

Schriftenreihe des Vereins für
Wasser-, Boden- und Lufthygiene

49

Herausgegeben von Prof. Dr. A. Heller

Luftverunreinigungen in der Umgebung von Flughäfen

von E. Lahmann und K.-E. Prescher

aus dem Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene
des Bundesgesundheitsamtes

LU 20
0049



Gustav Fischer Verlag · Stuttgart · 1979

Schriftenreihe des Vereins für
Wasser-, Boden- und Lufthygiene

49

Herausgegeben von Prof. Dr. A. Heller

Luftverunreinigungen in der Umgebung von Flughäfen

von E. Lahmann und K.-E. Prescher

aus dem Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene
des Bundesgesundheitsamtes



ISBN 3-437-30305-8

Gustav Fischer Verlag · Stuttgart · 1979

Umweltbundesamt

436/80

Es wird hier der Abschlußbericht zu dem Forschungsvorhaben „Luftverunreinigungen durch Luftfahrzeuge“ veröffentlicht, das im Auftrag des Bundesministeriums des Innern vom Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes durchgeführt wurde. Dem Bundesministerium des Innern wird für die Gewährung der erforderlichen Mittel gedankt. In den Bericht wurden auch Ergebnisse von Arbeiten aufgenommen, die im Rahmen anderer Untersuchungsprogramme anfielen.

Inhaltsverzeichnis

Seite

1. Einleitung	5
2. Meßprogramme	6
2.1 Berlin	6
2.1.1 Automatisch-kontinuierliche Messungen	6
2.1.2 Stichproben-Messungen	7
2.1.3 Staubbiederschlags-Messungen	9
2.2 Frankfurt (Main)	9
2.2.1 Automatisch-kontinuierliche Messungen	9
2.2.2 Stichproben-Messungen	9
2.2.3 Staubbiederschlags-Messungen	12
2.2.4 Weitere Messungen und Erhebungen	12
3. Meßergebnisse	13
3.1 Berlin	13
3.1.1 Automatisch-kontinuierliche Messungen	13
3.1.1.1 Schwefeldioxid	13
3.1.1.2 Kohlenmonoxid	19
3.1.1.3 Kohlenwasserstoffe	24
3.1.1.4 Stickstoffoxide	28
3.1.2 Stichproben-Messungen	28
3.1.3 Niederschlagsmessungen	39
3.1.3.1 Staubbiederschlag	39
3.1.3.2 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe im Staubbiederschlag	44
3.2 Frankfurt (Main)	51
3.2.1 Automatisch-kontinuierliche Messungen	51
3.2.1.1 Schwefeldioxid	51
3.2.1.2 Kohlenmonoxid	56
3.2.1.3 Kohlenwasserstoffe	59
3.2.1.4 Stickstoffoxide	59
3.2.2 Stichproben-Messungen	66
3.2.3 Niederschlagsmessungen	67

	Seite
3.2.3.1 Staubniederschlag	67
3.2.3.2 Polycyclische aromatische Kohlen- wasserstoffe im Staubniederschlag	69
3.2.4 Schwebstaub	73
3.2.5 Flugbewegungen	73
4. Zusammenfassende Bewertung der durch den Luft- verkehr verursachten Immissionen in Berlin und Frankfurt (Main)	76
5. Die Luftverunreinigung durch Flugzeugabgase nach Angaben in der Literatur	80
5.1 Emissionen	80
5.2 Abgas-Ausbreitungsmodelle	92
5.3 Immissionen im Bereich von Flughäfen	93
6. Zusammenfassung	98
Summary	99
Literatur	101

Luftverunreinigungen in der Umgebung von Flughäfen

Von E. Lahmann und K.-E. Prescher

1. Einleitung

Das Umweltprogramm der Bundesregierung vom Jahre 1971 [1] forderte Untersuchungen über Art und Ausmaß der Luftverunreinigungen durch Luftfahrzeuge. Aufgrund dieser Aufgabenstellung wurde das Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes vom Bundesministerium des Innern mit der Durchführung von Luftuntersuchungen in der Umgebung der Flughäfen in Berlin-Tempelhof und in Frankfurt (Main) beauftragt. Der Flughafen Berlin-Tempelhof zeichnete sich durch günstige Voraussetzungen zur Einrichtung von Meßstationen in unmittelbarer Nähe startender und landender Flugzeuge aus. Er ist inzwischen für den Linienflugverkehr stillgelegt. Der Flughafen Frankfurt weist den stärksten Luftverkehr in Deutschland auf und zählt zu den verkehrsreichsten Europas.

Die Luftuntersuchungen in den Flughafenbereichen wurden in Berlin von September 1973 bis August 1974 und in Frankfurt von Januar bis Dezember 1975 - also jeweils 12 Monate lang - vorgenommen. Ihre Ergebnisse werden im folgenden dargestellt und mit den Immissionen in der Umgebung anderer Flughäfen im In- und Ausland sowie in städtischen Gebieten verglichen.

Ein zusätzliches Untersuchungsprogramm, das erst im Jahr 1977 begonnen werden konnte, richtete sich - in Berlin und in Frankfurt - auf die Bestimmung von polycyclischen Kohlenwasserstoffen in Staubbiederschlägen. Dessen Ergebnisse sind im Zusammenhang mit Befunden aus der Sowjetunion [2,3,4] von besonderem Interesse, nach denen Benz(a)pyren im Flugzeugabgas und mit erhöhten Gehalten in Bodenproben in unmittelbarer Rollbahnnähe festgestellt wurde.

2. Meßprogramme

2.1 Berlin

2.1.1 Automatisch-kontinuierliche Messungen

In unmittelbarer Nähe des Flugplatzes Tempelhof wurden an zwei Meßstationen - Station Neukölln und Station Tempelhof - , deren Lage in der Abbildung 1 eingezeichnet ist, die Immissionskonzentrationen folgender Substanzen fortlaufend registriert und grundsätzlich über Zeitabschnitte von 30 Minuten ausgewertet:

Schwefeldioxid

Kohlenmonoxid

Kohlenwasserstoffe

Stickstoffoxide

Die Meßstation Tempelhof lag dicht hinter dem westlichen Ende der Rollbahn und war in einem aufgebockten Autoanhängerwagen untergebracht. Die Luft wurde in ca. 1,5 m Höhe über Boden angesaugt. Die Meßstation Neukölln befand sich in einem Gebäude der Technischen Fachhochschule Berlin an der nördlichen Seite der östlichen Einflugschneise. Die Ansaugstelle für die Probeluft lag etwa 15 m über Boden.

Schwefeldioxid wurde mit einem nach coulometrischen Prinzip arbeitenden SO_2 -Monitor PW 9700 der Firma Philips [5] an der Meßstation in Neukölln gemessen. Diese Messungen sollten die allgemeine lufthygienische Situation im Untersuchungsgebiet im Vergleich zu langjährigen Untersuchungen an anderen Stellen in Berlin [6,7] kennzeichnen. Im Abgas von Luftfahrzeugen hat Schwefeldioxid keine besondere Bedeutung [8].

Kohlenmonoxid wurde mittels der nichtdispersiven Infrarotspektrometrie in Tempelhof (URAS-Gerät der Firma Hartmann & Braun [9]) und in Neukölln (UNOR-Gerät der Firma Maihak [9]) gemessen.

Die Summe der gasförmigen Kohlenwasserstoffe wurde an der Meßstation in Tempelhof mit einem GK 10-Gerät der Firma Beckman (Flammenionisationsdetektor) [10] bestimmt. Das Gerät wurde mit

Methan-Prüfgasen kalibriert.

Ebenfalls in Tempelhof, jedoch nur über einen Zeitraum von 3 Monaten, wurden Stickstoffoxide ($\text{NO} + \text{NO}_2$; NO_x) mit dem elektrochemischen Picos-Gerät der Firma Hartmann & Braun [11, 12] gemessen.

Die automatisch erfaßten Meßdaten wurden von einem elektronischen Meßstellenumschalter in Abständen von 6 Minuten abgefragt und von einer Lochstreifenstanze auf Lochstreifen festgehalten. Die Lochstreifen wurden mit Hilfe einer Rechenanlage verarbeitet. Dabei wurde aus jeweils 5 abgefragten Werten ein "30-Minuten-Mittel" für die weiteren Auswertungen gebildet.

2.1.2 Stichproben-Messungen

Unmittelbar am Rand des Flughafens wurden in beiden Richtungen der Start- und Landebahn direkt unter der Einflugschneise sowie etwa 100 m seitlich hiervon (s. Abb. 1) monatlich zwei Serien von Stichprobenmessungen ausgeführt, bei denen folgende Fremdstoffe in der Luft analysiert wurden: Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Stickstoffoxide ($\text{NO} + \text{NO}_2$), Phenol, Formaldehyd, Chloride, Fluoride, Schwebstaub und Blei. Die Probenahmedauer für die Einzelbestimmungen betrug für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide eine halbe Stunde, für Schwebstaub und Blei fünf Stunden und für die übrigen Substanzen eine Stunde, jeweils in der Zeit von 7 bis 21 Uhr.

Schwefeldioxid wurde photometrisch nach West und Gaeke [13, 14], Stickstoffdioxid nach Saltzman [15, 16] - ebenfalls die Stickstoffoxide, nach Oxydation des NO mittels Oxydationsmasse der Firma Dräger [17] - bestimmt. Auch für Phenol [18] und Formaldehyd [19, 20] wurden photometrische Analysenverfahren angewendet. Chloride und Fluoride wurden nach Probenahmen in Standard-Impingern [21] mittels ionenspezifischer Elektroden bestimmt [22, 23]. Der Schwebstaub wurde auf Glasfaserfiltern von High-Volume-Sampler-Geräten [24, 25] abgeschieden und gewogen; sein Bleigehalt wurde atomabsorptionsspektrometrisch analysiert [26, 27].

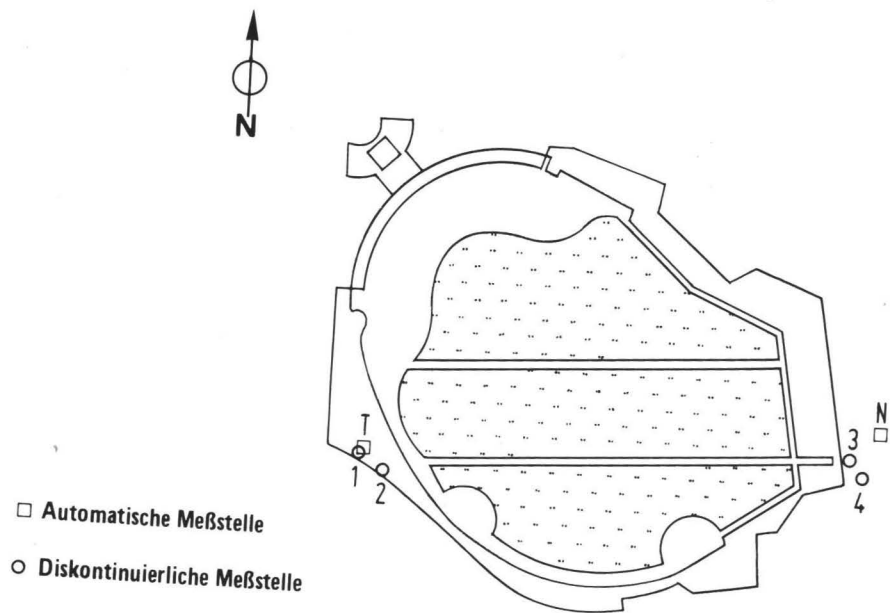


Abbildung 1: Meßstellenplan Berlin-Tempelhof

2.1.3 Staubniederschlags-Messungen

Im Meßjahr 1973/74 wurden an 42 Stellen in der Umgebung der Flughäfen Tempelhof und Tegel - jeweils an beiden Enden der Start- und Landebahnen, in verschiedenen Entfernungen und quer zur Flugrichtung - , im Bereich der Einflugschneisen und an zu Vergleichen dienenden weiteren Orten Bergerhoff-Geräte [28] aufgestellt. Die Lage dieser Meßorte ist in Abbildung 2 eingezeichnet. Der Inhalt der Auffanggefäße wurde in monatlichen Abständen auf Gesamtstaub, auf benzollösliche Anteile [29] und auf Blei [27] untersucht.

Im Rahmen des 1977/78 durchgeführten zusätzlichen Untersuchungsprogrammes wurden an 6 Meßstellen am Rand des Flughafens Berlin-Tegel (sowie an weiteren Stellen in Berlin und im Bundesgebiet) Bergerhoff-Geräte exponiert. Im aufgefangenen Staub wurden polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe durch Hochleistungs-Flüssigkeits-Chromatographie mit Mehrwellenlängendetektion bestimmt [30].

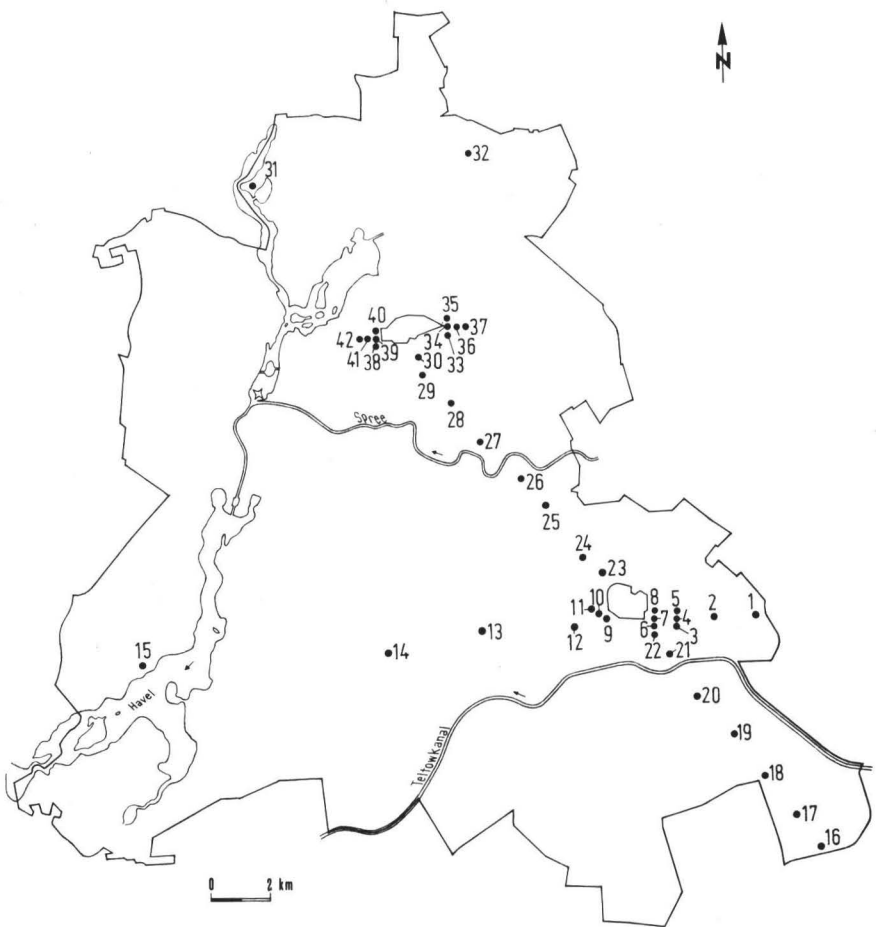
2.2 Frankfurt (Main)

2.2.1 Automatisch-kontinuierliche Messungen

Am östlichen Rand des Flughafens Frankfurt (Main), im Landebahnbeobachterhaus des Deutschen Wetterdienstes (s. Abb. 3) wurden Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe und Stickstoffoxide gemessen. Hierzu wurden die schon in Berlin eingesetzten Geräte SO₂-Monitor PW 9700 der Firma Philips (für SO₂), UNOR der Firma Maihak (für CO), GK 10 der Firma Beckman (für Kohlenwasserstoffe) und Picos der Firma Hartmann & Braun (für Stickstoffoxide) installiert. Die Meßdaten wurden nach dem für die Untersuchungen in Berlin entwickelten Schema erfaßt und ausgewertet (s. 2.1.1). Wegen ungünstigerer Möglichkeiten der Wartung durch Institutsmitarbeiter waren die Meßwertausfälle höher als in Berlin.

2.2.2 Stichproben-Messungen

An gleicher Stelle wie die automatischen Messungen wurden in jedem Monat des Meßjahres 1975 - insgesamt also zwölfmal - manuelle Probenahmen ausgeführt, wobei die gleichen Substanzen



Meßpunkte, Staubbiederschlag

Abbildung 2: Staubbiederschlagsmessungen in Berlin

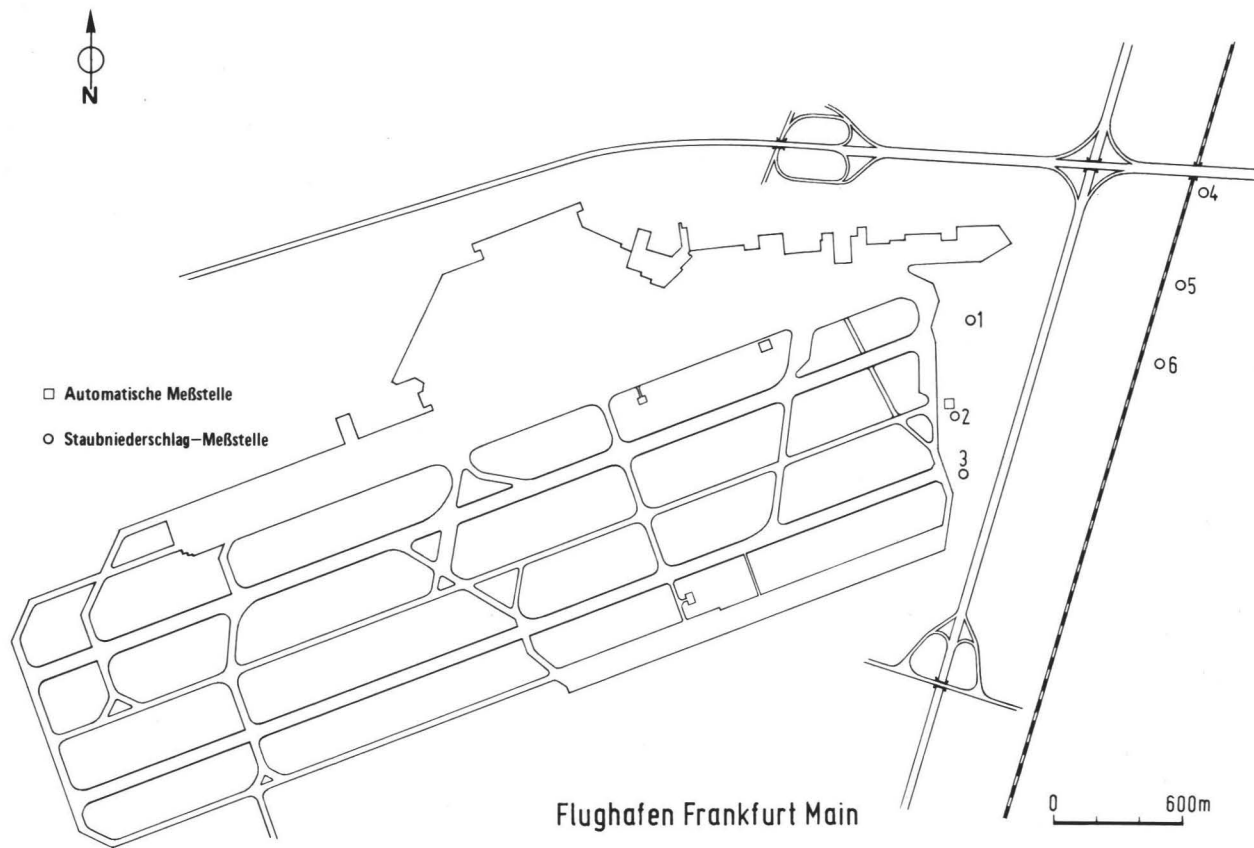


Abbildung 3: Meßstellenplan Frankfurt (Main)

wie in Berlin (s. 2.1.2) analysiert wurden: Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Stickoxide ($\text{NO} + \text{NO}_2$), Phenol, Formaldehyd, Chloride, Fluoride, Staub und Blei. Die Probenahmen wurden in der Zeit von 7,30 bis 19,30 Uhr ausgeführt.

2.2.3 Staubniederschlags-Messungen

Für Bestimmungen des Staubniederschlags wurden im Meßjahr 1975 am östlichen Rand des Flughafens 6 Bergerhoff-Geräte [28], und zwar je 3 in 2 Reihen quer zur Anflugrichtung (s. Abb. 3) aufgestellt. Die Untersuchungen im Meßjahr 1977/78 zur Bestimmung polycyclischer Kohlenwasserstoffe im Staubniederschlag wurden an den gleichen Meßstellen vorgenommen.

2.2.4 Weitere Messungen und Erhebungen

Die Ergebnisse meteorologischer Messungen im Bereich des Flughafens wurden vom Deutschen Wetterdienst, Angaben über die Flugbewegungen auf dem Flughafen - allerdings nur für den zivilen Bereich - wurden von der Flughafen Frankfurt/Main AG zur Verfügung gestellt.

Zur Charakterisierung der längerfristigen Luftverunreinigung im Raum Frankfurt konnte auf die Ergebnisse von kontinuierlichen Messungen zurückgegriffen werden, die vom Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität [31] und später vom Umweltbundesamt seit vielen Jahren im Stadtgebiet von Frankfurt mit automatischen Geräten vorgenommen werden.

Von einem anderen Untersuchungsprogramm des Instituts standen die Ergebnisse von Messungen des Schwebstaubes, seiner Korngrößenverteilung und verschiedener Inhaltsstoffe zur Verfügung, die von 24-stündigen Probenahmen am Landebahnbeobachterhaus auf dem Flugplatz in der Zeit von Juli 1975 bis Juni 1976 stammten.

3. Meßergebnisse

3.1 Berlin

3.1.1 Automatisch-kontinuierliche Messungen

3.1.1.1 Schwefeldioxid

Die Tabelle 1 zeigt die Häufigkeitsverteilung der nahezu 17000 Halbstunden-Einzelwerte von der Meßstation Neukölln mit Unterteilungen nach Tagesstunden. Die Häufigkeitsverteilung der SO_2 -Tagesmittel gibt die Tabelle 2 wieder. In der Tabelle 3 sind Kenngrößen der SO_2 -Immission für die 12 Monate des Untersuchungszeitraumes in Neukölln zusammengestellt. In Tabelle 4 werden schließlich Werte von SO_2 -Immissionskenngrößen für die Meßstation Neukölln mit denen vom gleichen Meßzeitraum 1973/74 sowie von anderen Jahren für die Meßstationen in Dahlem, Jungfernheide und Steglitz vergleichend aufgeführt. Die Abbildung 4 gibt den Tagesgang der mittleren SO_2 -Immissionen für die Meßstation Neukölln wieder.

