriebwerke und APU) tragen aber ebenso erheblich zur Verschmutzung mit NO_x und Feinstpartikeln bei. Der Beitrag vom Straßenverkehr innerhalb des Flughafens ist unbedeu-

tend. Eine Quantifizierung der Quellen ultrafeiner Partikel wurde nicht durchgeführt. Man ist aber überzeugt, dass sowohl Flugzeugtriebwerke als auch Dieselmotoren erheblich zur Verschmutzung mit ultrafeinen Partikeln am Flughafen beitragen. Die dominante Quelle hängt vom Ort und der lokalen Aktivität ab, d. h. Anzahl von in Betrieb befindlichen Dieselmotoren vs. Flugzeugtriebwerken. Während des Handlings am Flughafen Aalborg (Abbildung 8) steigerten Dieselmotoren den Ausgangsgrad der ultrafeinen Partikel auf etwa 55.000 Partikel pro cm^3 für 22 Minuten. Wenn diese Verschmutzung von der Gesamtkonzentration von Minute zu Minute abgezogen wird, dann tragen die Flugzeugtriebwerke etwa 105.000 Partikel pro cm^3 für durchschnittlich 22 Minuten bei. Somit tragen Flugzeugtriebwerke zu etwa 2/3 zur Gesamtbelastung mit ultrafeinen Partikeln bei, während Dieselmotoren in dieser spezifischen Handling-Situation etwa 1/3 beitragen.

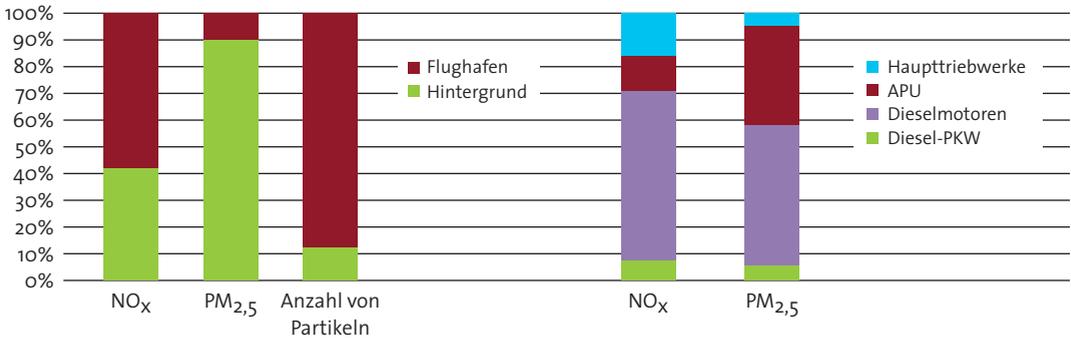


Abbildung 9: Emissionsquellen am Flughafen Kopenhagen

Links: Ultrafeine Partikel werden am Flughafen erzeugt. Rechts: Sowohl Dieselmotoren für das Handling als auch Flugzeugtriebwerke (Haupttriebwerke und das APU) tragen erheblich zur Verschmutzung auf dem Flughafenvorfeld bei.

Referenz: DCE an der Universität von Aarhus, 2011

BOX 2: Der Flughafen Kopenhagen hat einen Grundsatz zu umweltfreundlichen Motoren

Der Flughafen Kopenhagen und Unternehmen am Flughafen haben sich auf verbindliche Ziele für umweltfreundliche Motoren geeinigt. Ein nach wie vor steigender Anteil der Motoren am Flughafen muss zu umweltfreundlichen Motoren werden. Der Zweck ist die Steigerung des Ersatzes alter Motoren, die für Handling und Loading verwendet werden, durch neue und weniger verschmutzende Motoren (s. Tabelle 3). Die Definition umweltfreundlicher Motoren wird überprüft, während weniger verschmutzende Motoren entwickelt werden.

VERSCHMUTZUNGSLÖSUNGEN

Der Hauptschwerpunkt muss darauf gelegt werden, die Belastung der Mitarbeiter mit ultrafeinen Partikeln zu senken, da davon ausgegangen wird, dass ultrafeine Partikel das größte Gesundheitsrisiko am Flughafen in Bezug auf die Luftverschmutzung darstellen. Darüber hinaus könnte die Senkung der Belastung mit ultrafeinen Partikeln auch die Belastung mit anderen Schadstoffen senken.

Wie bereits erwähnt, sind die Flugzeugtriebwerke (Haupttriebwerke und APU) und Dieselmotoren die Hauptquellen ultrafeiner Partikel. Die dominante Quelle hängt vom Ort und der lokalen Aktivität ab, d. h. Anzahl von in Betrieb befindlichen Dieselmotoren vs. Flugzeugtriebwerken. Es spielen aber auch andere Faktoren eine Rolle, wie der Schwefelgehalt im Flugzeugtreibstoff und die spezifische Platzierung lokaler Dieselmotoren während des Handlings usw.

Die Lösungen lassen sich in zwei Hauptkategorien aufteilen:

1. Lösungen zum Vermeiden oder Beschränken des Entstehens der Verschmutzung.
2. Lösungen zum Vermeiden oder Beschränken der Belastung der Mitarbeiter.

Beschränken des Entstehens der Verschmutzung

Von einem beachtlichen Teil der in den Haupttriebwerken und dem APU gebildeten ultrafeinen Partikel

wird angenommen, dass sie Schwefelpartikel sind. Daher kann die Bildung ultrafeiner Partikel durch die Senkung des Schwefelgehalts im Flugzeugtreibstoff eingeschränkt werden. Dieses muss von den relevanten internationalen Organisationen entschieden werden. Eine andere Möglichkeit ist die Steigerung des Wirkungsgrads der Triebwerke und die Optimierung der Triebwerke, um die Bildung ultrafeiner Partikel zu mindern. Energieeffizienz und Emissionsenkung sind bereits Schwerpunktbereiche der International Civil Aviation Organization (ICAO). Es wäre aber eine Verbesserung dieser Entwicklung, wenn spezifische Aufmerksamkeit auf die Senkung der Emission ultrafeiner Partikel von Flugzeugen (wie die zahlenmäßige Begrenzung für Euro V-Diesel-PKW, s. Tabelle 3) gelenkt würde.

Viele Dieselmotoren, die für das Handling und Loading verwendet werden, können durch neuere Diesel- oder Elektromotoren ersetzt werden (Abbildung 10, links). Der Ersatz alter Dieselmotoren durch neue Dieselmotoren (Stufe IIIB) senkt die Emissionen von Feinpartikeln erheblich (Tabelle 3) und unter gleichbleibenden Voraussetzungen auch die Emissionen von ultrafeinen Partikeln (BOX 2). Darüber hinaus kann der Strom für Flugzeuge direkt von der zentralen Stromversorgung statt von einer dieselbetriebenen Ground Power Unit (GPU) geliefert werden. Das erfordert Strom an den Gates oder elektrische GPU, die als Verlängerungskabel verwendet werden (Abbildung 10 rechts).

Beschränkung der Belastung der Mitarbeiter

Im Allgemeinen ist der Weg zur Beschränkung der Belastung der Mitarbeiter die Eindämmung und Verteilung der ultrafeinen Partikel von den Orten weg, an denen Menschen arbeiten. Eine andere Möglichkeit ist natürlich der Schutz der Mitarbeiter mit Atemgeräten oder Gasmasken, um ein Einatmen der Verschmutzung zu verhindern. Geräte wie diese erhöhen jedoch das Unfallrisiko, machen die Arbeit schwieriger und ineffizienter und stellen andere Gesundheitsrisiken für ernste akute Lungenerkrankungen dar. Der erfolgversprechendste Ansatzpunkt ist daher die Vermeidung der Verbreitung ultrafeiner Partikel. Die beste Lösung ist die Eindämmung der Verschmutzung und zu verhindern, dass sie das Flugzeug verlässt. Partikelfilter für Flugzeugtriebwerke (Haupttriebwerke und APU) sind aber noch nicht entwickelt worden. Der Sicherheitsaspekt stellt für die Entwicklung von Filtern für die Haupttriebwerke eine einzigartige Herausforderung dar. Für APU dagegen könnten aber wahrscheinlich Filter entwickelt werden. Eine andere Möglichkeit ist das Vermeiden der Verwendung von Flugzeugtriebwerken nahe an Orten, an denen Menschen arbeiten, z. B. durch Einsatz elektrischer Pushback-Fahrzeuge, um Flugzeuge zum Start zu bewegen (Abbildung 11). Wenn ein Pushback unmöglich ist, kann das Flugzeug unter Verwendung nur eines



Abbildung 10: Strom kann heute die meisten Dieselmotoren ersetzen
Electrical engines cause no local pollution.