Die SO_2 -Immissionen an der Meßstation in Neukölln waren mäßig und zeigten keinen Hinweis darauf, daß der Flugverkehr diese Luftverunreinigung mitbewirkte. Die Immissionswerte der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft von 1974

[34]

$\text{IW}_1 = 0,14 \text{ mg/m}^3$ (Jahresmittelwert)

$\text{IW}_2 = 0,40 \text{ mg/m}^3$ (95%-Wert der Summenhäufigkeitsverteilung)

wurden mit $0,094$ und $0,262 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ bei weitem nicht erreicht. Gegenüber den drei anderen Meßstationen in Berlin war die Beaufschlagung in Neukölln relativ niedrig (s. Tab.4). Die mittleren und maximalen Immissionen in Steglitz und in Jungfernheide - in einem Wohngebiet und in einem Industriegebiet - lagen deutlich höher. Nur im Vorort Dahlem wurden niedrigere Konzentrationen als in Neukölln gemessen. Dazu ist allerdings festzustellen, daß der Untersuchungszeitraum 1973/74 in Dahlem ein Immissionsminimum aufwies, dem in den folgenden Jahren wieder höhere SO_2 -Gehalte der Luft folgten.

Tabelle 1: Häufigkeitsverteilung der Halbstunden-Mittelwerte der SO₂-Konzentration in mg/m³ im Tagesverlauf an der Meßstation Neukölln, September 1973 - August 1974

Tages- zeit	Anzahl der Werte	bis 0,05	0,06 0,10	0,11 0,15	0,16 0,20	0,21 0,25	0,26 0,30	0,31 0,35	0,36 0,40	0,41 0,45	0,46 0,50	0,51 0,55	0,56 0,60	0,61 0,65	0,66 0,70	0,71 0,75	0,76 0,80
0 -1	708	273	232	100	52	26	8	12	4	1							
1 -2	708	292	210	107	49	31	10	6	1	2							
2 -3	708	301	203	109	47	30	13	5									
3 -4	708	289	216	106	63	19	9	4	1	1							
4 -5	708	283	204	129	53	25	5	5	2	2							
5 -6	706	245	195	146	63	33	10	9	5								
6 -7	706	204	207	136	91	21	21	11	13		2						
7 -8	707	184	188	138	87	46	26	12	11	2	4	4	5				
8 -9	707	199	159	125	84	55	38	15	12	5	2	6	3	1	1	2	
9 -10	706	213	147	118	86	52	39	23	9	6	5	3	3		1		1
10 -11	707	224	167	117	77	46	29	25	8	5	4	2	3				
11 -12	708	252	197	95	72	37	20	19	8	3	3	1	1				
12 -13	708	296	184	89	60	34	17	9	9	7	2		1				
13 -14	708	328	165	88	56	33	16	10	4	3	4	1					
14 -15	708	339	171	74	57	37	15	5	4	4	1	1					
15 -16	708	326	183	83	51	23	20	11	3	4	2	1	1				
16 -17	708	341	164	82	50	27	20	10	5	5	1	2		1			
17 -18	708	324	171	93	53	24	18	13	2	2	3	2		3			
18 -19	708	295	178	102	61	37	17	6	2	5	2	3					
19 -20	708	266	176	124	76	30	22	6	1	2	2	1		2			
20 -21	708	247	206	119	70	37	17	6	1	2		1			2		
21 -22	708	247	226	113	61	35	17	3	3	1			1	1			
22 -23	708	253	222	124	53	28	15	7	3	1	2						
23 -24	708	268	227	100	65	19	7	15	5	1		1					
0 -24	16983	6489	4598	2617	1537	785	429	247	116	64	39	29	18	8	4	2	1

Tabelle 2: Häufigkeitsverteilung der Tagesmittelwerte der SO₂-Konzentration
in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ an der Meßstation Neukölln, September 1973 bis August 1974

Monat	Anzahl der Werte	bis 50	51 100	101 150	151 200	201 250	251 300	301 350	351 400	401 450
September	30	8	16	4	1	1				
Oktober	31	3	10	10	6	2				
November	30	7	13	5	3	1		1		
Dezember	21	6	4	1	4	4	2			
Januar	31	2	5	4	12	5	3			
Februar	28		2	10	11	2	2			1
März	31	1	12	9	4	4	1			
April	30	5	15	7	3					
Mai	31	11	18	2						
Juni	30	23	7							
Juli	31	30	1							
August	31	23	8							
Jahr	355	119	111	52	44	19	8		1	1

Tabelle 3: Kenngrößen der SO₂-Immissionskonzentration für die Meßstation Neukölln in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Meßzeit	Anzahl der Meßwerte	Mittel	Min. Tagesmittel	Max. Tagesmittel	Min. Halbstundenmittel	Max. Halbstundenmittel	50%- Wert der	95%- Summenhäufigkeitsverteilung	97,5%- Summenhäufigkeitsverteilung
September 1973	1440	80	21	215	0	457	71	192	236
Oktober	1488	114	25	243	5	580	95	283	331
November	1440	97	19	385	0	635	78	244	376
Dezember	955	121	5	289	0	479	112	317	347
Januar 1974	1488	156	32	273	20	596	146	323	355
Februar	1344	166	57	443	18	775	147	366	460
März	1488	131	44	287	16	709	107	325	392
April	1440	88	14	179	0	713	76	227	278
Mai	1488	57	4	102	0	390	46	146	178
Juni	1440	41	19	73	2	242	35	98	122
Juli	1484	31	15	63	0	153	29	86	95
August	1488	38	6	79	0	332	35	98	132
Sept. 1973- Aug. 1974	16983	94	4	443	0	775	71	262	320

Tabelle 4: Ergebnisse von SO₂-Immissionsmessungen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
an mehreren Meßstationen in Berlin

Meßstation	Meßzeit	Jahres- mittel	höchstes Monats- mittel	höchstes Tages- mittel	95%-Wert der Summenhäufig- keitsverteilung
Neukölln	Sept. 1973- Aug. 1974	94	166	443	262
Dahlem	" "	70	124	313	211
Jungfernheide	" "	120	221	578	351
Steglitz	" "	143	243	512	361
Dahlem	1970	86	255	465	300
	1971	121	285	622	330
	1972	113	219	432	300
	1973	100	201	407	257
	1974	69	124	265	194
	1975	87	167	432	246
	1976	92	180	442	259
	1977	102	177	516	283
	1978	125	236	561	310
Jungfernheide	1969	145	328	658	480
	1970	156	327	600	400
	1971	139	387	776	430
	1972	113	226	680	340
	1973	109	221	578	348
	1974	110	192	391	287
	1975	129	225	637	337
	1976	94	160	547	248
	1977	118	225	494	302
	1978	136	223	489	291
Steglitz	1969	177	428	814	500
	1970	236	513	878	590
	1971	174	461	914	500
	1972	150	254	660	400
	1973	149	243	518	439
	1974	144	226	437	331
	1975	156	317	785	350
	1976	136	199	494	308
	1977	149	244	526	346
	1978	166	243	558	341

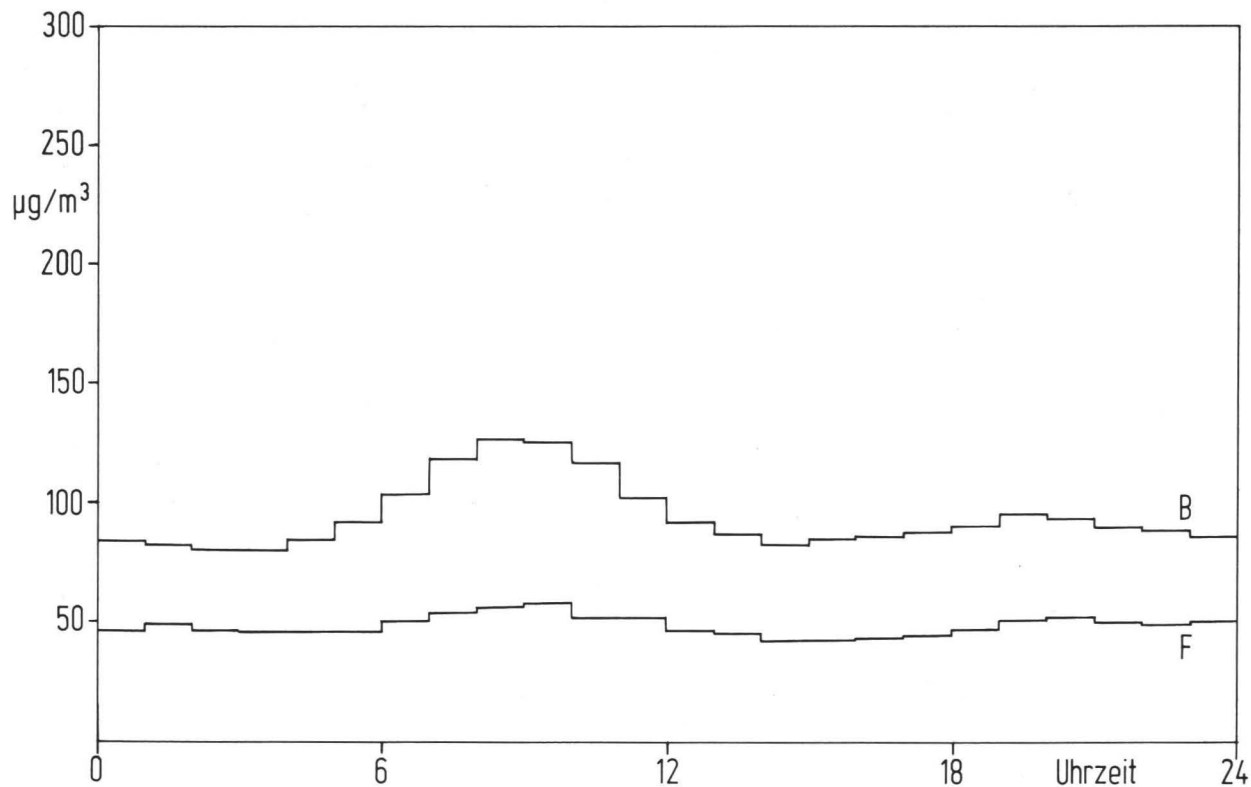


Abbildung 4: Tagesgang der mittleren Schwefeldioxid-Konzentrationen bei kontinuierlichen Messungen an den Flughäfen in Berlin (B) und Frankfurt (F)

In Steglitz und in Jungfernheide wurden von 1973/74 an relativ gleichbleibende Luftverunreinigungen beobachtet.

Neukölln ist zwar ein sehr dichtbesiedelter Bezirk von Berlin; die nähere Umgebung der Meßstelle weist jedoch größere Freiflächen auf: mehrere Friedhöfe, einen größeren Park und eben den Flughafen.

Der Tagesgang der mittleren SO_2 -Konzentrationen in Neukölln mit einem deutlichen Maximum am Vormittag und einem weniger ausgeprägten Maximum am Abend entsprach dem von anderen Meßstellen in Berlin bekannten Immissionsverlauf [6].

3.1.1.2 Kohlenmonoxid

Die Häufigkeitsverteilungen der Halbstunden-Einzelwerte der an den Meßstationen Neukölln und Tempelhof gemessenen Kohlenmonoxid-Konzentrationen sind in den Tabellen 5 und 6 dargestellt. In Tabelle 7 sind Werte von Immissionskenngrößen für diese beiden Meßstationen sowie für die seit Jahren an einer verkehrsabgelegenen Stelle in Jungfernheide betriebene Meßstation zusammengefaßt. In der Abbildung 5 ist der Tagesgang der mittleren CO-Immissionen für die Meßstationen Neukölln und Tempelhof sowie vergleichsweise für Jungfernheide wiedergegeben.

Die Kohlenmonoxid-Immissionen an den Meßstationen in Neukölln und in Tempelhof erreichten keine lufthygienisch relevanten Werte. In Neukölln entsprachen die CO-Konzentrationen denen an der verkehrsabgelegenen Meßstation Jungfernheide (s. Tabelle 7). In Tempelhof lagen die CO-Immissionen signifikant höher als in Neukölln. Dieser Befund dürfte auf eine nahe an der Meßstation vorbeiführende verkehrsreiche Straße zurückzuführen sein. Die in Berlin vorherrschenden westlichen Winde transportieren die Abgase des Kraftverkehrs auf dieser Straße in Richtung der Meßstation. Auch spricht der Tagesverlauf der CO-Immissionen gegen eine dominierende Verursachung durch den Luftverkehr. Gegenüber der Luftverunreinigung mit Kohlenmonoxid in unmittelbarer Straßennähe

Tabelle 5: Häufigkeitsverteilung der Halbstunden-Mittelwerte der CO-Konzentration in ppm
im Tagesverlauf an der Meßstation Neukölln, September 1973 - August 1974

Tages- zeit	Anzahl der Werte	bis 1,0	1,1 - 2,0	2,1 - 3,0	3,1 - 4,0	4,1 - 5,0	5,1 - 6,0	6,1 - 7,0	7,1 - 8,0	8,1 - 9,0	9,1 - 10,0	10,1 - 11,0
0-1	730	295	258	124	42	5	3	2			1	
1-2	730	298	253	119	49	7	4					
2-3	730	301	252	120	47	9	1					
3-4	730	298	261	114	51	6						
4-5	730	294	267	113	45	11						
5-6	730	267	281	124	48	10						
6-7	730	243	260	154	58	14	1					
7-8	730	243	254	155	51	18	9					
8-9	730	256	272	140	38	16	2	2	2		2	
9-10	728	275	271	119	51	7		3			1	1
10-11	728	328	242	98	49	7	1		1	1	1	
11-12	728	380	210	91	33	12		1		1		
12-13	728	384	211	95	29	5	4					
13-14	728	391	218	86	23	7	3					
14-15	728	395	211	88	26	8						
15-16	728	387	209	98	24	7	3					
16-17	730	373	204	101	41	5	3	2	1			
17-18	730	345	210	117	45	8	3		1	1		
18-19	730	331	225	110	48	10	4	1	1			
19-20	730	306	242	119	48	10	2	1	2			
20-21	730	302	256	108	47	15		2				
21-22	730	316	257	98	48	7	1	2	1			
22-23	730	320	239	114	48	6	3					
23-24	730	314	236	122	47	9	2					
0-24	17.506	7.642	5.799	2.727	1.036	219	49	16	9	3	5	1

Tabelle 6: Häufigkeitsverteilung der Halbstunden-Mittelwerte der CO-Konzentration in ppm
im Tagesverlauf an der Meßstation Tempelhof, September 1973 - August 1974

Tages- zeit	Anzahl der Werte	bis 1,1 1,0 2,0	2,1 3,0	3,1 4,0	4,1 5,0	5,1 6,0	6,1 7,0	7,1 8,0	8,1 9,0	9,1 10,0	10,1 11,0	11,1 12,0	12,1 13,0	13,1 14,0	14,1 15,0	15,1 16,0	16,1 17,0	17,1 18,0	18,1 19,0
0-1	720	57 158	200	171	93	21	10	6	2							1			1
1-2	720	68 157	204	174	75	21	10	7	2	1	1								
2-3	720	71 150	211	178	75	18	7	5	2	1	1		1						
3-4	720	76 160	201	179	71	18	7	5	1		1	1							
4-5	720	72 165	199	184	68	18	8	5		1									
5-6	720	73 150	200	182	77	26	6	5	1										
6-7	718	58 132	188	189	92	39	12	2	6										
7-8	717	57 118	185	185	90	52	15	5	5	4	1								
8-9	716	65 137	182	179	85	39	15	1	4	2	2	2		1	1	1			
9-10	714	77 156	191	153	81	40	6	3	2	2	1		2						
10-11	714	98 158	176	173	65	31	4	5		1	2	1							
11-12	714	95 169	186	159	70	25	2	5	1	2									
12-13	714	96 168	184	164	69	18	9	4		2									
13-14	714	102 152	201	148	71	24	11	3		2									
14-15	717	103 149	199	147	82	20	11	2	2	2									
15-16	718	88 149	189	178	73	26	9	2	2	2									
16-17	720	80 125	201	164	86	44	9	7	4										
17-18	720	85 122	186	168	101	38	8	8	4										
18-19	720	81 119	186	168	101	43	14	4	4										
19-20	720	67 134	174	188	92	43	12	5	3	2									
20-21	720	63 134	188	181	91	34	15	5	5	1		1				2			
21-22	720	63 127	209	174	88	32	13	4	4		2		1	2	1				
22-23	720	70 129	202	173	89	29	13	5	3	3	1	2						1	
23-24	720	67 131	205	169	87	30	16	13							1		1		
0-24	17236	1832 3449	4647	4128	1972	729	242	116	57	28	12	8	4	3	3	3	1	1	1

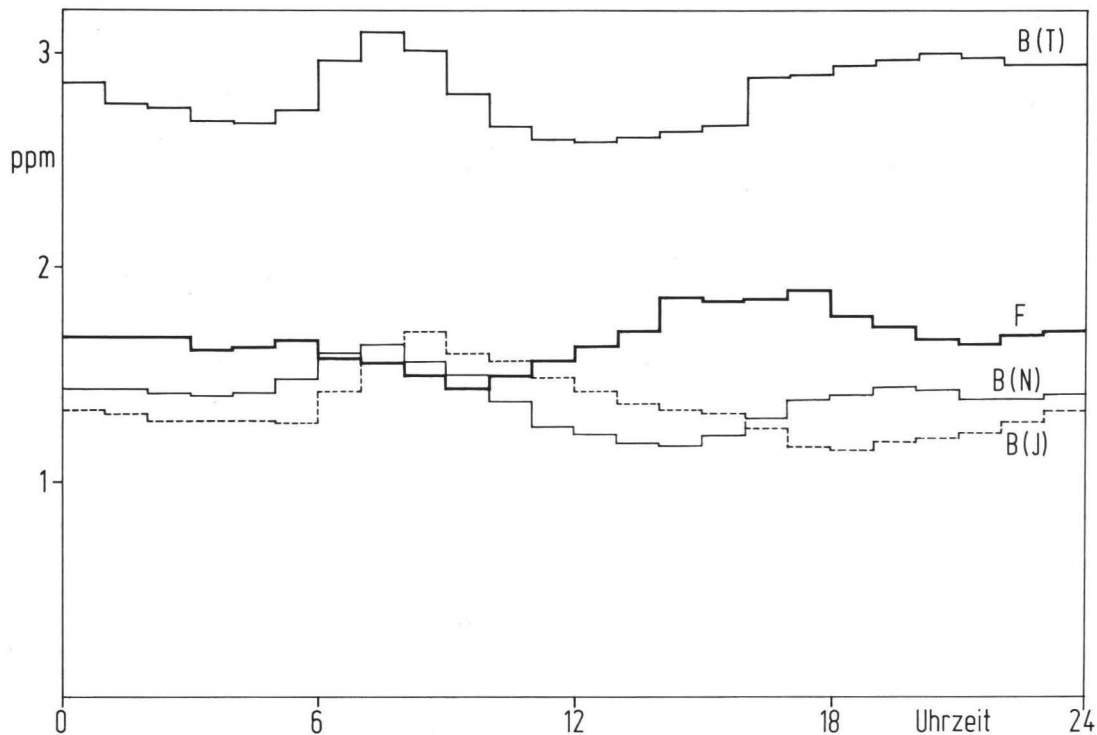


Abbildung 5: Tagesgang der mittleren Kohlenmonoxid-Konzentrationen bei kontinuierlichen Messungen in Berlin-Tempelhof (B (T)), Berlin-Neukölln (B (N)), Berlin-Jungfernheide (B (J)) und Frankfurt (F)

Tabelle 7: Ergebnisse von CO-Immissionsmessungen in ppm
an mehreren Meßstationen in Berlin

Meßstation	Meßzeit	Jahres- mittel	höchstes Monats- mittel	höchstes Tages- mittel	95%-Wert der Summenhäufig- keitsvertei- lung
Neukölln	Sept. 1973- Aug. 1974	1,1	2,2	5,5	3,4
Tempelhof	" "	2,8	3,8	8,4	5,5
Jungfernheide	" "	1,1	2,1	4,5	3,3
Jungfernheide	1973	1,4	2,8	6,8	3,9
Jungfernheide	1974	0,8	1,4	3,4	2,7
Jungfernheide	1975	1,2	2,2	4,9	3,6
Jungfernheide	1976	2,0	3,1	6,2	4,4
Jungfernheide	1977	2,5	4,2	7,3	5,6
Jungfernheide	1978	1,6	3,0	4,6	3,7

[35, 36] treten jedoch auch die Immissionen an der Meßstation Tempelhof stark zurück. Kein Halbstundenwert erreichte hier 20 ppm. An einer verkehrsreichen Straße in Berlin wurden hingegen Halbstundenwerte bis 60 ppm gemessen [357].

Der Tagesgang der mittleren CO-Immissionen zeigte in Tempelhof und in Neukölln ein gegenüber dem SO₂-Immissionsverlauf (Abb. 4) früheres Maximum am Vormittag und ein stärker ausgeprägtes Maximum am Nachmittag bis Abend (Abb. 5). Hieraus ist ein Einfluß von Kraftfahrzeugabgasen abzuleiten, da die Immissionsmaxima in die Zeit von Verkehrsspitzen fallen [357]. Der CO-Tagesgang an der verkehrsabgelegenen Meßstation Jungfernheide entsprach dagegen mehr dem Verlauf der SO₂-Immissionskonzentrationen, deren Ursachen Feuerungsabgase und meteorologische Einflüsse sind.

3.1.1.3 Kohlenwasserstoffe

Die an der Meßstation Tempelhof gemessenen Halbstunden-Einzelwerte der "Kohlenwasserstoff"-Konzentration sind in Tabelle 8 in Form der Häufigkeitsverteilung wiedergegeben. Monats- und Tagesmittelwerte sind in der Tabelle 9 zusammengestellt. Den Tagesgang der mittleren Immissionen zeigt Abbildung 6.

Die Kohlenwasserstoff-Immissionen waren recht einheitlich und in der Konzentration niedrig. Die Monatsmittel bewegten sich nur zwischen 2,3 und 2,9 ppm; 9 der Monatsmittel lagen zwischen 2,3 und 2,5 ppm. Von fast 16.000 Halbstunden-Einzelwerten überschritten nur 115 (0,7 %) 4 ppm. Der 95%-Wert der Summenhäufigkeitsverteilung betrug 3,2 ppm. 8 ppm wurde von keinem Wert überschritten. In diese Werte geht auch der normale Methangehalt atmosphärischer Luft ein, der mit 1 bis 2 ppm anzusetzen ist [37]. Trotz der Nähe der Meßstation Tempelhof zum Startplatz der Flugzeuge trat keine bemerkenswerte Erhöhung der Kohlenwasserstoff-Immissionen auf. Bei früheren Untersuchungen am Rande einer verkehrsreichen Straße in Berlin [35, 38] wurden deutlich höhere Konzentrationen ermittelt, und zwar maximale Halbstundenmittelwerte über 15 ppm, ein maximales Tagesmittel (für die Zeit von 6-22 Uhr) von 7,3 ppm und ein 95%-Wert der Summenhäufigkeitsverteilung (aus den Halbstundenmittelwerten von 6 - 22 Uhr berechnet) von 8,5 ppm.