Haupttriebwerks (zwei Haupttriebwerke für vierstrahlige Flugzeuge) zur/von der Landebahn rollen, wodurch ebenfalls die Emissionen gesenkt werden. Alternativ dazu könnte das Flugzeug rückwärts zum Start bewegt werden (taxi), wodurch die Emissionen nur an der Landebahn auftreten würden, wo sich, wenn überhaupt, nur wenige Mitarbeiter befinden. Darüber hinaus könnten die Start-Markierungen zu entfernteren Orten verlegt werden, um die Belastung der Mitarbeiter durch die sie erreichende Verschmutzung von den Flugzeugtriebwerken einzuschränken. Es ist aber wichtig, dass das Verlegen der Start-Markierungen nicht die Wartezeit vor dem Start verlängert, wodurch Triebwerke und APU länger als nötig aktiv wären. Durch das möglichst lange Hinauszögern des Einschaltens der APU kann die Belastung der Mitarbeiter gesenkt werden (BOX 3). Das erfordert eine effiziente externe Klimaanlage und Belüftung an den Gates sowie eine Anpassung der Kapazität an den tatsächlichen Bedarf.



Abbildung 11: Elektrische Pushback-Fahrzeuge eliminieren lokale Emissionen
Die Verwendung elektrischer Pushback-Fahrzeuge zum Bewegen von Flugzeugen (taxi) zum Start eliminiert eine erhebliche lokale Schmutzquelle.

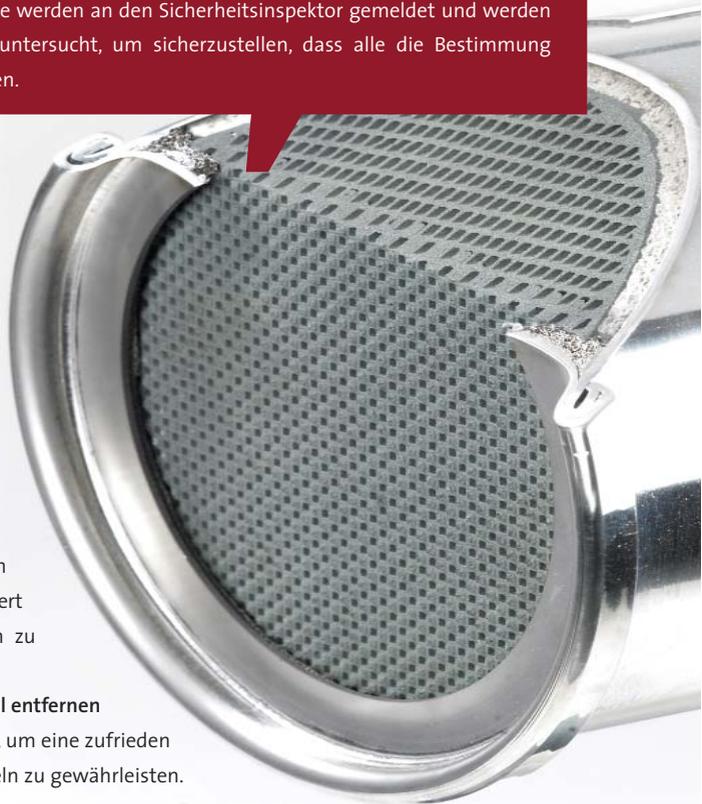
Viele für das Handling und Loading verwendete Dieselmotoren können mit Standard-Partikelfiltern zum Entfernen ultrafeiner Partikel nachgerüstet werden (Abbildung 12). Versuche am Flughafen Kopenhagen unterstreichen aber, dass eine zufrieden stellende Senkung nicht automatisch erzielt wird und dass Filter sorgfältig ausgewählt werden müssen. Eine andere Option ist das Abstellen der Dieselmotoren, wenn möglich, indem Ausschalt-Kampagnen für die Mitarbeiter, die beim Handling und Loading der Flugzeuge Dieselmotoren bedienen, durchgeführt werden. Bei manchen Fahrzeugen erfordert dies zusätzliche Batterien und Heizungen. Bei der Schulung neuer Mitarbeiter könnte ein besonderes Augenmerk auf die Bedeutung des Ausschaltens von Motoren in Leerlaufzeiten gelenkt werden. Darüber hinaus könnten Dieselmotoren an Orten verwendet werden, an denen die Belastung der Mitarbeiter mit Abgasen beschränkt ist. Mitarbeiter könnten auch daran erinnert werden, nicht länger als nötig an kritischen Orten zu warten.

Abbildung 12: Partikelfilter können ultrafeine Partikel entfernen

Die Filter für Dieselmotoren sollten getestet werden, um eine zufrieden stellende Wirksamkeit gegenüber ultrafeinen Partikeln zu gewährleisten.