Der recht gleichbleibende Verlauf der mittleren Kohlenwasserstoff-Immission (Abb. 6) erklärt sich daraus, daß der natürliche Methan-Gehalt der Atmosphäre einen hohen Anteil der gemessenen Konzentrationen ausmacht.

Das Starten von Flugzeugen verursachte des öfteren an der fortlaufend registrierenden Meßstation Tempelhof kurzfristige Peaks der Immissionskonzentration; die Halbstundenmittelwerte wurden dadurch nicht merkbar erhöht. Auch vereinzelt subjektiv wahrgenommener "Kerosin-Geruch" manifestierte sich nicht in den Halbstundenwerten.

Tabelle 8: Häufigkeitsverteilung der Halbstundenmittelwerte der Kohlenwasserstoff-Konzentration in ppm im Tagesverlauf an der Meßstation Tempelhof, September 1973 - August 1974

Tageszeit	Anzahl der Werte	bis 1,0	1,1 - 2,0	2,1 - 3,0	3,1 - 4,0	4,1 - 5,0	5,1 - 6,0	6,1 - 7,0	7,1 - 8,0
0-1	668		16	614	31	3	2	1	1
1-2	668		20	615	27	3	3		
2-3	668		31	609	24	1	3		
3-4	668		29	611	24	3	1		
4-5	668		32	613	20	3			
5-6	668		29	619	16	3	1		
6-7	668		17	612	35	4			
7-8	668		16	600	45	7			
8-9	663		24	590	39	9	1		
9-10	653		23	606	21	3			
10-11	660		21	610	26	3			
11-12	661		16	614	31				
12-13	661		11	621	29				
13-14	659		7	621	31				
14-15	664		8	625	30		1		
15-16	670		7	625	36	2			
16-17	669		6	612	46	5			
17-18	669		3	608	54	4			
18-19	669		4	600	59	4	2		
19-20	671		8	594	65	2	2		
20-21	671		12	599	51	5	1	2	1
21-22	671		12	615	35	3	2	2	2
22-23	671		15	616	30	4	4	1	1
23-24	671		19	613	29	7	1	1	1
0-24	15997		386	14662	834	78	24	7	6

Tabelle 9: Monats- und Tagesmittel der Kohlenwasserstoff-Konzentration
für die Meßstation Tempelhof in ppm

Meßzeit	Mittel	Min. Tagesmittel	Max.
September 1973	2,9	2,1	4,0
Oktober	2,6	2,1	3,3
November	2,5	2,0	3,0
Dezember	2,4	2,0	2,9
Januar 1974	2,3	2,1	2,6
Februar	2,4	2,1	3,3
März	2,5	2,1	3,0
April	2,5	2,3	3,1
Mai	2,6	2,0	3,1
Juni	2,3	2,0	2,7
Juli	2,3	1,9	2,8
August	2,3	1,8	2,5

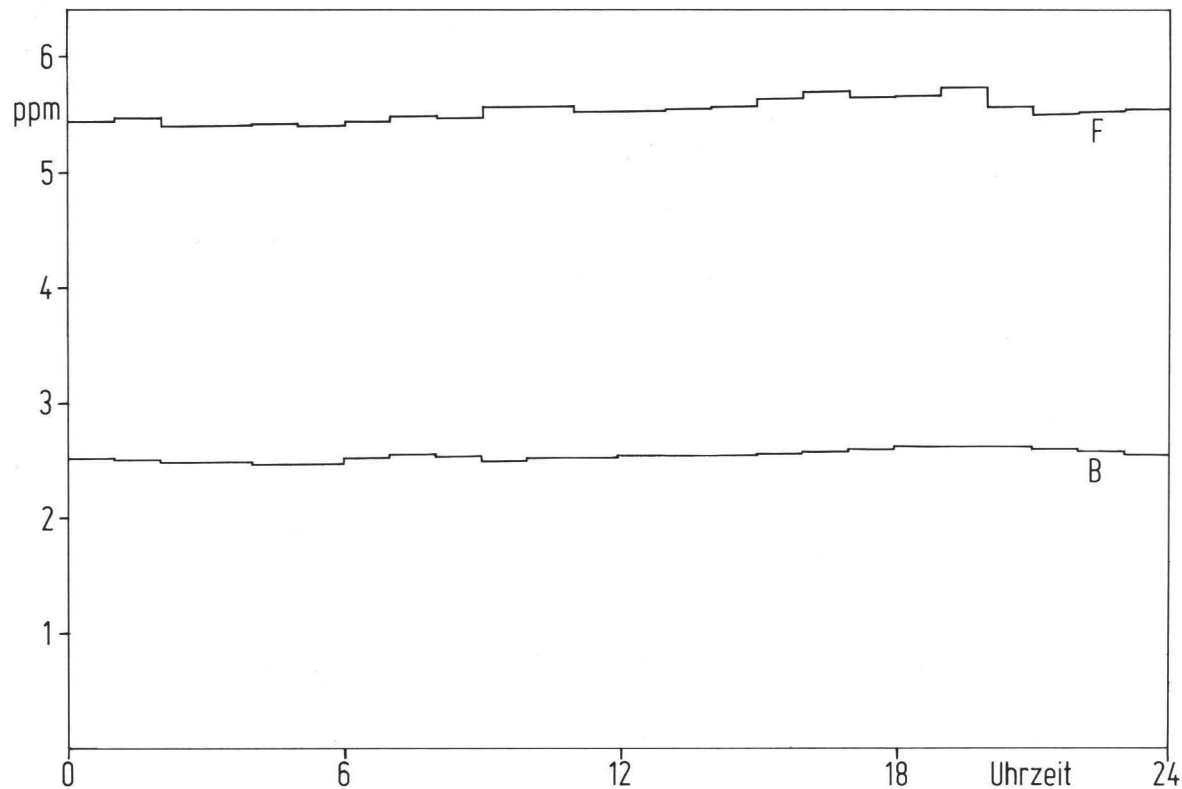


Abbildung 6: Tagesgang der mittleren Kohlenwasserstoff-Konzentrationen bei kontinuierlichen Messungen an den Flughäfen in Berlin (B) und Frankfurt (F)

3.1.1.4 Stickstoffoxide

Die Häufigkeitsverteilung der NO_x -Halbstundenmittelwerte von der Meßstation Tempelhof über den nur dreimonatigen Meßzeitraum ist in Tabelle 10 wiedergegeben. Die Mittelwerte für die 3 Monate von Juni bis August 1974 betrugen 60, 47 und $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 3 Tagesmittel lagen über $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$: 141, 121 und $104 \mu\text{g NO}_x/\text{m}^3$. Die mittleren NO_x -Immissionen im Tagesverlauf sind in Abbildung 7 graphisch dargestellt.

Höhere Immissionskonzentrationen traten nur selten auf: nur 31 der über 4400 Werte (0,7 %) lagen über $0,20 \text{ mg NO}_x/\text{m}^3$; $0,35 \text{ mg}/\text{m}^3$ wurden nicht überschritten. Der 95%-Wert der Summenhäufigkeitsverteilung betrug $0,14 \text{ mg}/\text{m}^3$. Damit wurden niedrigere NO_x -Immissionen festgestellt, als sie bei Meßprogrammen in anderen Stadtteilen von Berlin ermittelt wurden [39, 40, 41]. Dabei ist aber die Beschränkung der Meßzeit in Tempelhof auf die immissionsklimatologisch relativ günstige Sommerzeit zu berücksichtigen [40]. Im vorliegenden Fall war jedoch der von der Jahreszeit ausgehende Einfluß auf die Immission von untergeordneter Bedeutung, weil gezielt die Auswirkungen von Flugzeugabgasen auf die Immission ermittelt werden sollten und die Meßstelle sich in unmittelbarer Nähe des Flugplatzes befand.

Der Tagesgang der mittleren Stickoxid-Immissionen weist ein Maximum am späten Nachmittag auf, wie es auch bei früheren Untersuchungen an einer verkehrsnahen Meßstelle in Berlin beobachtet wurde [39, 40].

3.1.2 Stichproben-Messungen

Die Mittelwerte der Stichproben-Messungen von Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Stickstoffoxiden, Formaldehyd, Phenol, Chloriden, Fluoriden, Staub und Blei an den 4 Meßstellen beiderseits des Flughafens Tempelhof sind in der Tabelle 11 zusammengestellt. Die Tabellen 12 bis 15 enthalten weitere Angaben über die Untersuchungsergebnisse von den 4 Meßstellen, deren Lage in der Abbildung 1 eingezeichnet ist. Die

Tabelle 10: Häufigkeitsverteilung der Halbstundenmittelwerte der Stickoxide-Konzentration in $\text{mg NO}_x/\text{m}^3$ (als NO_2 berechnet) im Tagesverlauf an der Meßstation Tempelhof, Juni - August 1974

Tageszeit	Anzahl der Werte	bis 0,05	0,06 - 0,10	0,11 - 0,15	0,16 - 0,20	0,21 - 0,25	0,26 - 0,30	0,31 - 0,35
0-1	184	117	59	8				
1-2	184	125	54	5				
2-3	184	147	33	4				
3-4	184	153	28	3				
4-5	184	146	37	1				
5-6	184	143	40	1				
6-7	184	122	50	8	2	1	1	
7-8	184	118	45	11	5	1	2	2
8-9	184	150	28	5	1			
9-10	184	140	29	10	3	1	1	
10-11	184	159	17	5	3			
11-12	184	152	24	6	1		1	
12-13	184	145	31	7	1			
13-14	184	124	40	14	5		1	
14-15	184	121	49	11	2	1		
15-16	184	97	62	17	5	3		
16-17	184	85	68	22	5	4		
17-18	184	72	82	19	8	2		1
18-19	184	53	78	41	10	1	1	
19-20	184	42	94	28	14	5		1
20-21	184	56	101	19	7	1		
21-22	184	56	106	17	5			
22-23	184	76	94	11	3			
23-24	184	78	71	11	4			
0-24	4416	2697	1320	284	84	20	7	4

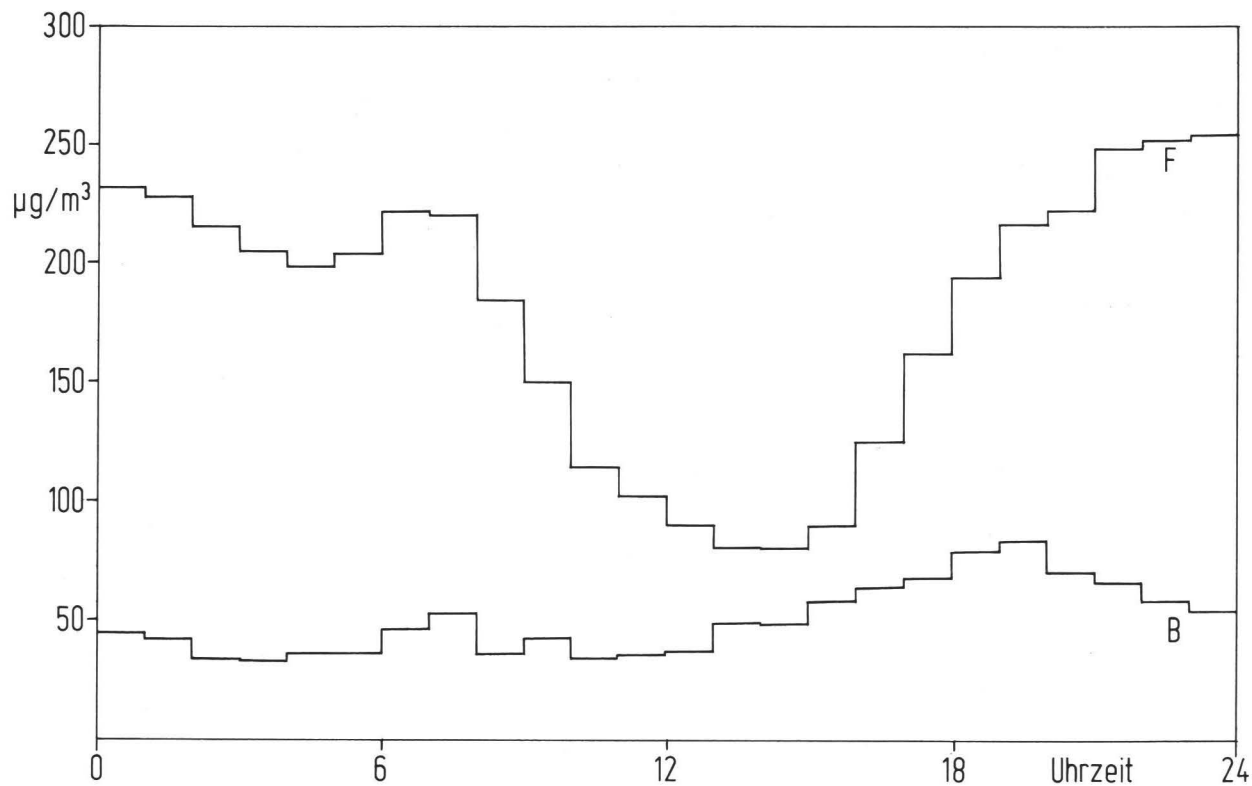


Abbildung 7: Tagesgang der mittleren Stickoxid-(NO_x)-Konzentrationen bei kontinuierlichen Messungen an den Flughäfen in Berlin (B) und Frankfurt (F)

Tabelle 11: Mittelwerte von Stichprobenmessungen an 4 Meßstellen
am Flughafen Tempelhof (vgl. Abb. 1)

Meßstelle		1	2	3	4
Substanz					
SO ₂	/ug/m ³	114	83	49	43
NO ₂	"	47	38,5	34	25
NO _x	"	94	68	56	44
Formaldehyd	"	0,5	2,2	0,6	2,1
Phenol	"	10	7,7	5,7	4,4
Cl ⁻	"	26	23	27	27
F ⁻	"	0,13	0,09	0,11	0,10
Staub	mg/m ³	0,19	0,17	0,10	0,13
Pb	/ug/m ³	0,80	0,56	0,59	0,51

Tabelle 12: Ergebnisse von Stichproben-Messungen am Rande
des Flughafens Berlin-Tempelhof.

Meßpunkt 1

Substanz	Anzahl der Einzel- werte	Mittelwert /ug/m ³	Standardab- weichung /ug/m ³	%	Niedrigster Einzelwert /ug/m ³	Höchster Einzelwert /ug/m ³
SO ₂	72	114	95	83	0	296
NO ₂	72	47	20	43	14	107
NO _x	66	94	50	53	10	263
Formaldehyd	71	0,5	1,7	301	0	12
Phenol	72	10	8,5	85	1	36
Cl ⁻	72	26	10,5	40	5	52
F ⁻	72	0,13	0,16	117	0,05	0,82
Staub	9	190			130	370
Blei	9	0,80			0,16	2,18

Tabelle 13: Ergebnisse von Stichproben-Messungen am Rande
des Flughafens Berlin-Tempelhof.

Meßpunkt 2

Substanz	Anzahl der Einzel- werte	Mittelwert /ug/m ³	Standardab- weichung /ug/m ³	%	Niedrigster Einzelwert /ug/m ³	Höchster Einzelwert /ug/m ³
SO ₂	71	83	73	88	0	334
NO ₂	72	38,5	19	49	9	87
NO _x	72	68	36	53	8	170
Formaldehyd	72	2,2	4,8	223	0	29
Phenol	71	7,7	6	79	1	25
Cl ⁻	72	23	8	35	5	43
F ⁻	72	0,09	0,088	99	0,05	0,44
Staub	9	170			70	280
Blei	9	0,56			0,18	1,82

Tabelle 14: Ergebnisse von Stichproben-Messungen am Rande
des Flughafens Berlin-Tempelhof.
Meßpunkt 3

Substanz	Anzahl der Einzel- werte	Mittelwert	Standard- abweichung		Niedrigster	Höchster
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	Einzelwert	Einzelwert
					$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
SO ₂	118	49	39	79	0	173
NO ₂	118	34	16	46	0	76
NO _x	117	56	28	50	12	166
Formaldehyd	118	0,6	2,1	323	0	18
Phenol	117	5,7	4,8	85	0	36
Cl ⁻	118	27	10	38	5	51
F ⁻	118	0,11	0,13	119	0,05	0,64
Staub	16	100			30	260
Blei	16	0,59			0,18	2,06

Tabelle 15: Ergebnisse von Stichproben-Messungen am Rande
des Flughafens Berlin-Tempelhof.
Meßpunkt 4

Substanz	Anzahl der Einzel- werte	Mittelwert	Standard- abweichung		Niedrigster	Höchster
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	Einzelwert	Einzelwert
					$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
SO ₂	119	43	32	74	0	157
NO ₂	119	25	14	57	0	58
NO _x	119	44	24	54	0	123
Formaldehyd	119	2,1	5,3	254	0	32
Phenol	118	4,4	3,1	70	0	12
Cl ⁻	118	27	11	40	4	59
F ⁻	119	0,10	0,12	117	0,05	0,76
Staub	16	130			30	660
Blei	16	0,51			0,21	1,04

Abbildungen 8 bis 14 zeigen die Tagesgänge der mittleren Immissionen (mit Ausnahme von Staub und Blei, weil hier die lange Probenahmedauer einen Tagesgang nicht darstellen läßt).

Weder die mittleren noch die maximalen Fremdstoff-Konzentrationen an den 4 flugplatznahen Meßstellen erreichten hygienisch kritische Werte. Die automatischen Messungen von Schwefeldioxid und von den Stickstoffoxiden hatten zu dem gleichen Ergebnis geführt. Wenn man die in der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft [34] angegebenen

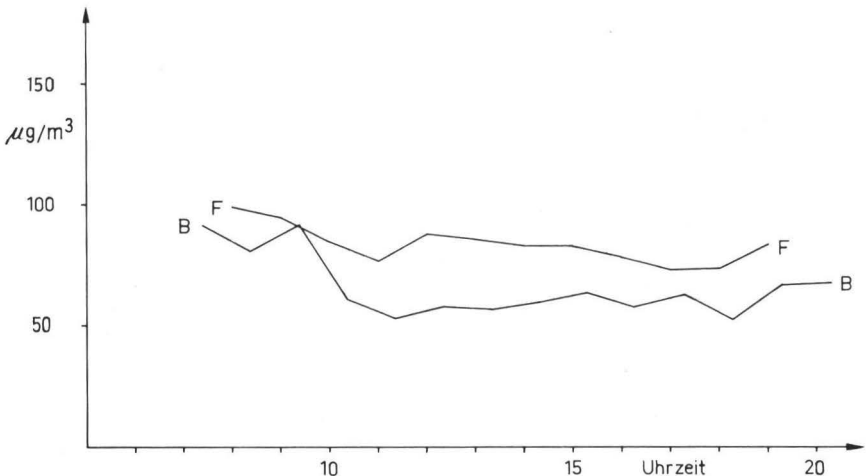


Abbildung 8: Tagesgang der mittleren Schwefeldioxid-Konzentrationen bei Stichprobenmessungen an den Flughäfen in Berlin (B) und Frankfurt (F)

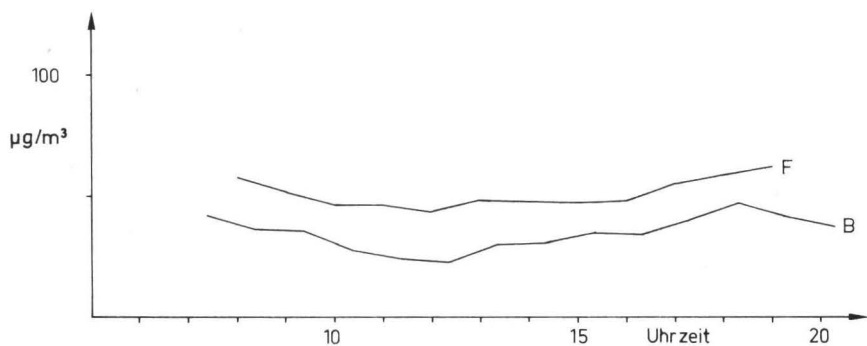


Abbildung 9: Tagesgang der mittleren Stickstoffdioxid-Konzentrationen bei Stichprobenmessungen an den Flughäfen in Berlin (B) und Frankfurt (F)

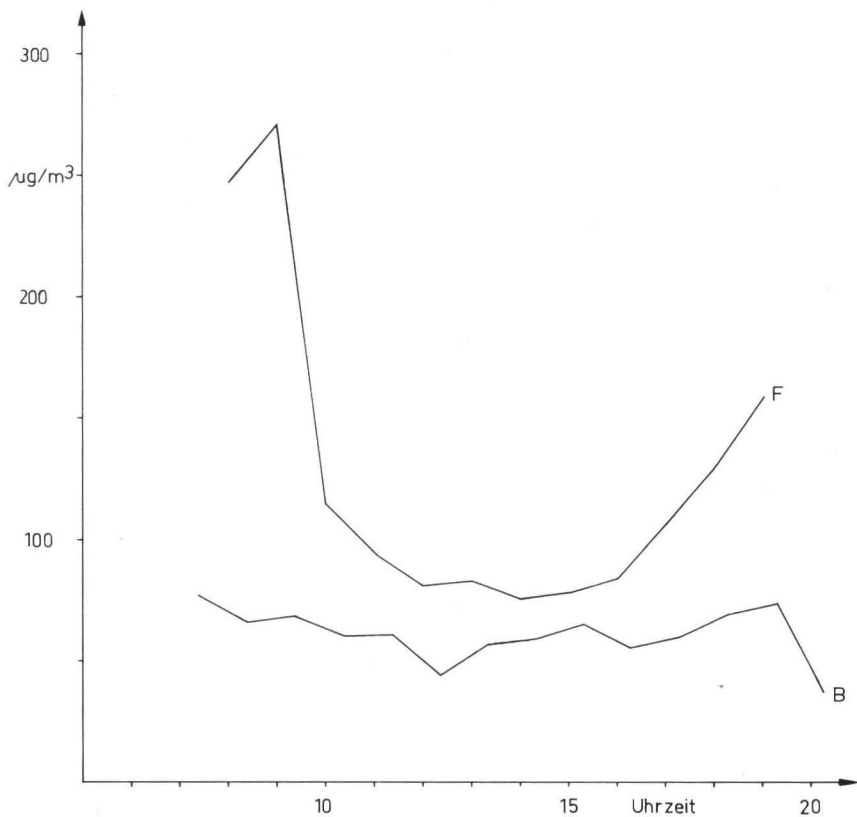


Abbildung 10: Tagesgang der mittleren Stickoxid- (NO_x)-Konzentrationen bei Stichprobenmessungen an den Flughäfen in Berlin (B) und Frankfurt (F)

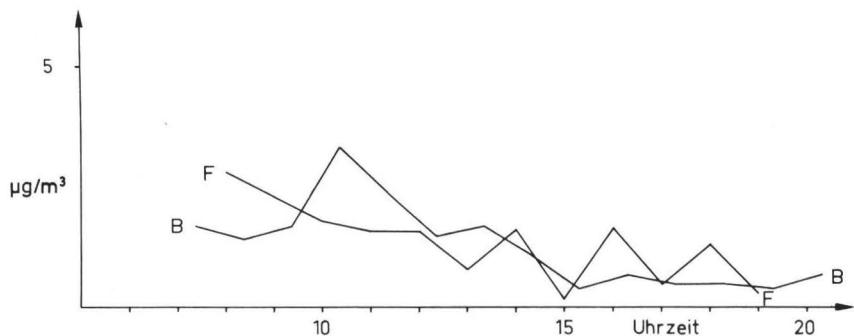


Abbildung 11: Tagesgang der mittleren Formaldehyd-Konzentrationen bei Stichprobenmessungen an den Flughäfen in Berlin (B) und Frankfurt (F)

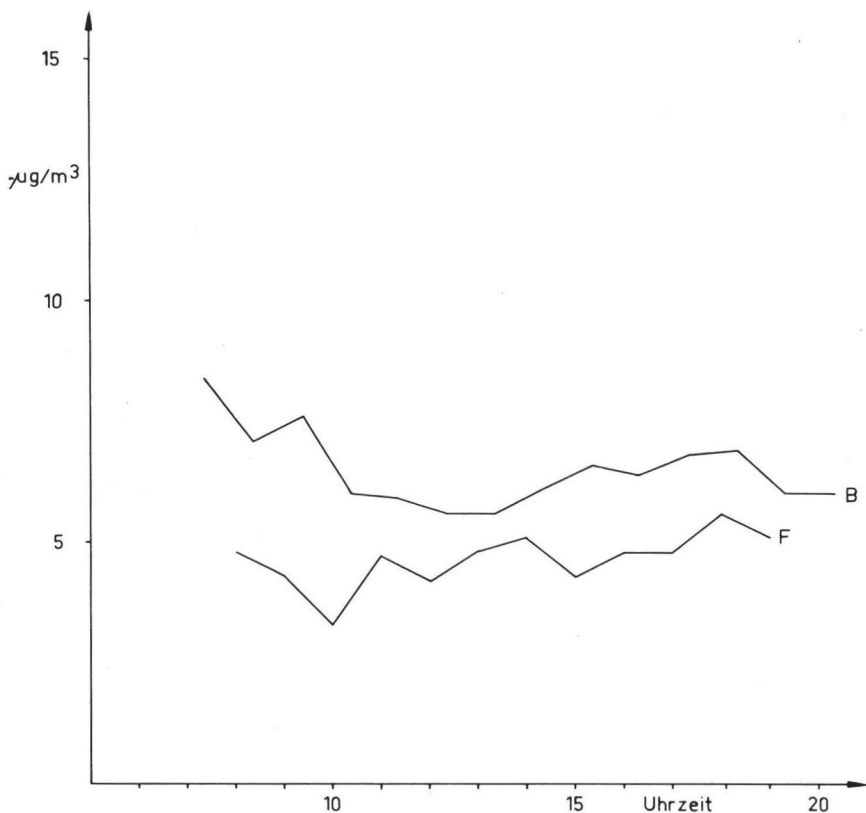


Abbildung 12: Tagesgang der mittleren Phenol-Konzentrationen bei Stichprobenmessungen an den Flughäfen in Berlin (B) und Frankfurt (F)

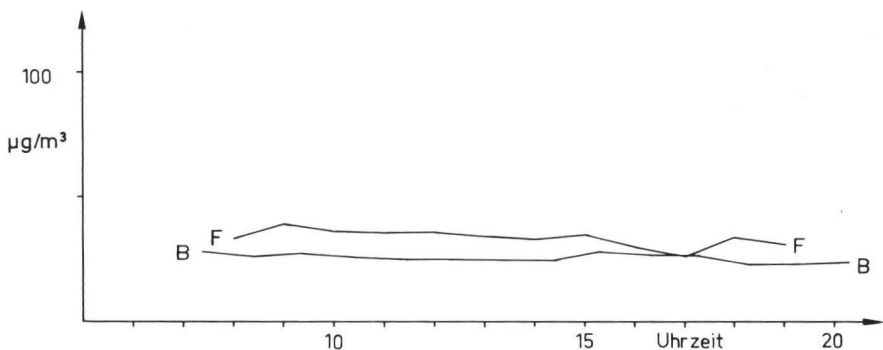


Abbildung 13: Tagesgang der mittleren Chlorid-Konzentrationen bei Stichprobenmessungen an den Flughäfen in Berlin (B) und Frankfurt (F)

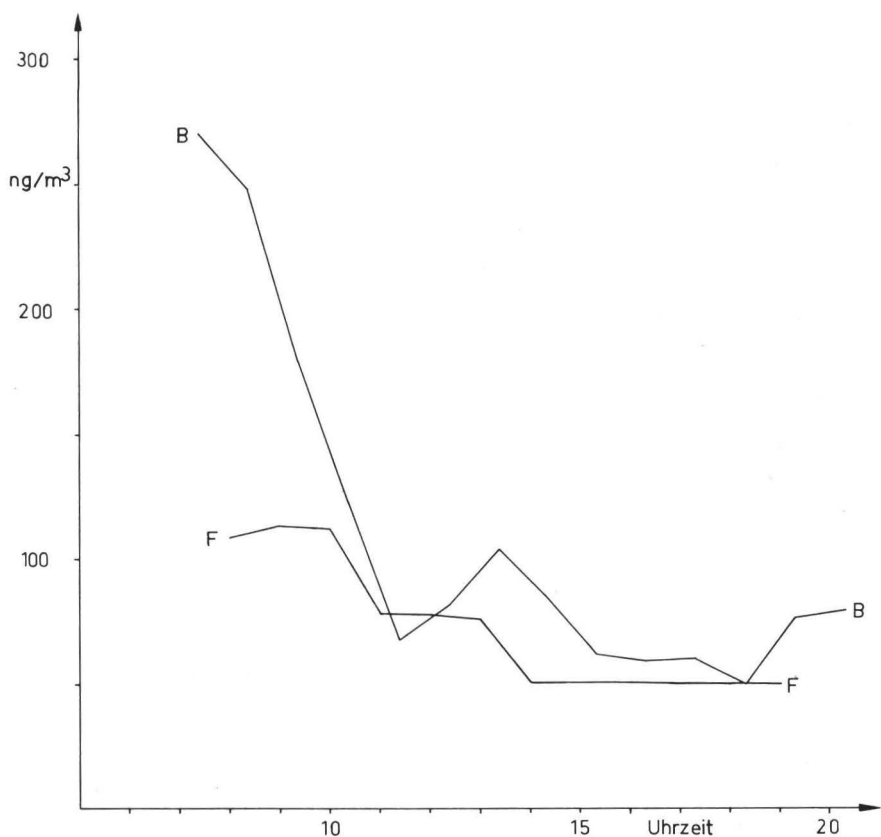


Abbildung 14: Tagesgang der mittleren Fluorid-Konzentrationen bei Stichprobenmessungen an den Flughäfen in Berlin (B) und Frankfurt (F)

Immissionswerte für

	IW1 (Mittelwert)	IW2 (95%-Wert der Summen- häufigkeitsverteilung)
	$\left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right]$	$\left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right]$
Schwefeldioxid	0,14	0,40
Stickstoffdioxid	0,10	0,30
Stickstoffmonoxid	0,20	0,60
Chlorwasserstoff	0,10	0,20
Fluorwasserstoff	0,002	0,004
Gesamtstaub	0,20	0,40

mit den Mittelwerten und den maximalen Einzelwerten des Stichproben-Meßprogrammes vergleicht, ergibt sich nur beim maximalen Staubmeßwert am Meßpunkt 4 ($0,66 \text{ mg/m}^3$) eine einzige numerische Überschreitung des TA Luft-Wertes. (Die nächsthöheren Werte an diesem Meßpunkt betrugen 0,35, 0,29, 0,14 und $0,08 \text{ mg Staub/m}^3$.) Dieser nur zahlenmäßige Vergleich ist ein strengerer Beurteilungsmaßstab als die TA Luft vorgibt, weil die Meßwerte in Tempelhof und in Neukölln für einzelne Punkte (und nicht für Gebiete) berechnet wurden, weil die Probenahmezeiten der Schwebstaubmessungen nur 5 Tagesstunden (und nicht 24 Stunden mit den immissionschwachen Nachtstunden) umfaßten, weil die analysierten Chloride und Fluoride mehr Substanzen einschließen als die in der TA Luft limitierten Verbindungen Chlorwasserstoff und Fluorwasserstoff und weil maximale Einzelwerte des Meßprogramms den 95%-Werten der TA Luft gegenübergestellt wurden.

An den in der Verlängerung der Start- und Landebahn gelegenen Meßstellen 1 und 3 wurden - mit den nicht interpretierbaren Ausnahmen beim Formaldehyd sowie beim Schwebstaub in Neukölln - stets höhere mittlere Immissionen als an den ca. 100 m seitlich entfernt gelegenen Meßstellen 2 und 4 ermittelt. Die Unterschiede bei den Mittelwert-Paaren waren in Tempelhof größer als in Neukölln. Die hohen Standardabweichungen der Meßwerte (s. Tabellen 12 - 15) so-

wie die Tatsache, daß in Tempelhof die höher belastete Meßstelle auch etwas näher an einer verkehrsreichen Straße lag, lassen eine gesicherte Zuordnung der Immissionsunterschiede zum Flugverkehr nicht zu.

Die in den Abbildungen 8 bis 14 wiedergegebenen Tagesgänge der mittleren Immissionskonzentrationen, die aus den Stichproben-Messungen mit ihrer relativ geringen Anzahl von Einzelwerten berechnet wurden, zeigten keine auffallende Systematik. Das hohe Maximum der mittleren Fluorid-Konzentration in den Morgenstunden kann nicht begründet werden.

3.1.3 Niederschlagsmessungen

3.1.3.1 Staubniederschlag

Die Jahresmittelwerte und die höchsten Monatsmittelwerte des Niederschlags von Gesamtstaub, von benzollöslichen Anteilen und von Blei sind in der Tabelle 16 für die 42 Meßstellen in Berlin zusammengestellt. Die Abbildung 15 zeigt den Jahresgang der mittleren Immissionen für die 3 Substanzgruppen.

Die Meßwerte wiesen starke Schwankungen auf. Die Jahresmittelwerte des Gesamtstaubes lagen zwischen 113 und 1470, die maximalen Monatsmittel zwischen 174 und 5527 mg/m^2 . Tag. Die Größen der in der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft [32] angegebenen Immissionswerte für "nicht gefährdenden Staubniederschlag" von

0,35 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ als Jahresmittel (IW1)

0,65 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ als höchstes Monatsmittel (IW2)

wurden für IW1 an 12 und für IW2 sogar an 22 der 42 Meßstellen überschritten. Die Immissionswerte der TA Luft sind jedoch nicht auf einzelne Meßpunkte, sondern auf Meßgebiete (in der Regel mit einer Größe von 4 x 4 km und mit 16 Meßstellen) bezogen. Das arithmetische Mittel über die Jahresmittel von sämtlichen 42 Meßstellen beträgt 334 mg/m^2 . Tag. Das höchste Monatsmittel über alle Meß-

Tabelle 16: Jahresmittelwerte (a) und höchste Monatsmittelwerte (b; in Klammern: Monat mit Maximum) für Gesamtstaub, benzollösliche Anteile und Blei in $\text{mg/m}^2 \cdot \text{Tag}$ bei Staubbiederschlagsmessungen in Berlin von September 1973 bis August 1974

Meßstelle Nr.	Gesamtstaub		Benzollösliche Anteile		Blei	
	a	b	a	b	a	b
1	305	525 (3)	6,9	35 (10)	0,14	0,23 (2,3)
2	420	831 (7)	7,9	21 (11)	2,07	6,40 (7)
3	226	402 (3)	6,9	20 (2)	0,18	0,33 (3)
4	315	839 (3)	17,5	52 (3)	0,24	0,47 (3)
5	355	809 (5)	8,7	18 (8)	0,18	0,37 (4)
6	293	563 (4)	4,2	9 (11)	0,15	0,40 (8)
7	1470	5527 (8)	6,6	13 (11)	0,21	0,70 (8)
8	1301	4348 (5)	7,0	17 (11)	0,15	0,27 (2,6)
9	270	712 (9)	5,5	19 (6)	0,23	0,67 (8)
10	557	1366 (4)	5,2	14 (2)	0,17	0,33 (2)
11	234	368 (5)	8,6	18 (9)	0,12	0,20 (2)
12	270	575 (6)	5,6	15 (2)	0,19	0,27 (2,3)
13	255	426 (8)	8,9	29 (11)	0,20	0,53 (3)
14	213	300 (5)	12,8	62 (8)	0,13	0,23 (10)
15	113	174 (5)	4,8	10 (9)	0,07	0,13 (5)
16	155	254 (10)	4,9	12 (1)	0,06	0,10 (5,6,11)
17	260	667 (7)	5,1	11 (11)	0,08	0,13 (1)
18	374	1298 (8)	5,0	13 (9)	0,10	0,17 (2,3,6)
19	291	1073 (6)	6,6	11 (9)	0,12	0,20 (8)
20	195	313 (3)	5,1	12 (9)	0,18	0,23 (2,3,5,11)
21	148	239 (3)	6,9	28 (5)	0,19	0,80 (9)
22	486	3552 (8)	4,5	9 (1)	0,39	2,87 (8)
23	273	756 (8)	7,8	33 (8)	0,26	0,37 (2)
24	292	624 (2)	34,5	254 (2)	0,31	0,90 (2)
25	269	995 (6)	6,0	21 (10)	0,41	1,50 (10)
26	465	1506 (7)	7,1	16 (2)	0,84	2,83 (8)
27	318	793 (3)	6,5	11 (8)	0,42	0,83 (3)
28	199	253 (3)	5,3	12 (8)	0,15	0,27 (2)
29	190	298 (9)	4,3	12 (9)	0,14	0,23 (2,9,11)
30	398	812 (6)	5,4	11 (9,10)	0,15	0,33 (2)
31	177	291 (8)	5,3	15 (11)	0,08	0,10 (1,2,6,8,11)
32	175	423 (8)	4,7	14 (8)	0,09	0,20 (2)
33	356	2403 (7)	5,5	15 (11)	0,13	0,40 (7)
34	324	1314 (9)	4,4	16 (11)	0,12	0,30 (9)
35	285	1007 (6)	5,4	14 (8)	0,15	0,47 (10)
36	416	2729 (6)	4,3	9 (11)	0,12	0,20 (2,6,10)
37	190	306 (7)	3,7	9 (9)	0,12	0,20 (2,10)
38	219	656 (7)	3,3	9 (9)	0,10	0,20 (2,5)
39	456	1744 (7)	7,5	21 (11)	0,10	0,23 (7)
40	226	550 (6)	5,8	18 (9)	0,08	0,17 (2)
41	121	231 (3)	4,1	9 (12)	0,08	0,20 (2)
42	161	626 (6)	4,8	16 (10)	0,09	0,20 (2)

mg/m³

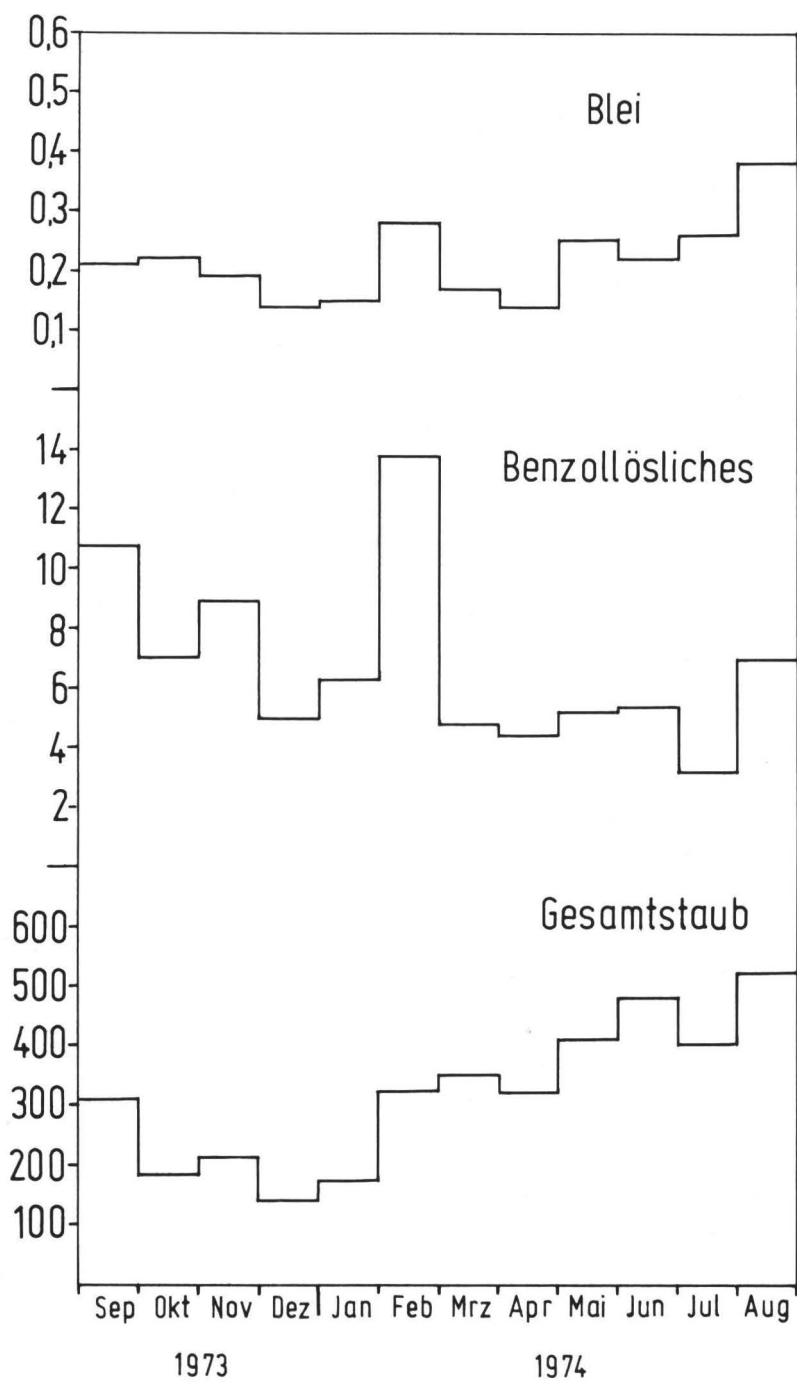


Abbildung 15: Jahresgang des Staubniederschlags in Berlin

stellen ergab sich für den August 1974 mit 521 und das zweithöchste für Juni mit 482 mg/m^2 . Tag. Im Sommerhalbjahr (April-September) wurden deutlich höhere Staubbiederschläge als im Winter gemessen (s. Abb. 15).

Bei den maximalen Monatsmittelwerten des Gesamtstaubbiederschlaes fällt auf, daß sie nur in einem einzigen Fall (Meßstelle Nr. 24, s. Tab. 16) in einen der Wintermonate Dezember, Januar oder Februar fielen. Den "Ausreißer"-Charakter einiger maximaler Monatsmittelwerte sollen für die folgenden Meßstellen die Verhältnisse vom höchsten zum zweithöchsten Wert (mg/m^2 . Tag) demonstrieren (vgl. Tabelle 16): Nr. 9: 712/259; Nr. 19: 1073/331; Nr. 22: 3552/296; Nr. 25: 995/318; Nr. 26: 1506/560; Nr. 33: 2403/391; Nr. 36: 2729/388; Nr. 42: 626/184.

Den möglichen Ursachen für lokale oder kurzzeitige Immissionserhöhungen im Stadtgebiet von Berlin kann hier im einzelnen nicht nachgegangen werden. In bezug auf die Niederschläge in Flugplatznähe ist festzustellen:

Die Meßstellen Nr. 3, 4 und 5 in Neukölln, am östlichen Rand des Flughafens Tempelhof, wiesen im Verhältnis zum mittleren Immissionsniveau aller Meßstellen nur unterdurchschnittliche Werte des Staubbiederschlaes auf. Die zentral in der Einflugschneise gelegene Stelle 4 zeigte gegenüber den seitwärtigen Stellen 3 und 5 keinen herausragenden Gesamtstaubbiederschlag. Die benzollöslichen Anteile waren hier jedoch deutlich erhöht; sie stellen den dritthöchsten Wert des Meßprogramms dar (Tabelle 16).

Benzollösliche Anteile von Staub weisen auf organisch-chemische Substanzen hin, wie sie u.a. bei unvollständigen Verbrennungen von Kraftstoffen auftreten.

Am Westrand des Flughafens in Tempelhof (Meßstellen Nr. 6, 7 und 8) traten an den Stellen 7 und 8 die höchsten Staubbiederschläge aller 42 Meßstellen in Berlin auf. Zuordnungen dieser Immissionen zu Emissionsquellen - Flugverkehr, Kraftverkehr auf der nahe gelegenen, vielbefahrenen Hauptverkehrsstraße oder Feuerungsanlagen - sind jedoch

nicht zu sichern, weil weder die benzollöslichen Anteile noch Blei in auffallender Weise auftraten und die höheren Meßwerte überwiegend während der wärmeren Jahreszeit anfielen. Dominierende Windrichtung und mittlere Windstärke während der Meßmonate ergaben ebenfalls keine eindeutigen Hinweise über die Ursache der hohen Niederschläge. Somit sind örtliche Einflüsse wie Staubaufwirbelungen durch Kraftverkehr innerhalb des Flughafengeländes, durch rollende Flugzeuge und durch Bautätigkeit auf die Beaufschlagung der Meßgeräte möglich.

Bei Staubniederschlagsmessungen, die vom Senator für Gesundheit und Umweltschutz seit August 1974 an ca. 500 Meßstellen in Berlin durchgeführt werden [42], wurde ein Jahresmittel über alle Meßstellen bis $0,26 \text{ g/m}^2 \cdot \text{Tag}$ (im Zeitraum 1975/76) festgestellt, wobei Überschreitungen der Immissionswerte der TA Luft in den Innenstadtbereichen des recht großen Untersuchungsgebietes auftraten. Dieser Wert entspricht etwa dem Mittel des hier dargestellten Untersuchungsprogrammes von $0,28 \text{ g/m}^2 \cdot \text{Tag}$, wenn die extremen Werte an den Stellen Nr. 7 und 8 unberücksichtigt bleiben.