BOX 3: Der Flughafen Kopenhagen hat eine APU-Richtlinie

Der Flughafen Kopenhagen hat APU-Regeln zur Beschränkung der Luftverschmutzung. APU dürfen nur für fünf Minuten nach dem Andocken des Flugzeugs und fünf Minuten vor dem erwarteten Ausdocken verwendet werden. Im Allgemeinen sollte aber der Einsatz der APU so eingeschränkt wie möglich erfolgen. Ausnahmen bestehen aber, abhängig von Außentemperatur, Flugzeugtyp usw. Alle Verstöße werden an den Sicherheitsinspektor gemeldet und werden weiter untersucht, um sicherzustellen, dass alle die Bestimmung beachten.



BOX 4: „Stell den Motor ab“-Kampagne am Flughafen Kopenhagen

Der Flughafen Kopenhagen betreibt seit fünf Jahren eine *Stell den Motor ab*-Kampagne, die sich an Personen richtet, die Dieselmotoren bedienen und auf dem Flughafen fahren. Bei der Schulung neuer Mitarbeiter liegt der Schwerpunkt auf dem Abstellen von Motoren. Der Zweck ist die Einschränkung der Luftverschmutzung durch Motoren im Leerlauf. Im Leerlauf laufende Motoren müssen nach spätestens einer Minute abgestellt werden. Es bestehen aber Ausnahmen, da manche Dieselmotoren laufen müssen. Alle Verstöße werden gemeldet, untersucht und sanktioniert.





Eine dritte Möglichkeit ist die Abschirmung der Mitarbeiter von der Verschmutzung. Abbildung 13 zeigt Messwerte ultrafeiner Partikel aus der Gepäckhalle am Flughafen Aalborg mit dem Vergleich zwischen „geschlossenem Gate“ und „offenem Gate“ (an sonnigen Tagen zum Verhindern der Überhitzung) zur Halle von 1-2 Minuten vor dem Start bis 16 Minuten nach dem Start. Aus Abbildung 13 wird deutlich, dass das Gate geschlossen sein sollte, um gegen ultrafeine Partikel abzuschirmen. Eine Überhitzung an sonnigen Tagen kann durch Sonnenschirme vermieden werden, wodurch das Gate

geschlossen bleiben kann. Bei geschlossenem Gate liegt die durchschnittliche Konzentration ultrafeiner Partikel bei etwa 18.000 Partikeln pro cm^3 , während die durchschnittliche Konzentration bei einem offenen Gate bei rund 142.000 Partikeln pro cm^3 liegt. Das Gate senkt so die Belastung in der Gepäckhalle während eines typischen Start-Verschmutzungszeitraums um fast 90 Prozent.

Partikel in der Gepäckhalle Partikel pro cm^3

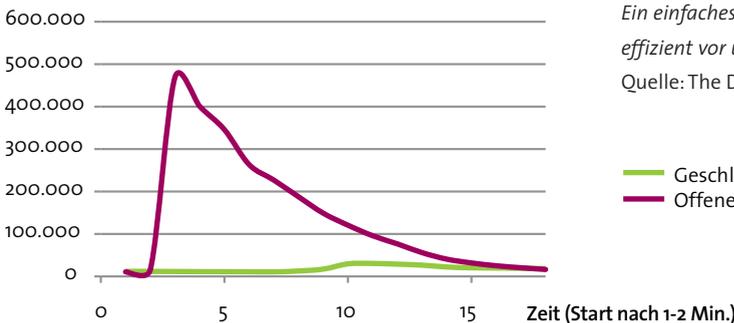


Abbildung 13: Mitarbeiter könnten vor ultrafeinen Partikeln abgeschirmt werden

Ein einfaches Gate kann manche Mitarbeiter effizient vor ultrafeinen Partikeln abschirmen.

Quelle: The Danish Ecocouncil.

— Geschlossenes Gate
— Offenes Gate

ERFOLGREICHE ZUSAMMENARBEIT

Seit vielen Jahren ist die Luftverschmutzung am Flughafen Kopenhagen ein heißes Thema bei den Mitarbeitern. Die Aufmerksamkeit auf das Thema wuchs in 2006, als eine internationale Studie ein arbeitsbezogenes Auftreten von DNA-Schädigungen bei Flughafenmitarbeitern dokumentierte. Der Wendepunkt kam aber zwei Jahre später, als das dänische staatliche Amt für Verletzungen am Arbeitsplatz 2008 erstmals die Ursache einer Krebserkrankung eines Flughafenmitarbeiters höchstwahrscheinlich in der arbeitsbezogenen Luftverschmutzung sah. Als Konsequenz wurde eine offizielle Arbeitsgruppe, bestehend aus Managern des Flughafens Kopenhagen, Betrieben am Flughafen und die Mitarbeiter des Flughafens vertretenden Gewerkschaften eingerichtet.