Bemerkenswerte Blei-Niederschläge traten bei den flugplatznahen Meßstellen 3 bis 8 nicht auf. Die "zentralen" Meßstellen 4 und 7 zeigten jedoch gegenüber den jeweils zwei quer zur Flugschneise gelegenen Meßpunkten 3 und 5 bzw. 6 und 8 eine signifikante Erhöhung (im Jahresmittel $0,24$ zu $0,18$ bzw. $0,21$ zu $0,15 \text{ mg Pb/m}^2 \cdot \text{Tag}$; s. Tab. 16). Von den Meßstellen im Berliner Stadtgebiet wiesen 7 Jahresmittel des Blei-Niederschlages über $0,25 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{Tag}$ auf. An 2 Meßstellen (Nr. 2 und Nr. 26) wurden noch $0,5 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{Tag}$ überschritten und damit der im Entwurf einer Änderung der TA Luft [43] niedgelegte Zahlenwert für den Immissionswert I1 des Blei-Niederschlages. Der an Meßstelle 2 festgestellte extreme Mittel-

wert von $2,07 \text{ mg/m}^2$. Tag kann sich auf eine zeitlich begrenzte örtliche Gegebenheit zurückführen lassen, nämlich den Abbruch einer Werksanlage mit Stahlkonstruktionen, die bleihaltige Anstriche (Mennige) enthalten.

Eine ähnliche Erklärung dürfte auch für den "Ausreißer" der benzollöslichen Staubanteile an der Meßstelle 24 (s. Tab. 16) anzunehmen sein, der selbst den Jahresgang der mittleren Immissionen (Abb. 15) noch beeinflusst.

3.1.3.2 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe im Staubbiederschlag

In der Tabelle 17 sind die jeweils niedrigsten und höchsten Jahresmittelwerte des Niederschlags der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe Fluoranthen, Pyren, Benz(b)-fluoranthen, Benz(e)pyren, Perylen, Benz(k)fluoranthen, Benz(a)pyren, Benz(ghi)perylene und Coronen an Meßstellen am Rande der Flughäfen in Berlin-Tegel und Frankfurt (Main), in den Stadtgebieten von Berlin, Frankfurt, Düsseldorf und Mülheim/Ruhr sowie - zum Vergleich - im Ostseebad Kellenhusen (an der Lübecker Bucht) zusammengestellt [44]. Die Tabelle 18 enthält für jede Meßstelle des Untersuchungsprogrammes Jahresmittelwert und höchsten Monatsmittelwert. Auf die Anführung des kaum aufgetretenen Coronen wurde hier verzichtet.

Die stadtferne Meßstelle in Kellenhusen an der Ostseeküste erbrachte in jedem Fall die niedrigsten Jahresmittelwerte. Der Empfindlichkeit der eingesetzten Analysenmethode entsprechend wurden jedoch auch hier polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe im Staubbiederschlag nachgewiesen. Die am Flughafenrand in Berlin-Tegel gelegenen Meßstellen zeigten gegenüber den Meßstellen im Stadtgebiet von Berlin in der Regel niedrigere Immissionen von polycyclischen Kohlenwasserstoffen.

Bei den hintereinander unter der Einflugschneise eingerichteten Meßstellen (s. Abb. 2) ergaben sich nur geringe Unterschiede in den Meßwerten; jedoch zeigte sich eine abnehmende Tendenz der Polycyclen-Niederschläge mit der Entfernung von der Rollbahn. Die Meßstellen Nr. 34 und 39 wiesen also die höchsten Werte auf. Als Beispiel hierfür sind in der Abbildung 16 für den wohl bekanntesten polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoff, das Benz(a)pyren, die Monatsmittelwerte des Untersuchungsjahres dargestellt.

Die untersuchten polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe traten in recht unterschiedlichen Mengen mit dem Staubniederschlag auf. Coronen lag nur selten in meßbaren Konzentrationen vor. Die Hauptmenge der polycyclischen Verbindungen bildeten Fluoranthen und Pyren. Gegenüber deren Konzentrationen traten Benz(b)fluoranthen, Benz(e)pyren und Benz(ghi)perylen nur zu Bruchteilen und Benz(k)fluoranthen, Benz(a)pyren und Perylen nur um eine Größenordnung niedriger auf.

Der in der Abbildung 17 für die Meßstelle 36 (s. Abb. 2) dargestellte Jahresgang des Polycylen-Niederschlags zeigt keinen systematischen Verlauf. Ein auffallendes Maximum lag für alle Verbindungen im Monat Mai 1978. Zwischen Sommer- und Winter-Halbjahr ergaben sich keine wesentlichen Unterschiede. Dieser Befund gilt auch für die anderen flugplatznahen Meßstellen sowie auch für die Zusammenfassung aller Meßstellen des Untersuchungsprogrammes [44]. Im Gegensatz zu dieser Gleichmäßigkeit der Niederschlagswerte von polycyclischen Kohlenwasserstoffen im Jahresverlauf stehen die in der Fachliteratur beschriebenen Ergebnisse von Schwebstaub-Untersuchungen, bei denen in der Regel im Sommer deutlich niedrigere Immissionen von Polycyclen festgestellt wurden als im Winter.

Tabelle 17: Niederschläge von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen an flugplatznahen und flugplatzfernen Meßstellen
Jahresmittelwerte (Juni 1977 - Mai 1978) in $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{Tag}$

Substanz	Flughafen Berlin-Tegel (6 Meßstellen)		Flughafen Frankfurt(Main) (6 Meßstellen)		Berlin Stadt (3 Meßstellen)		Frankfurt Stadt (2 Meßstellen)		Düsseldorf (3 Meßstellen)		Mühlheim/ Ruhr (2 Meßstellen)		Kellenhusen/ Ostsee
	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	
F1	0,64	1,3	0,67	2,2	1,0	1,6	1,1	0,95	1,3	0,87	1,2	0,41	
Py	0,39	0,87	0,40	1,4	0,57	0,98	0,73	0,75	0,52	0,81	0,49	0,71	0,22
BbF	0,15	0,30	0,21	0,54	0,23	0,34	0,41	0,46	0,32	0,53	0,42	0,60	0,078
BeP	0,16	0,40	0,24	0,62	0,29	0,41	0,49	0,56	0,38	0,57	0,42	0,65	0,098
Per	0,011	0,036	0,016	0,042	0,018	0,033	0,048	0,050	0,023	0,037	0,033	0,048	nn
BkF	0,080	0,19	0,11	0,31	0,13	0,19	0,25	0,27	0,16	0,24	0,18	0,26	0,061
BaP	0,073	0,21	0,10	0,28	0,10	0,21	0,25	0,12	0,19	0,18	0,26	0,035	
BghiP	0,15	0,37	0,22	0,60	0,27	0,47	0,59	0,64	0,31	0,62	0,47	0,64	0,085
Cor	nn		nn		nn		0,093	nn	0,11	nn		nn	nn

Fl = Floranthen; Py = Pyren; BbF = Benz(b)fluoranthen; BeP = Benz(e)pyren; Per = Perylen;

Bkf = Benz(k)fluoranthen; BaP = Benz(a)pyren; BghiP = Benz(ghi)perylene; Cor = Coronen;

nn = nicht nachweisbar

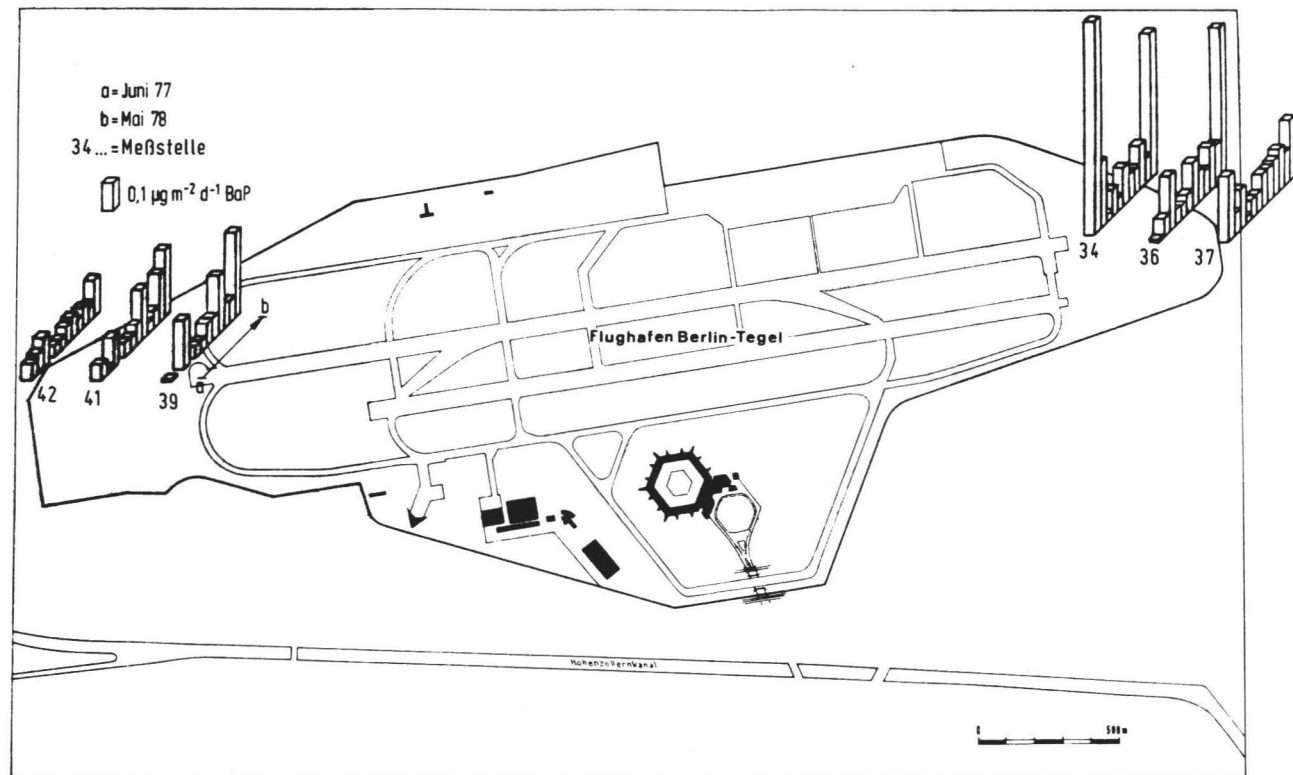


Abbildung 16: Monatliche Benz(a)pyren-Niederschläge am Flughafen Berlin-Tegel

Tabelle 18: Jahresmittelwerte (a) und höchste Monatsmittelwerte (b) der Polycyclen-Niederschläge bei Immissionsmessungen von Juni 1977 bis Mai 1978 in $\mu\text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$

Substanz ⁺ Meßstelle (Nr.) [*]	Fl		Py		BbF		BeP		Per		BkF		BaP		BghiP	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Berlin-Dahlem Corrensplatz	1,0	1,8	0,57	1,0	0,23	0,55	0,29	0,58	0,018	0,051	0,13	0,35	0,10	0,25	0,27	0,79
Berlin-Steglitz verkehrsreiche Straßenkreuzung	1,4	2,5	0,89	1,5	0,36	0,60	0,41	0,73	0,028	0,076	0,19	0,32	0,21	0,40	0,47	0,84
Berlin-Jungfern- heide, Wasserwerk	1,6	2,4	0,98	1,4	0,34	0,58	0,33	0,59	0,033	0,086	0,19	0,36	0,17	0,36	0,39	0,84
Berlin-Tegel (34)	1,3	2,8	0,87	1,8	0,30	0,65	0,31	0,76	0,036	0,21	0,19	0,59	0,21	0,77	0,34	0,80
" (36)	1,0	3,2	0,72	2,2	0,28	1,1	0,40	1,4	0,036	0,27	0,17	0,70	0,21	1,2	0,37	1,9
" (37)	0,86	1,3	0,56	0,99	0,23	0,39	0,32	0,46	0,021	0,062	0,13	0,23	0,13	0,24	0,30	0,57
" (39)	0,83	1,7	0,51	0,96	0,20	0,39	0,27	0,59	0,016	0,050	0,12	0,22	0,12	0,30	0,23	0,52
" (41)	0,75	1,2	0,46	0,77	0,18	0,36	0,24	0,40	0,013	0,031	0,11	0,19	0,099	0,24	0,22	0,57
" (42)	0,64	0,84	0,39	0,62	0,15	0,23	0,16	0,21	0,011	0,020	0,0800	0,14	0,073	0,13	0,15	0,29
Frankfurt Kennedyallee	1,1	1,8	0,73	1,2	0,46	1,1	0,56	0,85	0,050	0,11	0,27	0,58	0,25	0,56	0,64	1,3
Frankfurt Flughafen (1)	0,84	1,5	0,46	1,0	0,25	0,41	0,29	0,53	0,020	0,051	0,15	0,34	0,11	0,22	0,26	0,43
" (2)	0,67	1,4	0,40	0,95	0,23	0,51	0,28	0,56	0,016	0,047	0,12	0,26	0,11	0,27	0,29	0,77
" (3)	1,4	5,1	0,86	3,1	0,54	1,6	0,62	1,4	0,046	0,14	0,31	0,95	0,28	0,91	0,60	1,7
" (4)	0,96	2,4	0,58	1,3	0,24	0,67	0,29	0,63	0,018	0,038	0,11	0,35	0,11	0,24	0,25	0,52
" (5)	0,86	1,6	0,50	0,90	0,21	0,34	0,24	0,40	0,016	0,038	0,14	0,29	0,10	0,17	0,22	0,34
" (6)	2,2	5,9	1,4	3,8	0,35	1,0	0,24	0,47	0,026	0,12	0,21	0,63	0,16	0,60	0,33	1,1

Frankfurt Feldbergstr.	1,1	2,3	0,75	1,5	0,41	0,88	0,49	0,89	0,048	0,12	0,25	0,55	0,25	0,61	0,59	1,4
Gustorf b. Grevenbroich Braunkohlenab- baugesbiet	0,85	1,5	0,46	0,80	0,21	0,45	0,26	0,66	0,020	0,088	0,12	0,26	0,11	0,30	0,22	0,57
Grevenbroich Industriegebiet	1,6	3,8	0,93	2,0	0,47	0,97	0,34	0,76	0,018	0,040	0,18	0,40	0,12	0,22	0,29	0,46
Düsseldorf, Industriegebiet	0,95	2,2	0,52	1,3	0,32	0,69	0,38	0,80	0,023	0,071	0,16	0,34	0,12	0,32	0,31	0,63
Düsseldorf, Flughafenbereich	0,94	1,8	0,55	1,1	0,37	0,57	0,39	0,68	0,026	0,054	0,18	0,33	0,17	0,32	0,42	0,71
Düsseldorf, Stadtmitte	1,3	2,2	0,81	1,4	0,53	0,90	0,57	1,0	0,037	0,078	0,24	0,37	0,19	0,37	0,62	0,98
Mülheim (Ruhr), innenstadt	1,2	2,8	0,71	1,8	0,60	1,4	0,65	1,1	0,048	0,14	0,26	0,66	0,26	0,71	0,64	1,4
Mülheim (Ruhr), Industriegebiet	0,87	2,1	0,49	1,1	0,42	0,71	0,42	0,71	0,033	0,064	0,18	0,32	0,18	0,33	0,47	0,74
Leverkusen, Industriegebiet	0,77	1,9	0,40	0,99	0,20	0,49	0,22	0,64	0,014	0,046	0,10	0,24	0,082	0,22	0,19	0,44
Kellenhusen (Ostsee)	0,41	0,82	0,22	0,44	0,078	0,13	0,098	0,18	nn	nn	0,0610	0,19	0,035	0,0820	0,085	0,13

+) Die Substanzen sind in Tabelle 17 näher bezeichnet

*) Die Meßstellen-Nr. beziehen sich auf die Abbildungen 2 und 3

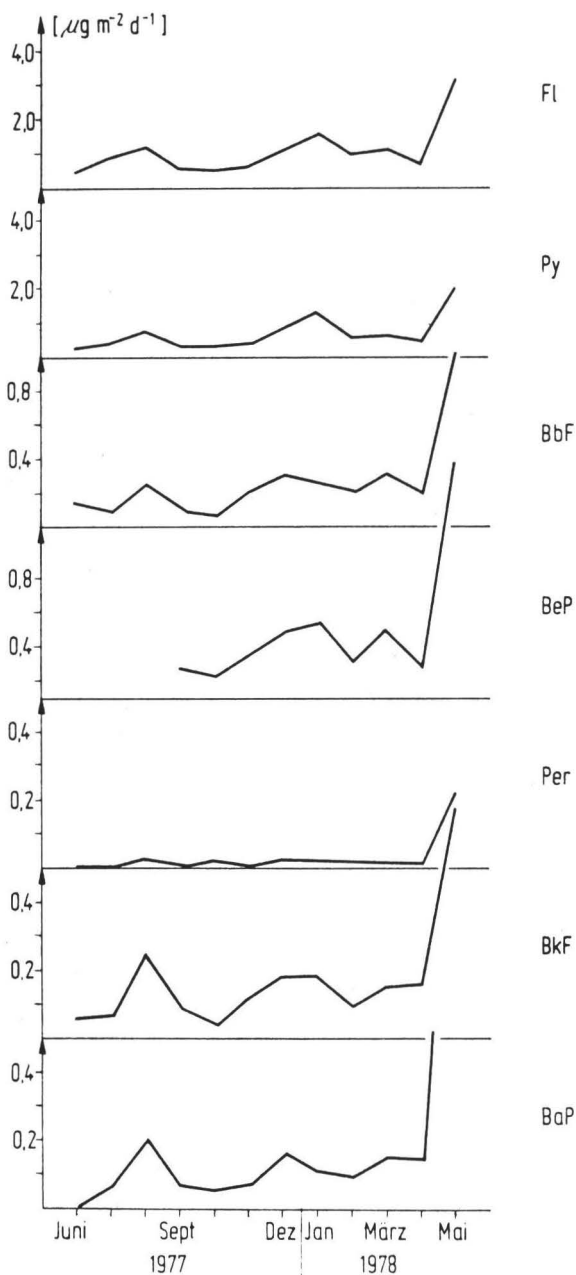


Abbildung 17: Jahresgang des Polycyclen-Niederschlags
an der Meßstelle 36 in Berlin-Tegel (s. Abb. 2)

3.2 Frankfurt (Main)

3.2.1 Automatisch-kontinuierliche Messungen

3.2.1.1 Schwefeldioxid

Die Häufigkeitsverteilung der auf dem Flughafen Frankfurt gemessenen Halbstunden-Einzelwerte der SO_2 -Immissionskonzentration ist, unterteilt nach Tagesstunden, in der Tabelle 19 wiedergegeben. Die Tabelle 20 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Tagesmittelwerte und die Tabelle 21 Kenngrößen der SO_2 -Immission für die 12 Monate des Untersuchungsjahres 1975. In der Tabelle 22 werden schließlich Kenngrößen der 1975 auf dem Flughafen gemessenen SO_2 -Immissionen mit Werten aus der Innenstadt von Frankfurt von diesem und von anderen Jahren verglichen [45]. Der Tagesverlauf der mittleren SO_2 -Konzentrationen an der Flughafen-Meßstelle ist in Abbildung 4 wiedergegeben.

Die Schwefeldioxid-Immissionen an der Meßstelle auf dem Flughafen Frankfurt (Main) waren sowohl im Vergleich zu den Immissionen in der Innenstadt von Frankfurt als auch zu denen am Rande des Flughafens Berlin-Tempelhof nur gering. Gegenüber der Meßstelle in Berlin-Neukölln lagen die Werte für die Immissionskenngrößen I1 und I2 auf dem Flughafen Frankfurt, der im Vergleich zum Flughafen Tempelhof wesentlich verkehrsreicher ist, jedoch stadtferner liegt, nur etwa halb so hoch. In der Innenstadt von Frankfurt (Feldbergstraße und Hanauer Landstr.) und auch in Niel wurden im Untersuchungsjahr 1975 deutlich höhere - im Jahresmittel über doppelt so hohe - SO_2 -Immissionskonzentrationen gemessen (Tab. 22). Am Südwestrand der im Westen Frankfurts gelegenen Stadt Hattersheim, etwa 5 km vom westlichen Flughafenrand entfernt, entsprachen die Immissionen recht genau denen von der Meßstation auf dem Flughafen. In Niedererlenbach - etwa 10 km nördlich vom Stadtzentrum Frankfurts - war hingegen die Luftverunreinigung mit Schwefeldioxid, insbesondere bei den maximalen Monats- und Tagesmittelwerten, niedriger als an der Flughafen-Meßstation.

Tabelle 19: Häufigkeitsverteilung der Halbstunden-Mittelwerte der SO₂-Konzentration in mg/m³
im Tagesverlauf an der Meßstation Frankfurt (Main)-Flughafen, Januar bis Dezember 1975

Tages- zeit	Anzahl der Werte	bis — 0,05	0,06 — 0,10	0,11 — 0,15	0,16 — 0,20	0,21 — 0,25	0,26 — 0,30	0,31 — 0,35	0,36 — 0,40	0,41 — 0,45	0,46 — 0,50	0,51 — 0,55	0,56 — 0,60	0,61 — 0,65	0,66 — 0,70
0 - 1	588	407	121	40	14	4			2						
1 - 2	588	399	127	38	17	4	1		1	1					
2 - 3	588	415	118	34	16	3			2						
3 - 4	588	418	122	30	12	3	3								
4 - 5	588	423	116	32	9	3	3	2							
5 - 6	587	421	110	39	13	2	2								
6 - 7	586	390	122	51	19	2	2								
7 - 8	586	375	123	61	19	5	2	1							
8 - 9	584	363	124	65	21	6	4				1				
9 - 10	584	366	122	63	19	8	2	1		2			1		
10 - 11	582	388	118	49	14	10	1	1	1						
11 - 12	574	394	119	35	9	8	4	2		2					1
12 - 13	581	429	90	38	15	6	1	2							
13 - 14	586	447	74	41	15	5	2	1	1						
14 - 15	585	461	75	32	12	1	2		2						
15 - 16	582	452	86	32	9	1		2							
16 - 17	585	464	73	23	16	5	4								
17 - 18	586	445	86	32	15	5	2	1							
18 - 19	588	429	101	30	16	6	5	1							
19 - 20	588	406	113	40	17	6	4	1	1						
20 - 21	588	407	111	40	18	4	3	2	1		1	1			
21 - 22	587	402	115	51	9	7	1		1	1					
22 - 23	588	404	123	45	6	6	2			2					
23 - 24	588	400	120	48	10	8			2						
0 - 24	14055	9905	2609	989	340	118	50	17	14	8	2	1	1		1

Tabelle 20: Häufigkeitsverteilung der Tagesmittelwerte der SO_2 -Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ an der Meßstation Frankfurt (Main)-Flughafen, Januar 1975 bis Dezember 1975

Monat	Anzahl der Werte	bis 50	51 - 100	101 - 150	151 - 200	201 - 250
Januar	31	23	7	1		
Februar	28	9	9	4	4	2
März	21		12	8	1	
April	20	19	1			
Mai	30	21	8	1		
Juni	30	30				
Juli	29	28	1			
August	29	28	1			
September	30	26	4			
Oktober	8	8				
November	13	12	1			
Dezember	31	21	7	3		
Jahr	300	225	51	17	5	2
=====						

Das Meßjahr 1975 zeigte an der langjährig betriebenen Meßstation Feldbergstraße etwa die gleichen SO_2 -Immissionen wie der Durchschnitt der Jahre 1973 bis 1976. Dabei ist jedoch ein abnehmender Trend der mittleren Konzentrationen von 1971 bis 1978 zu beobachten (Tab. 22). Der Tagesgang der mittleren SO_2 -Konzentration zeigte den für dieses Schadgas in Stadtgebieten typischen Verlauf mit Maxima am Vormittag und am späten Nachmittag (Abb. 4).

Tabelle 21: Kenngrößen der SO₂-Immissionskonzentration für die Meßstation Frankfurt (Main)-
Flughafen in µg/m³

Meßzeit	Anzahl der Meßwerte	Mittel	Min. Tagesmittel	Max. Tagesmittel	Min. Halbstunden- mittel	Max. Halbstunden- mittel	50%- Wert der	95%- Summenhäufigkeitsverteilung	97,5%- Summenhäufigkeitsverteilung
Januar 75	1488	35	2	103	0	210	36	126	144
Februar 75	1344	97	0	240	0	460	81	265	310
März 75	1488	102	57	158	20	270	99	195	221
April 75	1440	17	0	72	0	240	28	83	95
Mai 75	1488	40	0	101	0	180	38	123	139
Juni 75	1440	25	8	49	0	168	29	86	95
Juli 75	1488	20	0	65	0	120	28	80	92
August 75	1488	15	0	55	0	123	26	53	77
September 75	1440	25	0	62	0	651	29	88	98
Oktober 75	1488	18	8	26	0	69	25	49	66
November 75	1440	25	3	53	0	85	28	78	85
Dezember 75	1488	49	7	138	1	174	40	132	145
Jan. 1975 - Dez. 1975	17520	39	0	240	0	651	35	142	179

Tabelle 22: Ergebnisse von SO₂-Immissionsmessungen in
 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ an mehreren Meßstationen im Raum
 Frankfurt (Main) [45]

Meßstation	Meßjahr	Jahres- mittel	Höchstes Monats- mittel	Höchstes Tages- mittel
Flughafen	1975	39	102	240
Innenstadt, Feldbergstr.	1975	110	232	453
Feuerwache, Hanauer Landstr.	1975	106	237	410
Nied	1975	86	194	353
Niedererlenbach	1975	31	59	147
Hattersheim	1975	43	105	221
Innenstadt, Feldbergstr.	1969	123	263	495
	1970	109	229	558
	1971	146	375	781
	1972	134	255	561
	1973	114	212	443
	1974	112	180	314
	1975	110	232	453
	1976	103	179	386
	1977	85	137	339
	1978	87	167	284

3.2.1.2 Kohlenmonoxid

Die Häufigkeitsverteilung der Halbstunden-Einzelwerte der Kohlenmonoxid-Konzentration zeigt die Tabelle 23. In der Tabelle 24 sind die Werte von Immissionskenngrößen für die Meßstelle auf dem Flughafen und für zwei Meßstationen in der Innenstadt von Frankfurt zusammengestellt. Die Abbildung 5 enthält den Tagesgang der mittleren CO-Immissionen.

Die Kohlenmonoxid-Immissionen auf dem Flughafen Frankfurt waren hygienisch ohne Bedeutung. Sie übertrafen zwar die Werte von der flugplatznahen Meßstation in Berlin-Neukölln (Tabellen 5 und 7), hingegen nicht die an der Station Berlin-Tempelhof (Tabellen 6 und 7), an der offensichtlich auch Abgase des Straßenverkehrs wirksam wurden. So betrugen die I1-Werte (arithmetisches Jahresmittel) in Frankfurt 1,3 , in Neukölln 1,1 und in Tempelhof 2,8 ppm CO; die I2-Werte (95%-Werte der Summenhäufigkeitsverteilung) ergaben sich an den entsprechenden Meßstellen zu 5,7, 3,4 und 5,5 ppm CO. Die kurzfristige Luftverunreinigung mit Kohlenmonoxid trat somit in Frankfurt deutlicher hervor als die mittlere Immission.

Im Gegensatz zu den Berliner Meßstellen, die die höchsten mittleren CO-Konzentrationen am Vormittag aufwiesen, lag in Frankfurt das Immissionsmaximum am Nachmittag (Abb. 5). Als Ursache hierfür sind Emissionen des Kraftverkehrs auf der nahegelegenen Autobahn oder im militärischen Bereich des Flughafens zu vermuten. Der Tagesverlauf der Flugbewegungen im zivilen Luftverkehr (s. Abbildung 21) wie auch meteorologische Einflüsse lassen dieses Maximum nicht begründen.

Die mittleren CO-Immissionen waren an der Flughafen-Meßstelle niedriger als an den Meßstationen in der Stadt Frankfurt (Tab. 24). Die höchsten Monats- und Tagesmittel überschritten zwar die entsprechenden Werte von der Meßstation in der Feldbergstraße; sie lagen jedoch erheblich unter den Werten der verkehrsnahen Meßstation unweit der Hauptwache. Ein eindeutiger Trend der CO-Immissionen zeigte sich an der

Tabelle 23: Häufigkeitsverteilung der Halbstundenmittelwerte der CO-Konzentration in ppm im Tagesverlauf an der Meßstation Frankfurt (Main)-Flughafen, Januar-Dezember 1975

Tages- zeit	Anzahl der Werte	bis 1,0	1,1 - 2,0	2,1 - 3,0	3,1 - 4,0	4,1 - 5,0	5,1 - 6,0	6,1 - 7,0	7,1 - 8,0	8,1 - 9,0	9,1 - 10,0	10,1 - 11,0	11,1 - 12,0	12,1 - 13,0	13,1 - 14,0	14,1 - 15,0	15,1 - 16,0	16,1 - 17,0	17,1 - 18,0
0 - 1	548	285	116	54	38	21	15	7	5	1	1	2	2	1					
1 - 2	548	284	116	49	40	32	10	4	7		2	1	2	1					
2 - 3	548	283	114	51	39	35	13	3	3	1	2	1	1	2					
3 - 4	548	296	107	55	37	21	17	7		2	4	1	1						
4 - 5	548	296	106	54	36	19	20	9	1	3	2	2							
5 - 6	548	279	118	62	30	25	19	7	3	2	3								
6 - 7	547	283	128	53	28	27	15	7	2	3	1								
7 - 8	548	290	120	51	34	29	12	5	5	2									
8 - 9	538	296	120	43	33	19	14	9		1	3								
9 - 10	542	317	108	48	27	13	16	5	1	4	1	1	1						
10 - 11	540	333	95	40	24	17	10	6	4	2	2	4	1	1	1				
11 - 12	538	333	92	39	28	9	8	7	9	2	2	5		1	1	1	1		
12 - 13	546	353	67	48	18	18	12	3	9	6	5	1	2		1	1		1	1
13 - 14	551	363	64	27	30	18	17	5	5	7	5		1	4	1	1	1	2	
14 - 15	552	351	73	24	26	23	12	11	7	3	4	3	3	6	1	2	2	1	
15 - 16	547	338	79	29	23	25	17	4	9	4		4	6	4	2	3			
16 - 17	550	335	70	39	33	25	12	6	4	5	4	4	7	1	5				
17 - 18	556	316	81	48	39	20	12	9	9	5	5	4	4	1	3				
18 - 19	556	305	106	50	28	18	12	14	6	7	4	3		2	1				
19 - 20	553	303	104	51	29	23	12	12	5	4	5	3	2						
20 - 21	553	296	115	49	37	13	19	11	3	3	5	1	1						
21 - 22	554	291	121	50	37	21	13	6	7	3	3	1	1						
22 - 23	553	284	124	56	31	19	17	8	6	3		2	1	2					
23 - 24	552	276	131	48	39	26	12	9	4	1		2	2	2					
0 - 24	13164	7386	2475	1118	764	516	336	174	114	74	63	45	38	28	16	8	4	4	1

Tabelle 24: Ergebnisse von CO-Immissionsmessungen
in ppm an Meßstationen in Frankfurt (Main) [45]

Meßstation	Meßjahr	Jahres- mittel	Höchstes Monats- mittel	Höchstes Tages- mittel
Flughafen	1975	1,3	3,3	9,1
Innenstadt, Feldbergstr.	1975	1,9	3,0	7,1
Rundschauhaus, nahe Hauptwache (1. Stock)		6,9	8,8	15,8
" " (Dach)		3,1	3,8	8,3
Innenstadt, Feldbergstr.	1972	2,0	2,9	7,3
	1973	2,4	4,4	6,9
	1974	2,0	4,4	8,1
	1975	1,9	3,0	7,1
	1976	2,2	4,6	10,2
	1977	1,9	4,4	10,4
	1978	1,7	2,4	6,8

langjährig betriebenen Meßstation in der Feldbergstraße nicht. In dem Zeitraum von 1972 bis 1978 lagen die in Tabelle 24 aufgeführten Immissionskenngrößen meist etwas höher, zum Teil aber auch niedriger als 1975. Das Gesamt-
mittel über die 7 Jahre betrug 2,0 ppm, bei einem Jahres-
mittel von 1,9 ppm CO für das Meßjahr 1975.

3.2.1.3 Kohlenwasserstoffe

Die Häufigkeitsverteilung der Halbstunden-Einzelwerte der "Kohlenwasserstoff"-Konzentration im Tagesverlauf ist in der Tabelle 25 dargestellt. Die Tabelle 26 zeigt Kenngrößen der Kohlenwasserstoff-Immission für die Monate des Untersuchungsjahres 1975. Die Abbildung 6 enthält den Tagesgang der mittleren Kohlenwasserstoff-Immissionen.

Die Kohlenwasserstoff-Immissionen am Rande des Flughafens Frankfurt (Main) lagen deutlich höher als an der Meßstelle in Berlin-Tempelhof (Abschnitt 3.1.1.3; Tabellen 8 und 9). So betrugen das höchste Monatsmittel in Frankfurt 7,6 , in Berlin 2,9 und das höchste Tagesmittel in Frankfurt 10,5 , in Berlin 4,0 ppm. Während in Berlin nur 0,23 % der Einzelwerte über 5 ppm lagen und 10 ppm nicht erreicht wurden, überschritten in Frankfurt 63 % der 30-Minuten-Mittel 5 ppm und noch 13,7 % 10 ppm. Die Immissionen in Frankfurt entsprachen damit der bei früheren Untersuchungen in einer verkehrsreichen Straße in Berlin angetroffenen Luftverunreinigung [35]. Eine Aussage über eine lufthygienisch kritische Situation ist damit jedoch nicht verbunden, weil die Meßwerte einer summarischen "Gesamtkohlenwasserstoff"-Bestimmung stark durch wenig reaktive oder wirksame Verbindungen (insbesondere Methan, Äthan und andere aliphatische, gesättigte Kohlenwasserstoffe) geprägt werden.

Der Tagesgang der Kohlenwasserstoff-Immissionen zeigte keinen charakteristischen Verlauf. Die geringfügig erhöhten Konzentrationen am Nachmittag entsprechen in ihrem zeitlichen Auftreten dem bei den CO-Immissionen beobachteten Maximum.

3.2.1.4 Stickstoffoxide

Die Halbstunden-Einzelwerte der NO_x -Konzentration sind in der Tabelle 27 als Häufigkeitsverteilung im Tagesverlauf zusammengestellt. Kenngrößen der NO_x -Immission für die Monate des Untersuchungsjahres 1975 enthält die Tabelle 28. Meßer-

Tabelle 25: Häufigkeitsverteilung der Halbstundenmittelwerte der Kohlenwasserstoff-Konzentration in ppm im Tagesverlauf an der Meßstation Frankfurt (Main)-Flughafen, Januar - Dezember 1975

Tages- zeit	Anzahl der Werte	bis 1,0	1,1 2,0	2,1 3,0	3,1 4,0	4,1 5,0	5,1 6,0	6,1 7,0	7,1 8,0	8,1 9,0	9,1 10,0	10,1 11,0	11,1 12,0	12,1 13,0	13,1 14,0	14,1 15,0	15,1 16,0	16,1 17,0	17,1 18,0
0 - 1	586		9	76	101	31	119	113	96	24	11	3			2	1			
1 - 2	584		8	74	101	27	124	120	83	25	14	5	1		1		1		
2 - 3	583		6	83	95	33	124	117	90	19	10	2	1	1		2			
3 - 4	585		4	92	83	37	128	115	84	24	13	1	1		2		1		
4 - 5	583		5	85	96	34	124	109	84	27	11	5	1						2
5 - 6	586		2	95	93	28	124	114	86	25	12	4	1			1			1
6 - 7	585		3	91	92	29	114	120	91	27	13	1	2	2					
7 - 8	586		1	85	101	24	103	133	91	36	9	1				1	1		
8 - 9	581		2	84	105	23	90	125	117	25	6			2			1		1
9 - 10	572		2	69	116	22	93	113	105	43	5	1	1				1	1	
10 - 11	568		4	68	112	22	87	122	106	34	9	2			1	1			
11 - 12	567			72	115	21	93	124	96	34	7	4			1				
12 - 13	570		1	64	129	12	99	125	98	32	3	4	1	1	1				
13 - 14	568		4	61	124	15	95	127	92	32	12	5	1						
14 - 15	570		4	63	123	17	98	113	92	40	14	2	2	1	1				
15 - 16	569		4	65	122	17	91	113	84	39	22	5	5		2				
16 - 17	570		1	63	119	20	89	124	83	40	19	4	4	3	1				
17 - 18	577		1	74	121	16	88	115	89	42	17	7	3	3	1				
18 - 19	582		5	71	117	21	85	106	102	42	21	6	3	3					
19 - 20	583		3	75	117	21	84	100	109	38	17	12	5	1				1	
20 - 21	587		3	73	119	26	90	113	101	43	10	5	2		2				
21 - 22	592		5	78	117	30	99	114	92	39	6	4	2	5	1				
22 - 23	592		4	79	112	30	107	110	98	30	13	4	1	2	1			1	
23 - 24	591		5	79	110	31	98	128	90	31	11	4	2			1	1		
0 - 24	13917		86	1819	2640	587	2446	2813	2259	791	285	91	39	24	17	7	6	3	4

Tabelle 26: Kenngrößen der Kohlenwasserstoff-Immissionskonzentration für die Meßstation Frankfurt (Main)-Flughafen in ppm

Monat 1975	Anzahl der Meßwerte	Mittel	Min. Tagesmittel	Max. Tagesmittel	Min. Halbstundenden- mittel	Max. Halbstundenden- mittel	50%- Wert der	95%- Summenhäufigkeitsverteilung	97,5%- Summenhäufigkeitsverteilung
Januar	192	3,9	2,4	5,1	1,9	6,1	4,0	5,8	5,9
Februar	345	3,6	2,3	5,6	1,7	7,1	3,4	6,0	6,5
März	1455	2,8	2,0	3,7	1,4	5,2	2,8	3,9	4,1
April	791	3,6	3,0	4,0	2,8	7,8	3,6	4,8	4,9
Mai	1102	3,1	2,4	4,1	1,9	6,0	3,2	4,4	4,7
Juni	1426	3,7	2,6	6,4	1,4	7,5	3,5	6,0	6,6
Juli	1479	6,7	4,7	10,5	2,9	17,0	6,3	9,9	
August	1428	7,6	5,9	9,4	4,6	13,0	7,5	9,8	
September	1440	7,3	5,7	10,0	3,2	17,9	7,2	9,1	9,9
Oktober	1403	6,7	5,3	7,5	4,2	10,5	6,9	7,9	8,0
November	1440	6,5	4,6	9,6	3,9	17,2	6,2	8,7	9,3
Dezember	1416	6,2	5,4	9,3	4,5	13,0	6,0	8,1	9,3
Jan.-Dez.	13917	5,1	2,0	10,5	1,4	17,9	5,7	8,7	9,4

Tabelle 27: Häufigkeitsverteilung der Halbstundenmittelwerte der Stickoxide-Konzentration in $\text{mg NO}_x/\text{m}^3$ (als NO_2 berechnet) im Tagesverlauf an der Meßstation Frankfurt (Main)-Flughafen, Januar bis Dezember 1975

Tages- zeit	Anzahl der Werte	bis 0,05	0,06 0,10	0,11 0,15	0,16 0,20	0,21 0,25	0,26 0,30	0,31 0,35	0,36 0,40	0,41 0,45	0,46 0,50	0,51 0,55	0,56 0,60	0,61 0,65	0,66 0,70	0,71 0,75	0,76 0,80	0,81 0,85	0,86 0,90	0,91 0,95	0,96 1,00	Über 1,00
0 - 1	678	168	96	92	56	45	36	31	24	21	18	17	9	13	11	2	10	5	6	1		17
1 - 2	678	175	88	97	52	44	37	34	33	20	26	7	7	10	4	11	3	3	2	2	3	20
2 - 3	678	196	97	87	44	45	39	35	26	27	10	11	11	3	6	5	7	4	2	4		19
3 - 4	678	197	113	73	58	42	28	31	29	20	21	10	14	3	8	3	7	2	1	2	2	14
4 - 5	678	191	113	81	53	53	37	31	25	17	16	8	10	6	11	4	1	2	4		3	12
5 - 6	678	181	121	86	60	41	38	30	27	13	12	13	10	5	5	5	2	6	3	3	6	11
6 - 7	677	169	120	108	55	27	36	24	19	14	23	14	7	8	3	7	5	7	2	3	2	24
7 - 8	678	194	142	73	50	42	31	20	16	14	13	11	6	4	1	6	2	5	4	5	4	35
8 - 9	659	244	115	81	43	34	21	21	21	9	7	6	8	2	5	4	1	3	2	5	2	25
9 - 10	649	263	127	89	38	30	22	14	9	6	9	3	1	3	9	5		1	2		1	17
10 - 11	640	303	133	68	39	20	19	14	11	3	5	3	4	3	2	4	1	1			1	6
11 - 12	639	339	98	80	40	21	12	15	6	8	4	1	2	4	1	3		1	1		1	2
12 - 13	636	343	119	62	41	22	19	11	3	1	3	5		1	2		2		2			
13 - 14	641	371	125	46	36	21	18	9	3	3	1			3	1	3		1				
14 - 15	640	366	125	52	35	22	19	4	7	4				1		2	1	1	1			
15 - 16	650	335	135	74	26	30	22	7	7		6	3				1	3					1
16 - 17	662	304	121	67	43	36	28	16	8	8	4	3	7	1	2	3		2		1	1	7
17 - 18	666	273	124	63	33	33	33	26	18	8	5	8	5	2	5	3	3	2	2	2	4	14
18 - 19	670	239	124	72	43	33	23	16	21	17	6	12	8	4	8	2	5	5	5	4	4	19
19 - 20	667	201	115	95	38	33	26	23	17	24	12	6	8	11	8	8	5	4	4		2	27
20 - 21	670	164	126	99	43	37	34	25	22	19	18	14	6	8	9	8	7	3	2	4		22
21 - 22	674	156	109	97	48	39	38	36	19	15	15	11	11	8	10	4	9	6	4	8	2	29
22 - 23	678	153	117	86	51	45	40	20	28	17	18	6	12	8	5	13	9	7	3	6	4	30
23 - 24	678	163	98	84	46	43	39	29	35	15	23	10	8	11	11	8	8	10	5	8	3	21
0 - 24	15942	5688	2801	1912	1071	838	695	522	434	303	275	132	154	122	127	114	91	81	57	58	45	372

Tabelle 28 : Kenngrößen der Stickoxide-Immissionskonzentration für die Meßstation Frankfurt (Main)-Flughafen in $\mu\text{g NO}_x/\text{m}^3$ (als NO_2 berechnet)

Monat	Anzahl der Meßwerte	Mittel	Min. Tagesmittel	Max. Tagesmittel	Min. Halbstundenmittel	Max. Halbstundenmittel	50%- Wert der Summenhäufigkeitsverteilung	95%-	97,5%-
Januar	1359	390	48	1498	0	2170	212		
Februar	1196	376	63	980	0	2830	247		
März	542	132	1	410	0	1004	47	543	680
April	1436	65	1	198	0	760	45	248	350
Mai	1459	120	23	350	0	1641	74	454	659
Juni	1407	96	4	244	0	731	52	375	433
Juli	1422	77	21	149	0	782	39	338	397
August	1401	156	0	350	0	1255	92	535	687
September	1400	175	14	367	0	1122	95	616	723
Oktober	1439	182	38	589	0	1526	104	588	815
November	1410	215	12	613	0	1498	139	755	937
Dezember	1471	204	0	936	0	1708	119	852	
Jan.-Dez.	15942	182	0	1498	0	2830	90	709	970

gebnisse aus dem Stadtgebiet von Frankfurt als Vergleich zu den Meßdaten vom Flughafen sind in der Tabelle 29 aufgeführt. Die Abbildung 7 zeigt den Tagesverlauf der mittleren NO_x -Konzentrationen.

Gegenüber den am Flughafen Berlin-Tempelhof gemessenen Immissionen waren die NO_x -Konzentrationen an der Frankfurter Meßstelle deutlich höher. Während in Berlin im Mittel über die 3 Meßmonate Juni, Juli und August nur ca. $50 \mu\text{g NO}_x/\text{m}^3$ festgestellt wurden (s. Abschnitt 3.1.1.4), lag der entsprechende Dreimonatsmittelwert in Frankfurt mehr als doppelt so hoch. Noch höhere mittlere Immissionen wurden in fast allen übrigen Monaten in Frankfurt gemessen. Das Jahresmittel betrug $0,18 \text{ mg NO}_x/\text{m}^3$. Von den fast 16.000 Halbstunden-Einzelwerten lagen 28 % über $0,2 \text{ mg NO}_x/\text{m}^3$, 8,8 % über 0,5 und noch 2,3 % über $1,0 \text{ mg NO}_x/\text{m}^3$.

Der 95%-Wert der Summenhäufigkeitsverteilung der NO_x -Immissionskonzentration berechnet sich zu $0,71 \text{ mg}/\text{m}^3$. Er liegt damit im Bereich der Immissionswerte der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft [34] für Stickstoffoxide (in mg/m^3):

	NO	NO_2
IW1	0,20	0,10
(arithmetischer Mittelwert)		
IW2	0,60	0,30
(95%-Wert der Summenhäufigkeitsverteilung)		

Eine Überschreitung der Konzentrationen dieser Immissionswerte läßt sich jedoch aus den Ergebnissen der kontinuierlichen NO_x -Messungen (Mittelwert 0,18; 95%-Wert $0,71 \text{ mg NO}_x/\text{m}^3$) nicht ableiten, weil bereits beim Mittelwert über die Hälfte des NO_x und bei Höchstwerten noch wesentlich mehr als Stickstoffmonoxid anzusetzen ist (vgl. Abschnitt 3.2.2 und Tabelle 30).