Die Arbeitsgruppe wird vom Flughafen koordiniert. Die Arbeitsgruppe beschloss schnell, dass der erste Schritt in der Durchführung detaillierter Untersuchungen der Luftverschmutzung auf dem Flughafenvorfeld war, wo die stärkste Luftverschmutzung erwartet wurde und viele Mitarbeiter den Großteil ihres Arbeitstages verbringen. Die Abteilung für Umweltwissenschaften der Universität von Aarhus wurde mit den im Herbst 2009 beginnenden Messungen beauftragt. Die Abteilung ist die führende dänische Forschungseinrichtung für stationäre Messungen der Luftqualität und Luftverschmutzungsmodelle.

2010 entschloss sich die 3F – Vereinte Föderation dänischer Arbeiter, einen Luftverschmutzungsspezialisten des The Danish Ecocouncil zur Beratung in der Arbeitsgruppe hinzuzuziehen. Das The Danish Ecocouncil ist in der

Messung ultrafeiner Partikel im Straßenverkehr mit mobilen Messgeräten erfahren. Darauf folgend beauftragte der Flughafen Kopenhagen im selben Jahr das The Danish Ecocouncil, ihn mit mobilen Messungen vertraut zu machen, um parallel zu stationären Messungen Messungen der Belastung der Mitarbeiter mit ultrafeinen Partikel durchzuführen.

Im Herbst 2010 wurde der erste Sonderbericht zu den stationären Messungen ultrafeiner Partikel veröffentlicht. Der Bericht dokumentierte im Vergleich zu stark befahrenen Stadtstraßen viel höhere Konzentrationen ultrafeiner Partikel am Flughafen. Der Bericht erhielt viel Beachtung in der Presse. Anfang 2011 kamen weitere Ergebnisse der Untersuchungen zur Belastung der Mitarbeiter, die wieder unterstrichen, dass ultrafeine Partikel eine wesentliche Herausforderung waren. Das änderte den Schwerpunkt in der Arbeitsgruppe vollkommen. Alle erkannten die Herausforderung der ultrafeinen Partikel und der Schwerpunkt wurde auf Lösungen gelenkt.



*Verletzung am Arbeitsplatz:
Stig Jeppesen erkrankte
aufgrund seiner Arbeit am
Flughafen an Krebs*

Lösungsorientierte Kooperation

Aus den Messungen wurde deutlich, dass sowohl Flugzeuge als auch Dieselmotoren zur Verschmutzung mit ultrafeinen Partikeln beitragen. Die Arbeitsgruppe veranstaltete Workshops, in denen alle Mitglieder der Arbeitsgruppe in kleineren Gruppen Brainstormings durchführte, um Lösungen zu finden. Einige Anregungen wurden umgehend eingeführt (Kenntnis der APU-Bestimmung, Stell den Motor ab-Kampagnen usw.), während andere eher komplexe Vorschläge (Taxiing der Flugzeuge zum/vom Start mit nur einem laufenden Triebwerk, Verlegung der Startmarkierungen usw.) im Detail untersucht wurden, um die Auswirkungen sowohl auf die Luftverschmutzung als auch auf die Sicherheit zu bewerten. Alle Mitglieder der Arbeitsgruppe waren sehr begeistert und fühlten sich zur Kooperation verpflichtet und nutzten ihre unterschiedlichen Kenntnisse und Ressourcen auf eine synergetische Weise, um neue Lösungen und Ideen zu diskutieren und zu testen, um die Belastung der Mitarbeiter mit ultrafeinen Partikeln zu senken. Die meisten der oben beschriebenen, vorgeschlagenen Maßnahmen zur Senkung der Belastung der Mitarbeiter sind ein Ergebnis dieser einzigartigen, lösungsorientierten Kooperation zwischen Flughafenmanagement, Betrieben am Flughafen und den die Mitarbeiter vertretenden Gewerkschaften.

„Niemand sollte durch seine Arbeit am Flughafen Kopenhagen krank werden.“

Kristian Duurhus, Manager, Flughafen Kopenhagen



Die folgenden Hauptmaßnahmen wurden zur Senkung der Verschmutzung mit ultrafeinen Partikeln am Flughafen Kopenhagen umgesetzt:

- > Investition in elektrische GPU (Abbildung 10 rechts).
- > Anforderungen an umweltfreundliche Triebwerke (BOX 2).
- > Steigerung des Anteils neuer (umweltfreundlicher) Triebwerke.
- > Nachrüstung von Partikelfiltern in Schneeräumfahrzeugen.
- > Installation von Batterien und Heizungen in Fahrzeugen, um Leerlauf zu vermeiden.
- > Kampagnen zur Sicherung der Einhaltung der APU-Bestimmungen (BOX 3).
- > Kampagnen zur Sicherung des Abschaltens von Triebwerken, wenn möglich.
- > Regeln für das Taxiing von Flugzeugen zum/vom Start mit nur einem Triebwerk.
- > Fortlaufende Messungen zur Überwachung und Verbesserung der Luftqualität.
- > Ein Aktionsplan mit Fristen und klarer Aufteilung der Verantwortlichkeiten.