Im Tagesgang zeigte sich ein sehr deutliches Minimum der NO_x -Immissionen am frühen Nachmittag, von dem aus ein stetiger

Tabelle 29: Ergebnisse von NO_x -Immissionsmessungen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (als NO_2 berechnet) an Meßstationen in Frankfurt (Main) [45]

Meßstation	Meßjahr	Jahres- mittel	Höchstes Monats- mittel	Höchstes Tages- mittel
Flughafen	1975	182	390	1498
Innenstadt, Feldbergstr.	1975	132	270	869
Rundschauhaus, nahe Haupt- wache (1. Stock)		220	313	
" " (Dach)		120	183	
Innenstadt, Feldbergstr.	1972	116	171	350
	1973	72	225	399
	1974	90	200	319
	1975	132	270	869
	1976	151	286	543
	1977	146	231	585
	1978	139	270	787

Anstieg bis Mitternacht und dann erst ein fortlaufender, nur am Morgen unterbrochener Rückgang folgt (Abb. 7). Dieser Konzentrationsverlauf erklärt sich zum Teil durch die insbesondere am Nachmittag wirksam werdende Oxydation des primär emittierten Stickstoffmonoxids zum Stickstoffdioxid, dem gewichtsmäßig schwereren und lufthygienisch kritischer zu beurteilendem Gas. Andere Ursachen sind zeitabhängige Einflüsse von Emissionsquellen (auch auf der nahe gelegenen Autobahn) und meteorologische Elemente (vor allem die Windgeschwindigkeit).

Die auf dem Flughafen gemessenen Stickoxid-Konzentrationen übertrafen die von Messungen in der Innenstadt von Frankfurt (Feldbergstraße) berichteten Immissionen (Tab. 29). Sie er-

reichten im Jahresmittel zwar nicht den Wert der kraftverkehrs-nahen Meßstation nahe der Hauptwache; gegenüber dieser Station lag jedoch das höchste Monatsmittel der Stickoxid-Konzentration auf dem Flugplatz höher.

Die Ergebnisse der mehrjährigen Messungen an der Meßstation Feldbergstraße zeigten einen Trend steigender Stickoxid-Immissionskonzentrationen von 1973 bis 1978. Dabei war der Anstieg von 1973 bis zum Meßjahr 1975 höher als von 1975 bis 1978 (Tab. 29).

3.2.2 Stichproben-Messungen

In der Tabelle 30 sind die Ergebnisse der Stichproben-Messungen am Rande des Flughafens Frankfurt (Main) für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Stickstoffoxide, Formaldehyd, Phenol, Chloride, Fluoride, Staub und Blei zusammenfassend dargestellt. Der Tagesgang der mittleren Immissionen ist in den Abbildungen 8 bis 14 wiedergegeben (vgl. Abschnitt 3.1.2).

Tabelle 30: Ergebnisse von Stichprobenmessungen am Rande des Flughafens Frankfurt (Main), 1975

Substanz	Anzahl der Einzelwerte	Mittelwert /ug/m ³	Standard- abweichung /ug/m ³	%	Niedrigster Einzelwert /ug/m ³	Höchster Einzelwert
SO ₂	144	84	82	98	0	323
NO ₂	144	51	25	48	12	155
NO _x	132	119	123	104	13	787
Formaldehyd	144	1,4	2,4	179	0	15
Phenol	144	4,7	5,3	112	0	21
Cl ⁻	144	33	13	39	2	64
F ⁻	144	0,07	0,07	100	0,05	0,43
Staub	24	110			40	250
Blei	24	0,37			0,03	1,71

Ebenso wie bei den Untersuchungen in Berlin wurden auch bei den Stichproben-Messungen am Flughafen Frankfurt (Main) keine lufthygienisch kritischen Immissionen festgestellt. Im Vergleich zu Berlin (vgl. Tab. 11) lagen insbesondere die Werte für Staub (einem allgemeinen Indikator der Luftverunreinigung), für Blei (einem wichtigen Bestandteil des Kraftfahrzeugabgases) sowie für Phenol und Fluoride niedriger. Für Schwefeldioxid und Formaldehyd lassen die starken Immissionsschwankungen zwischen den 4 Berliner Meßstellen eine solche vergleichende Aussage nicht zu. Die Stickoxid-Immissionen lagen jedoch in Frankfurt deutlich höher als in Berlin. Dieses Ergebnis entspricht den Befunden der automatischen Stickoxid-Messungen (s. Abschnitt 3.2.1.4), deren Ergebnisse im Mittel wie in Maximalwerten die Daten der Stichproben noch übertrafen.

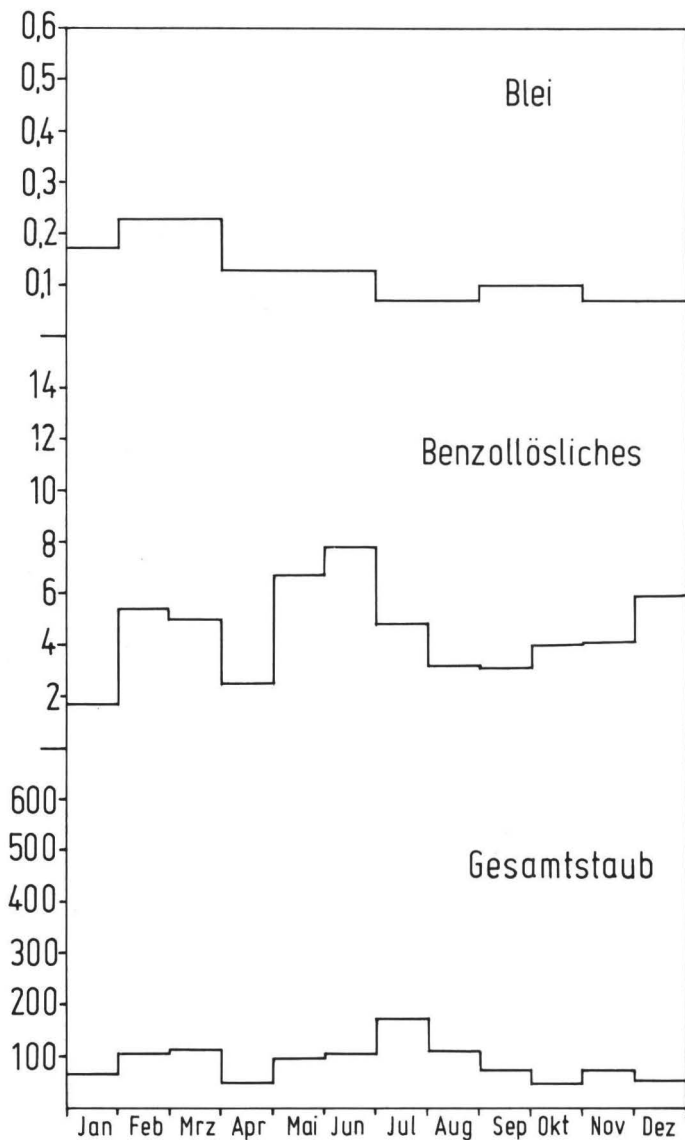
3.2.3 Niederschlagsmessungen

3.2.3.1 Staubniederschlag

Die Jahresmittelwerte und die höchsten Monatsmittelwerte für den Niederschlag von Gesamtstaub, benzollöslichen Anteilen und Blei an den 6 Meßstellen am östlichen Rand des Flughafens Frankfurt sind in der Tabelle 31 zusammengestellt. Den Jahresgang der mittleren Immissionen dieser 3 Substanzgruppen zeigt die Abbildung 18.

Die Werte für Gesamtstaub, benzollösliche Anteile und für Blei lagen durchweg niedrig. "Ausreißer" wie bei den - erheblich umfangreicheren - Messungen in Berlin traten nicht auf. Jahresmittel und höchste Monatsmittel des Gesamtstaub-Niederschlages lagen deutlich unter den Immissionswerten der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (s. Abschnitt 3.1.3.1): Es fällt auf, daß die maximalen Monatsmittel beim Gesamtstaub und bei den benzollöslichen Anteilen öfter im Sommer- als im Winterhalbjahr auftraten. Die Blei-Niederschläge lagen deutlich unter den Werten, die im Entwurf einer Änderung der TA Luft [43] als Immissionsbegrenzung vorgeschlagen wurden (s. 3.1.3.1).

mg/m²d



1975

Abbildung 18: Jahresgang des Staubniederschlags in Frankfurt

Tabelle 31: Jahresmittelwerte (a) und höchste Monatsmittelwerte (b; in Klammern: Monat mit Maximum) für Gesamtstaub, benzollösliche Anteile und Blei in mg/m^2 . Tag bei Staubbiederschlagsmessungen am Flughafen Frankfurt (M), 1975

Meßstelle Nr.	Gesamtstaub		Benzollösliche Anteile		Blei	
	a	b	a	b	a	b
1	69	105 (7)	4,0	7,6 (5)	0,16	0,47 (2)
2	65	115 (7)	4,2	7,5 (6)	0,16	0,37 (2)
3	76	125 (2)	5,2	13,8 (6)	0,17	0,30 (1)
4	113	252 (11)	5,0	8,9 (11)	0,09	0,27 (2)
5	116	368 (7)	4,6	8,6 (5)	0,10	0,23 (3)
6	104	178 (7)	3,9	13,2 (6)	0,10	0,23 (3)

Die im Zentrum der Anflugrichtung gelegenen Meßstellen Nr. 2 und 5 zeigten gegenüber den beiden seitwärts gelegenen Stellen (1 und 3 bzw. 4 und 6; vgl. Abb. 3) keine signifikanten Unterschiede der Immissionen. Die vom Flugplatz entfernter gelegene Meßstellenreihe 4 - 5 - 6 wies gegenüber den Meßstellen 1, 2 und 3 am Flugplatzrand höhere Mittelwerte des Gesamtstaubes, jedoch niedrigere der Bleiimmission auf.

3.2.3.2 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe im Staubbiederschlag

Die Ergebnisse der Bestimmungen von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen im Staubbiederschlag an Meßstellen in Frankfurt wurden bereits in den Tabellen 17 und 18 aufgeführt. Ebenso wie in Berlin wiesen auch hier die Meßwerte der am Flughafen gelegenen Meßstellen keine auffallenden Abweichungen von den Ergebnissen aus dem Stadtgebiet auf. Die kleinsten Jahresmittelwerte lagen bei den Flughafen-Meßstellen stets niedriger, die größten hingegen meist höher als bei den Stadt-

Meßstellen. Der Streubereich der Meßwerte war also am Flughafen erheblich größer.

Die etwa in der Mitte der Einflugschneise gelegenen Meßstellen 2 und 5 (s. Abb. 3) wiesen gegenüber den quer zur Flugrichtung eingerichteten Stellen keine signifikante Erhöhung des Polycyclen-Niederschlags auf. Dieser Befund wird anhand der monatlichen Werte des Untersuchungsjahres für Benz(a)pyren in der Abbildung 19 demonstriert. Die südlich gelegenen Meßstellen Nr. 3 und 6 wiesen verschiedentlich überhöhte Werte auf; hier ist ein Einfluß von Emissionen im militärischen Teil des Flughafens möglich. Auch für die Untersuchungen in Berlin hatte Benz(a)pyren als Beispiel der gemessenen Substanzen gedient (Abb. 17).

Die vom Flughafen weiter entfernte Meßstellenreihe 4-5-6 wies in den meisten Fällen höhere Niederschlagswerte als die Reihe 1-2-3 auf (Tab. 18). Ausnahmen bildeten hier Fluoranthen und Pyren.

Die Relation des Auftretens der verschiedenen untersuchten polycyclischen Verbindungen im Staubbiederschlag entsprach etwa derjenigen der Berliner Meßstellen. Bei einem Vergleich mit den Ergebnissen der Meßstellen am Flughafen Berlin-Tegel lagen die Werte vom Flughafen Frankfurt für jede der gemessenen polycyclischen Verbindungen höher (Tab. 17 und 18). Dieser Befund war jedoch im wesentlichen durch die hohen Meßwerte an den Frankfurter Meßstellen 3 und 6 bedingt.

Ebenso wie bei den Untersuchungen in Berlin (und auch in anderen Gebieten des Untersuchungsprogrammes [447]) ergab sich für die Meßstellen in Frankfurt - im Flughafenbereich und in der Stadt - kein systematischer Jahresgang der Immissionen, insbesondere auch kein erhöhter Niederschlag von polycyclischen Kohlenwasserstoffen im Winter. Eine graphische Darstellung der Monatsmittelwerte für 7 Polycyclen an der Meßstelle 5, die etwa in der Mitte der Einflugschneise für den zivilen Flugverkehr am Ostrand des Flughafens liegt, ist in der Abbildung 20 wiedergegeben.

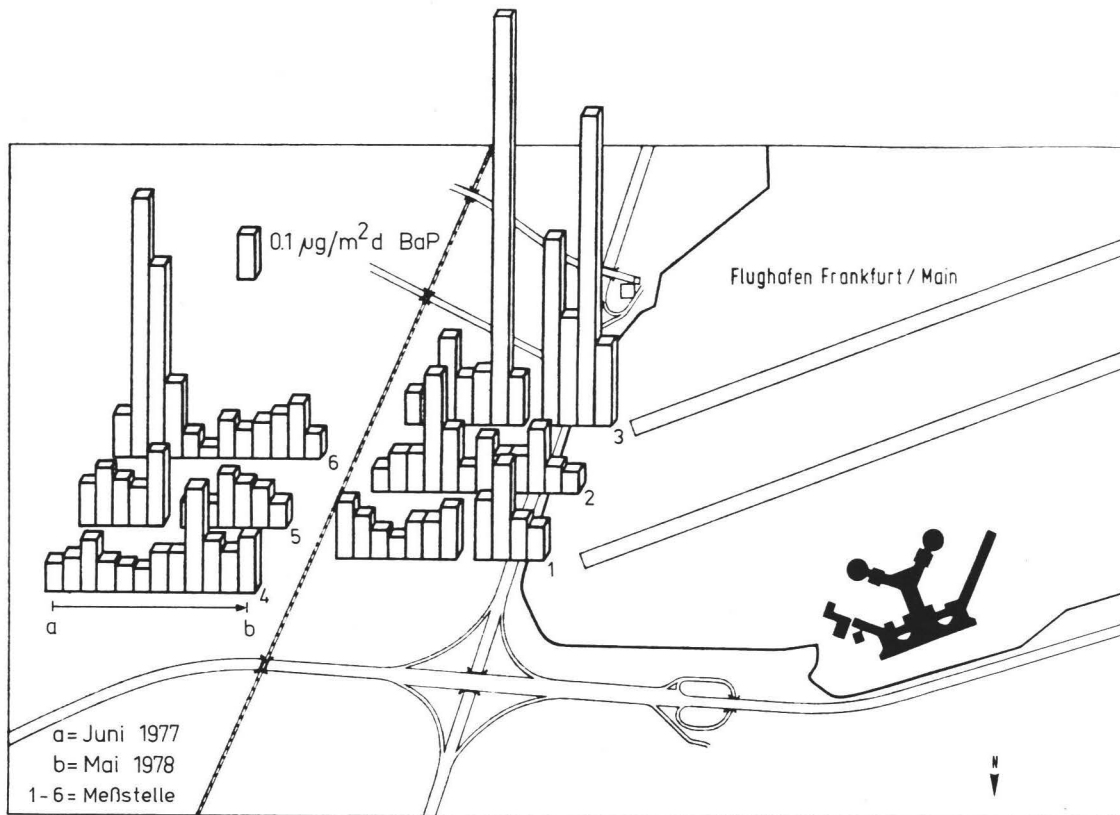


Abbildung 19: Monatliche Benz(a)pyren-Niederschläge am
Flughafen Frankfurt

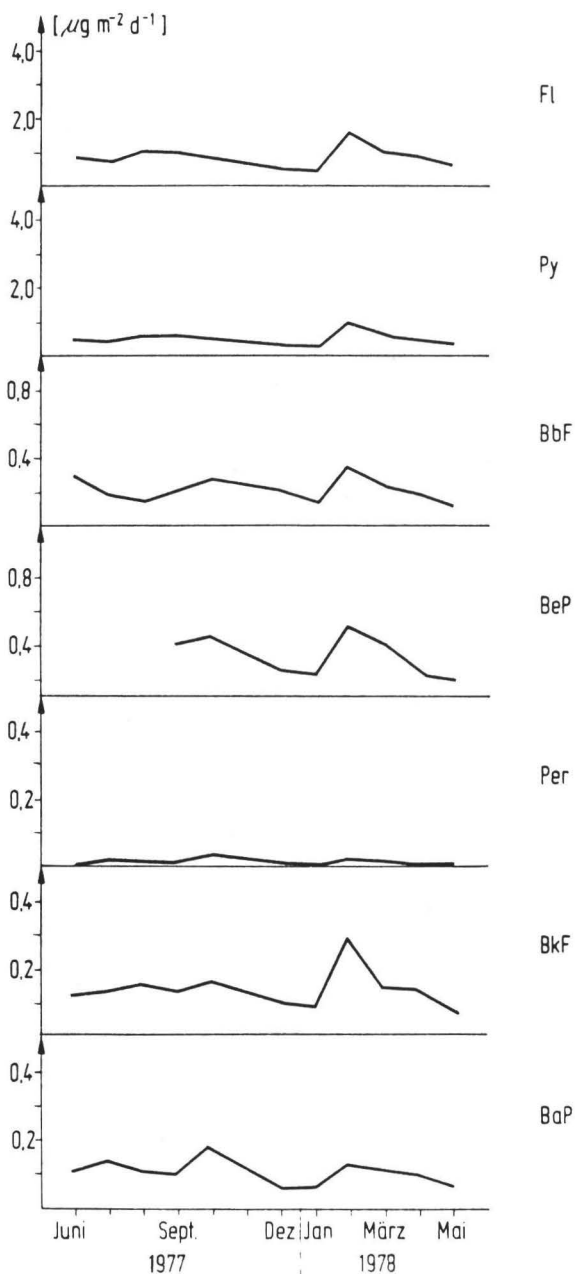


Abbildung 20: Jahresgang des Polycyclen-Niederschlags
an der Meßstelle 5 in Frankfurt (s. Abb. 3)

3.2.4 Schwebstaub

In der Tabelle 32 sind die Ergebnisse von Schwebstaub- und von Korngrößen-Bestimmungen, in der Tabelle 33 mittlere Konzentrationen von Staubkomponenten zusammenfassend dargestellt. Sie wurden bei Untersuchungen auf dem Flughafen Frankfurt und an 6 weiteren Meßstellen in verschiedenen deutschen Städten erhalten. Die Gesamtschwebstaub-Konzentration auf dem Flughafen lag mit $96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ unter dem Durchschnitt des Untersuchungsprogrammes ($107 \mu\text{g}/\text{m}^3$), welches die Erfassung von Gebieten mit recht unterschiedlichen Immissionssituationen zum Ziel hatte. Der mittlere Anteil des feinkörnigen Staubes lag etwas höher als an den übrigen Meßstellen, ein jedoch statistisch nicht gesicherter Befund. 90 % des Schwebstaubes traten im Korngrößenbereich bis $10 \mu\text{m}$ auf. Die Immissionswerte der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft [34] für "nicht gefährdende Stäube" wurden nicht erreicht (s. Abschnitt 3.1.2).

Auffällige Immissionen von Staubkomponenten traten nicht auf. Die gegenüber den anderen Meßstellen höchste Brom-Konzentration und die dritthöchste Blei-Konzentration - nach den bei Industriegebieten gelegenen Meßstellen in Nordenham und Duisburg - weisen auf einen Einfluß der Abgase von Kraftfahrzeugen mit Ottomotor auf der nahe gelegenen Autobahn hin. Jedoch können auch Flugzeuge mit Kolbenmotoren diese Substanzen emittieren. Blei- und Brom-Emissionen resultieren hier aus dem Zusatz bleihaltiger Antiklopfmittel und bromhaltiger Additive [46].

3.2.5 Flugbewegungen

In der Abbildung 21 ist die mittlere Anzahl der Flugbewegungen auf dem Flughafen Frankfurt im Tagesverlauf für die Tage der Stichprobenmessungen im Untersuchungsjahr 1975 wiedergegeben. Die Unterschiede in der Luftverkehrsdichte waren über die Tagesstunden nicht bemerkenswert groß; ein Minimum lag bei 17 Uhr.

Tabelle 32: Mittlere Schwebstaubkonzentration und Summenhäufigkeit der mittleren Korngrößenverteilung bei Messungen mit modifizierten Andersen-non-viable-Impaktoren. Etwa monatliche Probenahmen über je 24 Stunden in der Zeit von Juni 1975 bis Juli 1976 [32]

Meßstelle	Gesamtstaub		Mittlere Korndurchmesser in μm						
	Mittel	$< 0,4$	$\leq 0,4$	$\leq 0,7$	≤ 1	≤ 2	$\leq 3,5$	≤ 5	≤ 10
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$								
			Gewichtsanteile in %						
Frankfurt Flughafen	96	14	28	42	56	66	74	83	90
Berlin Wohngebiet, nahe Gas- kokerei	122	16	28	41	53	62	73	81	88
Hannover Linden, Stadtgebiet mit Kleinindustrie	89	7	18	32	46	55	65	76	86
Nordenham nahe Industriegebiet	111	7	18	35	50	61	70	80	88
Duisburg Hochfeld, Industrie- und verkehrsreiches Wohngebiet	147	8	21	34	49	59	69	79	87
Mannheim Friesenheimer Insel, benachbarte Großindustrie	112	10	23	36	50	59	70	78	88
München verkehrsarmes Wohngebiet	72	10	23	39	51	58	68	77	86
Mittel	107	10	23	37	51	60	70	79	88

Tabelle 33: Mittlere Konzentrationen von Staubinhaltsstoffen in der atmosphärischen Luft in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bei je 11 Probenahmen mit Staplex-Filtergeräten über 24 Stunden in der Zeit von Juli 1975 bis Juni 1976 [33]

Meßstelle	Pb	Br	Fe	Cu	Cd	Ca
Frankfurt	0,28	0,13	1,38	0,43	0,0086	0,66
Berlin	0,26	0,05	2,72	0,46	0,0101	4,70
Hannover	0,14	0,04	1,46	0,43	0,0127	1,89
Nordenham	1,80	0,03	1,95	0,37	0,0365	0,89
Duisburg	0,93	0,07	14,55	0,70	0,0611	3,74
Mannheim	0,14	0,07	1,28	0,74	0,0059	-
München	0,14	0,06	0,65	0,52	0,0048	3,07

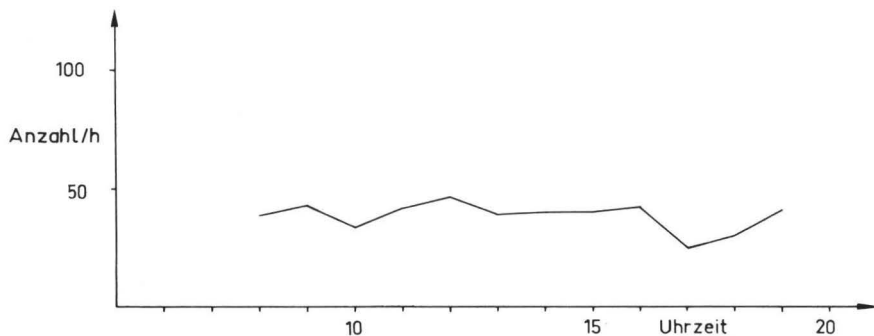


Abbildung 21: Mittlere Anzahl der Flugbewegungen im Tagesverlauf am Flughafen Frankfurt während der Stichproben-Messungen im Jahre 1975

4. Zusammenfassende Bewertung der durch den Luftverkehr verursachten Immissionen in Berlin und Frankfurt (Main)

Die am Rande und in der näheren Umgebung der Flughäfen in Berlin und Frankfurt gemessenen Immissionen können verschiedenartigen Auswertungen unterzogen werden, so insbesondere Vergleichen

1. der Meßwerte mit Immissionsgrenzwerten oder Wirkungskriterien,
2. der von flughafennahen Stellen stammenden Meßwerte mit denen von anderen städtischen Gebieten (der gleichen oder verschiedener Städte, zu gleichen oder zu anderen Zeiten),
3. der Immissionen direkt unter der Flugschneise mit denen in geringem seitlichen Abstand hierzu und
4. der Immissionen an den Flughäfen in Berlin und Frankfurt.