Die Messungen und die Arbeitsgruppe werden fortgesetzt, bis die Herausforderung der ultrafeinen Partikel gelöst ist. Eine ausführliche, zwischen 2012 und 2015 ausgeführte Sammelstudie wird Erkrankungen derzeitiger und früherer Mitarbeiter am Flughafen klären.

Aufgrund der Messungen (Abbildung 6 und Abbildung 13) hat der Flughafen Aalborg entschieden, dass alle Flugzeuge mit Pushback-Fahrzeugen zum Start bewegt werden und dass alle neuen Motoren nach Möglichkeit elektrisch sein müssen.



EMPFEHLUNGEN

Die Belastung der Mitarbeiter mit ultrafeinen Partikeln von Flugzeug- und Dieselmotoren an Flughäfen ist eine dringende und bisher übersehene, arbeitsbezogene Herausforderung, die potenziell die Gesundheit von Millionen von Menschen beeinträchtigt. Die Lösung ist eine zielorientierte Anstrengung zur Begrenzung der Belastung der Mitarbeiter mit ultrafeinen Partikeln durch die relevanten internationalen Organisationen und an jedem einzelnen Flughafen.

Internationale Organisationen

Die International Civil Aviation Organization, der Airport Council International, der Europäische Transportarbeiterverband und die Europäische Kommission sind hier wichtige Institutionen. Es wird sehr empfohlen, dass diese Organisationen eine bessere Arbeitsumgebung an Flughäfen fördern, und zwar durch:

1. Untersuchung der Möglichkeiten zur deutlichen Senkung des Schwefelgehalts in Flugzeugtreibstoff.
2. Aufstellung eines verbindlichen Grenzwerts für die Emission ultrafeiner Partikel (in Zahlen gemessen) von neuen Flugzeugtriebwerken (sowohl Haupttriebwerke als auch APU).
3. Aufstellung eines Grenzwerts für ultrafeine Partikel im *Gesetz zum Schutz der Gesundheit und zur Unfallverhütung am Arbeitsplatz*.
4. Einführung einer Verpflichtung für Flughäfen, die Anzahl ultrafeiner Partikel zu überwachen.
5. Entwicklung und Erwerb sauberer APU, z. B. durch Partikelfilter, Brennstoffzellen usw.
6. Initiierung detaillierter Sammelstudien zur Erkrankung von derzeitigen und früheren Mitarbeitern an Flughäfen.
7. Unterstützung der Bemühungen an jedem einzelnen Flughafen zur Senkung der Belastung der

Mitarbeiter mit ultrafeinen Partikeln (siehe unten), z. B. durch Einrichtung von Internet-Plattformen, Konferenzen und detailliertes Informationsmaterial für den Wissensaustausch bezüglich idealer Lösungsansätze, neuer Untersuchungen, neuer Triebwerke usw.

Jeder einzelne Flughafen

Damit die Verbesserung der Arbeitsumgebung so schnell wie möglich umgesetzt werden kann, wird jedem Flughafen empfohlen:

1. Ein Komitee mit Schwerpunkt auf ultrafeine Partikel zu bilden, das aus relevanten Interessenvertretern wie z. B. dem Flughafenmanagement, Betrieben am Flughafen, Gewerkschaften usw. besteht.
2. Die Anzahl der ultrafeinen Partikel zu überwachen und die Belastung der Mitarbeiter mit ultrafeinen Partikeln durch zumindest die Einführung der in dieser Broschüre beschriebenen Maßnahmen auf Flughafenebene zu senken.
3. Spezifische und messbare Ziele mit Fristen für die Senkung ultrafeiner Partikel einzuführen.
4. Die allgemeinen internationalen Anstrengungen zur Senkung der Belastung der Mitarbeiter mit ultrafeinen Partikeln zu befolgen und spezifische Maßnahmen zur Begrenzung der Verschmutzung mit ultrafeinen Partikeln an ihrem Flughafen zu untersuchen.

3F – Vereinte Föderation dänischer Arbeiter steht gern zur Unterstützung der Flughäfen bei der Verbesserung ihrer Luftqualität und Arbeitsumgebung zur Verfügung. Ansprechpartner: Lars Brogaard, (+45) 21 49 09 78 / lars.brogaard@3f.dk

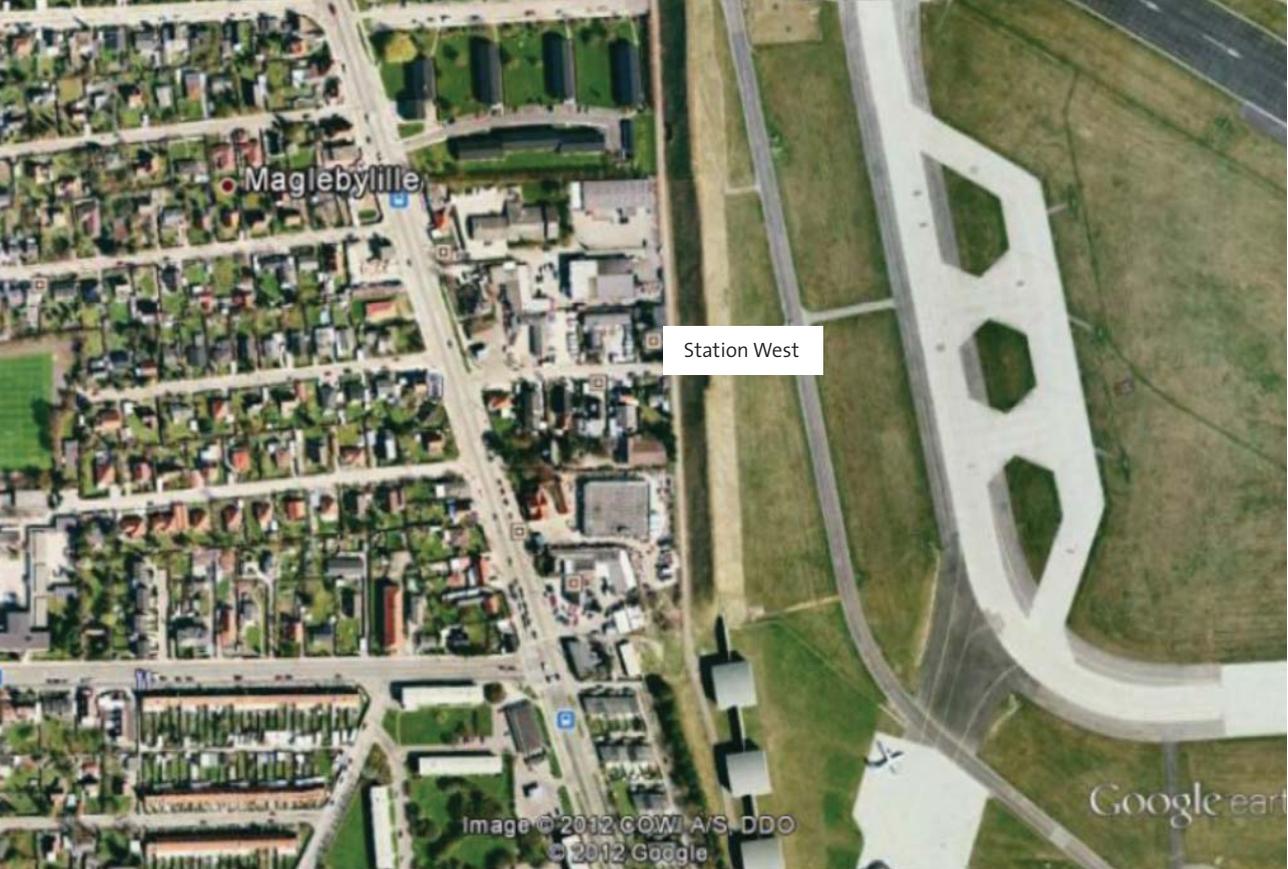


Abbildung 14: Der Flughafen Kopenhagen könnte die Partikelverschmutzung in der nahen City erhöhen

AUSWIRKUNGEN AUSSERHALB DES FLUGHAFENS

Die Luftverschmutzung von Flughäfen könnte die Luftqualität in Städten oder Wohngebieten in der Nähe von Flughäfen beeinträchtigen.

Die Messwerte (Tabelle 4) zeigen, dass die Konzentration von Benzo(a)pyren auf dem zentralen Flughafenvorfeld (Station B4) des Flughafens Kopenhagen weniger als die Hälfte der Konzentration an stark befahrenen Stadtstraßen (HCAB) ist, während die Konzentration von Benzen und Gesamt-VOC dem Stadthintergrund nahe kommen (HCOE). Die Konzentrationen von Schwefeldioxid sind dem Niveau der stark befahrenen Stadtstraßen nahe, aber weit unter dem Grenzwert. Die Verschmutzung mit PAK, FOV und Schwefeldioxid vom Flughafen scheint in Bezug auf die Luftqualität außerhalb des Flughafens nicht alarmierend zu sein. Die

Messwerte von Station West (Tabelle 4), nahe bei den Häusern im Ort *Maglebylille* zeigen, dass die Konzentration von Feinpartikeln und Stickstoffdioxid dem des Stadthintergrunds nahe kommt, aber höher ist als die Messwerte vom Land (*Lille Valby*), während die Konzentration ultrafeiner Partikel 25 Prozent unter den stark befahrenen Stadtstraßen (24-Std. Basis) liegt. Unter Berücksichtigung der Tageslicht-Messungen (6-22) von Station *Ost* wird erwartet, dass die Konzentration der ultrafeinen Partikel an Station West während derselben Zeiten die Konzentration an stark befahrenen Stadtstraßen übersteigt. Insbesondere die Verschmutzung mit feinen und ultrafeinen Partikeln vom Flughafen könnte daher die Luftqualität in der Stadt ein paar hundert Meter entfernt beeinträchtigen (Abbildung 14).

WEITERE INFORMATIONEN

Ansprechpartner

Kaare Press-Kristensen, The Danish Ecocouncil,
(+45) 22 81 10 27 / karp@env.dtu.dk

Lars Brogaard, 3F – Vereinte Föderation dänischer Arbeiter
(+45) 21 49 09 78 / lars.brogaard@3f.dk

Jesper Abery Jacobsen, Flughafen Kopenhagen,
(+45) 20 44 05 35 / j.jacobsen@cph.dk

Thomas Ellermann, Abteilung Umweltwissenschaft
an der Universität von Aarhus
(+45) 87 15 85 26 / tel@dmu.dk



LUFTVERSCHMUTZUNG AN FLUGHÄFEN

Ultrafeine Partikel, Lösungen und erfolgreiche Zusammenarbeit

Menschen, die nahe an den Abgasen von Flugzeugen und/oder Dieselmotoren an Flughäfen arbeiten, sind einer komplexen Mischung aus potenziell gesundheitsgefährdenden Luftschadstoffen ausgesetzt. Das dänische staatliche Amt für Verletzungen am Arbeitsplatz hat jetzt zahlreiche Krebsfälle anerkannt, die sehr wahrscheinlich durch die Luftverschmutzung an Flughäfen hervorgerufen wurden. Die Luftverschmutzung ist eine ernste Bedrohung für die Gesundheit am Arbeitsplatz, der leider bisher zu wenig Beachtung geschenkt wurde. Die Verlierer sind auf lange Sicht sowohl die Arbeitnehmer als auch die Arbeitgeber.

Die Hauptsorge bezieht sich auf die ultrafeinen Abgaspartikel von Flugzeugen und Dieselmotoren. Ultrafeine Dieselpartikel sind als Verursacher von Krebs, Herzerkrankungen, Blutgerinnseln, Gehirnblutungen und ernstesten Erkrankungen der Atemwege bekannt, wodurch das Risiko arbeitsbezogener Krankheit und eines vorzeitigen Todes steigt. Es ist aber nicht viel zur Toxizität der ultrafeinen Flugzeugpartikel bekannt.

Diese Broschüre präsentiert eine neue umfassende Studie, die sich auf die Luftverschmutzung an dänischen Flughäfen konzentriert, auf Schadstoffquellen, die Belastung der Mitarbeiter mit ultrafeinen Partikeln und Maßnahmen zur Begrenzung der Verschmutzung. Die Broschüre ist daher in Bezug auf die Luftverschmutzung an Flughäfen auf dem neuesten Stand. Darüber hinaus zeichnet die Broschüre den Erfolg einer lösungsorientierten Zusammenarbeit mit dem Flughafen Kopenhagen, am Flughafen arbeitenden Unternehmen und Gewerkschaften, die die Mitarbeiter am Flughafen vertreten, auf.

Das Hauptziel der Broschüre ist es, Entscheidungsträger und andere wichtige Anteilseigner nationaler und internationaler Organisationen sowie aller Flughäfen zu inspirieren, Maßnahmen zur Senkung der Belastung der Mitarbeiter durch die Luftverschmutzung mit ultrafeinen Partikeln von Flugzeug- und Dieselmotoren zu ergreifen.



THE ECOLOGICAL COUNCIL