Der Flughafen Frankfurt (Main) hatte bzw. hat gegenüber Berlin-Tempelhof und Berlin-Tegel eine erheblich höhere Flugverkehrsdichte. Diese Aussage dürfte zusätzlich zum zivilen Flugverkehr durch den militärischen Flug- und Wartungsbetrieb im südlichen Teil des Flughafens noch betont werden. Wenn sich in Frankfurt auch im Flughafenbereich neben den Abgasen des Luftverkehrs diejenigen des Zubringerkraftverkehrs und einer nahe gelegenen und stark befahrenen Autobahn bemerkbar machen, so ist doch der allgemeine Einfluß städtischer Abgase auf die Immissionssituation in Berlin wegen der Lage des Flughafens im engeren Stadtgebiet höher anzusetzen.

Den einzelnen Vergleichen haften naturgemäß Unsicherheiten an, die sich insbesondere aus der begrenzten Anzahl der Meßstellen und aus dem zeitlichen Abstand der Stichproben ergeben. Darum sollen Schlußfolgerungen nur dann gezogen werden, wenn sie auf verschiedenen Auswertungskriterien basieren. Die Stichhaltigkeit der hier angestellten Vergleiche gewinnt dadurch,

daß diese in der Regel auf Ergebnissen beruhen, die vom selben Institut nach den gleichen Probenahme-, Meß- und Auswertungsverfahren gewonnen wurden.

Die Zahlenangaben der Immissionswerte der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft [34] für Kurzzeit- und für Langzeit-Einwirkungen wurden nur in vereinzelt und durch besondere Umstände erklärbaren Fällen erreicht oder überschritten, so für den Schwebstaub und den Staubbiederschlag in Berlin und für Stickstoffoxide in Frankfurt. Eine Überschreitung der nicht auf einzelne Meßstellen, sondern auf Gebiete bezogenen Immissionsbegrenzungen war durch diese Befunde nicht erwiesen. In der Regel wurden jedoch die numerischen Konzentrationen der Immissionswerte der TA Luft in Flughafennähe bei weitem nicht erreicht. Lufthygienisch kritische Situationen wurden somit nicht angetroffen.

Von den untersuchten Substanzen erbrachten die organischen Verbindungen Formaldehyd und Phenol und die anorganischen Chloride und Fluoride keine besonderen Erkenntnisse über Emissionsquellen oder Immissionssituationen. Daher wird im folgenden auf sie nicht weiter eingegangen. Dabei ist von Interesse, daß die sauerstoffhaltigen - durch Oxydationsvorgänge, auch photochemischer Art, entstehenden - Verbindungen Formaldehyd und Phenol keine merkliche Rolle als Immissionskomponenten spielten.

Schwefeldioxid wurde als Indikator für die allgemeine Luftbeschaffenheit gemessen; als Komponente von Flugzeugabgasen hat es nur eine untergeordnete Bedeutung. Die ermittelten SO₂-Immissionen zeigten zum einen, daß städtische Abgase im Bereich des im Stadtgebiet gelegenen Berliner Flughafens sich stärker auswirkten als am Flughafen Frankfurt (Main), und zum anderen, daß die Untersuchungszeiträume in Berlin und in Frankfurt keine wesentlichen Unterschiede der Immissionssituation gegenüber benachbarten Jahren aufwiesen.

Kohlenmonoxid - die typische Gas-Komponente bei unvollständigen Verbrennungen und Leitsubstanz für Luftverunreinigungen durch

den Kraftverkehr - trat im Bereich der Flughäfen Berlin und Frankfurt nur in hygienisch unbedeutenden Konzentrationen auf. Dabei waren höhere Meßwerte zumindest teilweise dem Einfluß des Kraftverkehrs zuzuordnen. Am Frankfurter Flughafen lagen zwar die mittleren CO-Immissionen deutlich niedriger als in der Frankfurter Innenstadt und am Flughafen Berlin-Tempelhof. Bei kürzerfristigen Immissionsbelastungen (Tagesmittel, Monatsmittel, 95%-Werte der Summenhäufigkeitsverteilung) waren diese Unterschiede nicht mehr gegeben.

Der Einfluß von Flugzeug-Abgasen auf die Luftverunreinigung in Bodennähe im Flughafenbereich zeigte sich bei den Kohlenwasserstoffen und bei den Stickstoffoxiden. Die bei unvollständigen Verbrennungen emittierten Kohlenwasserstoffe traten in Frankfurt - als dem erheblich verkehrsreicheren Flughafen - in signifikant höheren Konzentrationen als in Berlin auf, obwohl die Berliner Meßstelle zusätzlich noch vom Kraftverkehr auf einer nahe gelegenen Straße beeinflusst wurde. Am Rande des Frankfurter Flughafens wurden die Kohlenwasserstoff-Immissionen verkehrsreicher Straßen erreicht, wobei auch hier Einflüsse der von einer Autobahn stammenden Abgase möglich sind. Subjektive Befunde über "Kerosingeruch" stützen die Aussage über die Bedeutung der Kohlenwasserstoff-Immission im Flughafenbereich. Mit Luftqualitätskriterien oder Immissionsgrenzwerten lassen sich summarische Kohlenwasserstoff-Meßwerte kaum vergleichen.

Die Stickoxid-Immissionen waren im Frankfurter Flughafenbereich - sowohl bei den automatischen als auch bei den manuellen Messungen - auffallend höher als in Berlin. Dabei war in Berlin - wie aus den Ergebnissen der Schwefeldioxid- und der Kohlenmonoxid-Messungen hervorgeht - eine zusätzliche Beaufschlagung der Meßstelle durch andere städtische Abgase (Hausbrand, Kraftverkehr) gegeben. In diesem Befund ist der wohl deutlichste Nachweis der Auswirkung von Flugzeugabgasen auf die Immissionssituation zu sehen, der sich im Rahmen der hier dargestellten Untersuchungen ergab.

Eine indirekte Auswirkung von Flugzeug-Abgasen auf die Luftverunreinigung war am Flughafenrand in Berlin-Tempelhof anzunehmen: die Aufwirbelung von Staub vom Boden durch die Abgase rollender Flugzeuge.

Die Sedimentation von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen konnte nur in begrenztem Maße dem Luftverkehr zugeschrieben werden.

Einerseits übertrafen die in den Flughafenbereichen von Berlin und Frankfurt gemessenen mittleren Immissionen nicht die Befunde von den Meßstellen in den Stadtgebieten. Auch eine in der Nähe des Flughafens Düsseldorf eingerichtete Meßstelle (Tabelle 18) wies keine auffälligen Werte auf. Die in einigen Industriegebieten festgestellten Niederschläge von polycyclischen Kohlenwasserstoffen unterschieden sich nicht eindeutig von denen in Stadtgebieten.

Andererseits weisen aber auch Fakten auf Flugzeugabgase als Emissionsquelle für polycyclische Verbindungen hin: In Berlin nahmen die Niederschlagswerte systematisch - wenn auch in abso= lutem Maß meist nur wenig - in Richtung auf die Start- und Landebahn zu (von Meßstelle 37 über 36 zu 34 und von 42 über 41 nach 39; s. Abb. 2 und Tab. 18). Der gegenüber Berlin wesentlich verkehrsreichere Flughafen Frankfurt wies auch Meßstellen mit höheren Polycyclen-Niederschlägen auf. Die maximalen Monatswerte übertrafen an diesen Stellen auch die Maxima aus der Frankfurter Innenstadt (Tab. 18).

Die in Frankfurt gemessenen Korngrößenverteilungen des Schwebstaubes zeigten den für atmosphärische Luftverunreinigungen typischen hohen Anteil von Feinstaub. Die vergleichsweise hohen Blei- und Brom-Immissionen lassen den Kraftverkehr als verursachenden Emittenten annehmen.

5. Die Luftverunreinigung durch Flugzeugabgase nach Angaben in der Literatur

Über Luftverunreinigungen durch Flugzeuge bzw. auf und in der Umgebung von Flughäfen ist in den letzten Jahren im internationalen Schrifttum häufig berichtet worden. Die Arbeiten betrafen dabei

- Ermittlungen der Emissionen von Flugzeugtriebwerken (einschließlich der Ermittlung von Emissionsfaktoren für Flugzeuge) und Abschätzungen der Emissionen im Bereich von Flughäfen sowie des Anteils dieser Emissionen an der gesamten Luftverunreinigung von Gebieten,
- Berechnungen der durch Flugzeugabgase verursachten Immissionen mittels mathematisch-meteorologischer Ausbreitungsmodelle und
- Immissionsmessungen im Bereich oder in der Umgebung von Flughäfen.

Ein recht großer Teil der Darstellungen ist in der oft nur schwer zugänglichen, sogenannten "grauen" Literatur - Instituts-, Forschungs-, Tagungsberichte und andere nicht über den Buchhandel erhältliche Schriften - niedergelegt.

Im folgenden wird ein zusammenfassender Überblick über Veröffentlichungen in der Fachliteratur gegeben. Dabei dienen die publizierten Ergebnisse von Immissionsmessungen im Bereich von Flughäfen einem Vergleich mit den eigenen Untersuchungen in Berlin und Frankfurt.

5.1 Emissionen

Der Schadstoff-Auswurf durch Flugzeugabgase wird in einem Gutachten von Spengler [8] und in einer Zusammenstellung von Emissionsfaktoren der US Environmental Protection Agency [47] eingehend dargestellt. Aus diesen Veröffentlichungen werden in der Tabelle 34 der typische Zeitbedarf verschiedener Flugzeugtypen für Start und Landung [47], in der Tabelle 35

Tabelle 34: Typischer Zeitbedarf für Start und Landung auf einem Großstadt-Flughafen
in Minuten [47]

Flugzeugtyp	Rollen zum Start	Start	Steigflug	Landeflug	Rollen nach der Landung
Jumbo Jet	19,0	0,7	2,2	4,0	7,0
Langstrecken-Düsenflugzeug	19,0	0,7	2,2	4,0	7,0
Mittelstrecken-Düsenflugzeug	19,0	0,7	2,2	4,0	7,0
Turboprop-Frachtflugzeug	19,0	0,5	2,5	4,5	7,0
Düsen-Geschäftsflugzeug	6,5	0,4	0,5	1,6	6,5
Übliches Turboprop-Flugzeug	19,0	0,5	2,5	4,5	7,0
Übliches Kolben-Flugzeug	12,0	0,3	4,98	6,0	4,0
Kolben-Transportflugzeug	6,5	0,6	5,0	4,6	6,5
Hubschrauber	3,5	0	6,5	6,5	3,5
Militärisches Transportflugzeug	19,0	0,5	2,5	4,5	7,0
Militärisches Düsenflugzeug	6,5	0,4	0,5	1,6	6,5
Militärisches Kolbenflugzeug	6,5	0,6	5,0	4,6	6,5

Tabelle 35: Emissionsfaktoren in kg pro Triebwerk für einen Landungs-Start-Zyklus
(unter Ansatz der in Tabelle 34 aufgeführten Zeitanteile für Betriebszu-
stände der Flugzeuge) [47]

Flugzeugtyp	Feststoffe	Schwefeloxide	Kohlen- monoxid	Kohlenwasser- stoffe	Stickoxide (als NO ₂)
Jumbo Jet	0,59	0,83	21,2	5,5	14,2
Langstrecken-Düsenflugzeug	0,55	0,71	21,5	18,7	3,6
Mittelstrecken-Düsenflugzeug	0,19	0,46	7,71	2,2	4,6
Turboprop-Frachtflugzeug	0,49	0,18	3,0	1,3	1,1
Düsen-Geschäftsflugzeug	0,05	0,17	7,71	1,6	0,73
Übliches Turboprop-Flugzeug	0,09	0,08	1,4	0,5	0,54
Übliches Kolben-Flugzeug	0,01	0,006	5,5	0,18	0,021
Kolben-Transportflugzeug	0,25	0,13	138,0	18,5	0,18
Hubschrauber	0,11	0,08	2,6	0,24	0,26
Militärisches Transportflugzeug	0,49	0,19	2,6	1,2	1,0
Militärisches Düsenflugzeug	0,14	0,35	6,85	4,5	1,49
Militärisches Kolbenflugzeug	0,13	0,04	69,0	9,3	0,09

Tabelle 36: Emissionen von Turbinenluftstrahltriebwerken im Flughafen, aufgeteilt nach Bewegungsphasen [8]

	Mittlere Dauer s	Emissionen eines 7000 kp-Triebwerkes(a) und eines 20000 kp-Triebwerkes(b) in g															
		CO		CH		Olefine		Aromaten		CH ₂ O		NO ₂		RuB		SO ₂	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
<u>Start</u>																	
Triebwerksanlassen bis Rollbeginn	180	1404	2520	1080	1944	252	500	99	200	153	311	90	324	9	16	59	108
Rollen	180	1044	1440	450	738					47	61	144	396	27	36	95	162
Rollen bis Warteposition	180	1044	1440	450	738					47	61	144	396	27	36	95	162
Warten bis Startfreigabe	300	2340	4200	1800	3240	420	700	165	280	255	519	150	540	15	27	99	180
Start bis Abheben	40	180	252	116	168					8	11	560	1600	44	65	126	240
<u>Landung</u>																	
Aufsetzen bis Ausrollen	50	225	315	125	185					10	15	375	840	35	57	87	165
Rollen	150	870	1219	375	615					39	53	120	330	22	30	78	135
Weiterrollen zum Standplatz, Triebwerksstop	150	870	1219	375	615					39	53	120	330	22	30	78	135
<u>Summe</u>	1230	7977	12605	4771	8243	672	1200	264	480	598	1084	1703	4756	201	297	717	1287

Emissionsfaktoren für verschiedene Flugzeugtypen [47] und in der Tabelle 36 Emissionen von Triebwerken im Flughafenbereich [8] wiedergegeben. Für den Start stimmen die deutschen und die amerikanischen Angaben der Zeitdauer (0,7 min bzw. 40 sec) gut überein. Die Rollzeiten zum Start und nach der Landung werden jedoch von Spengler (Tabelle 34) deutlich höher angesetzt als in dem Bericht der amerikanischen Umweltschutzbehörde (Tabelle 36). Die Operationen von Flugzeugen am Boden werden auch in Abhängigkeit von den räumlichen Verhältnissen auf dem Flughafen, von der Luftverkehrsichte und vom Flugzeugtyp starken Schwankungen unterliegen können. Für die Verunreinigung der atmosphärischen Luft ist diese Tatsache von erheblicher Bedeutung, weil beim Rollen der Hauptteil der Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoff-Emissionen im Flughafenbereich entsteht [48 - 56] und die Abgasableitung in Bodennähe für die Schadstoffverteilung im Luftraum ungünstig ist. Durch eine Änderung von Bodenoperationen lassen sich somit deutliche Emissionsminderungen erreichen [57]. Stickoxide und partikuläre Luftverunreinigungen entstehen hingegen in stärkerem Maße beim Start. Zeitanteile für den gesamten Abflugs- und Landevorgang, z.T. mit Angaben der zuzuordnenden Emissionsmengen, wurden außer den Angaben in [8] und [47] für die Flughäfen in Düsseldorf [48], London-Heathrow [51, 52] und in verschiedenen amerikanischen Städten [50, 55, 56] veröffentlicht.

Die von Siegel [58] angegebenen Bereiche der Emissionskonzentrationen für die wichtigsten Schadstoffe des Flugzeugabgases unter verschiedenen Betriebsbedingungen sind in der Tabelle 37 wiedergegeben. Turbinentriebwerke weisen erheblich niedrigere Schadstoff-Konzentrationen als Kolbenmotoren oder - zum Vergleich - Kraftfahrzeugmotoren auf.

Einige Erhebungen richteten sich gezielt auf kritische Komponenten des Flugzeugabgases, so auf Stickstoffoxide, auf Kohlenwasserstoffe im allgemeinen und polycyclische Aromaten im besonderen. Die Bildung von Stickstoffoxiden in Flugzeug-

triebwerken bezeichnet Sawyer [59] als eines der wichtigsten Probleme der Verunreinigung atmosphärischer Luft durch den Luftverkehr. Sie wird vor allem durch die Verbrennungstemperatur im Triebwerk beeinflusst und erreicht das Maximum beim Start des Flugzeuges. Die von Smith und Mitarbeitern [60] angegebene NO-Emissionskonzentration von Stahltriebwerken von 100 bis 350 ppm liegt deutlich über den Angaben in Tabelle 37. Über den Anteil von Stickstoffdioxid an den Gesamtstickoxiden finden sich recht unterschiedliche Angaben in der Literatur. Während Cox und Mitarbeiter [61] von Untersuchungen an 25 Turbinentriebwerken berichten, bei denen in Abhängigkeit von der Abgastemperatur 10 bis 100 % der emittierten Stickoxide als NO₂ vorlagen, bezeichnen Jordan und Broderick [62] in einer kürzlich erschienenen Veröffentlichung den NO₂-Anteil am NO_x als gering sowie die NO_x-Emissionsangaben früherer Berichte als zu hoch.

Mehrere Autoren weisen auf den relativ hohen Anteil "reaktiver Kohlenwasserstoffe" (Olefine, Aromaten und -nomenklaturmäßig nicht korrekt - sauerstoffhaltige Verbindungen) im Flugzeugabgas hin. Katzman und Libby [63] analysierten im Abgas von zwei Düsentriebwerken unter simulierten Überschallflugbedingungen gaschromatographisch über 70 C₁- bis C₁₃-Kohlenwasserstoffe. Während der Brennstoff (Kerosin) 86 % Paraffine enthielt, waren bis zu 75 % der Kohlenwasserstoffe im Abgas Olefine. Black und Mitarbeiter [64] wendeten ebenfalls eine gaschromatographische Analysenmethode auf die Untersuchung von Düsentriebwerksabgasen an. In Abhängigkeit vom Treibstoff wurden 23 bis 430 ppm Gesamtkohlenwasserstoffe (als ppm C angegeben) festgestellt. Ein hoher Anteil dieser Stoffe, nämlich 62 bis 94 %, bestand aus reaktiven Verbindungen, vornehmlich sauerstoffhaltigen Substanzen und Aromaten. Groth und Robertson [65] untersuchten die Emission von reaktiven und nichtreaktiven Kohlenwasserstoffen bei Einsatz verschiedener Brennstoffe in mehreren Triebwerk-Typen. Im Leerlauf waren ca. 30 % der Gesamtkohlenwasserstoffe nichtreaktive Verbindungen. Deren Anteil ging bei steigender Triebwerksbelastung bis auf Null zurück; unter diesen Betriebsbedingungen nahm die Menge der ausgeworfenen Sauerstoffverbindungen offen-

sichtlich zu. Mit zunehmendem Auswurf an Gesamtkohlenwasserstoffen stieg der Anteil der nichtreaktiven Verbindungen. Ein Einfluß der eingesetzten Brennstoffe auf das Emissionsspektrum war nicht feststellbar.

Die Emission von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen fand wegen der cancerogenen Eigenschaften einiger dieser Verbindungen eine besondere Beachtung. Während Eisfeld [66] angibt, daß Benz(a)pyren im Abgas von Turbinentriebwerken nur in vernachlässigbaren Mengen auftritt, weisen insbesondere Shabad und Mitarbeiter auf die Emission dieser Verbindung durch Flugzeuge hin. Der Auswurf von Benz(a)pyren durch Düsen- und Turbopropmotoren wurde zunächst mit 2 bis 4 [3], später mit 2 bis 10 mg pro Minute angegeben [4]. Oikawa [67] stellte in dem von einem Düsentriebwerk emittierten Staub 5,4 - 30,4 µg/g Benz(a)pyren, 8,9 - 9,19 µg/g Pyren und 14,07 - 49,9 µg/g Fluoranthen fest und bezeichnete diese Gehalte als extrem hoch im Vergleich zum Polycyclen-Gehalt der Luft.

Aus den pro Triebwerk angegebenen Emissionen kann der Gesamtauswurf in Flughafenbereichen für Zeitabschnitte aus der Anzahl der startenden und landenden Flugzeuge und der Anzahl ihrer Triebwerke abgeschätzt werden. In Veröffentlichungen wird der Schadstoff-Auswurf in der Regel pro Tag oder pro Jahr - zuweilen mit Prognosen für zukünftige Jahre - angegeben. Die Tabelle 38 führt Beispiele für eine Reihe von europäischen und amerikanischen Flughäfen an. Aus hygienischer Sicht wären Angaben der maximalen stündlichen Emissionen aussagekräftiger; dabei entfallen die das Gesamtergebnis nivellierenden Nachtstunden, und die maximale Immissionsbelastung läßt sich besser abschätzen. Für den Flughafen Frankfurt (Main) ergibt eine Überschlagsrechnung unter maximalen Bedingungen bei stündlich 50 Flugbewegungen (siehe Abbildung 21), d.h. Starts und Landungen, unter Ansatz der Emissionsmengen von vier Triebwerken pro Flugzeug und je zur Hälfte mit 7000 und mit 20000 kp Schub (Tabelle 36) die Größenordnungen von 1000 kg CO, 650 kg Kohlenwasserstoffe, 90 kg Olefine, 40 kg Aromaten,

Tabelle 38: Schadstoff-Emissionen auf Flughäfen nach Literaturangaben

Flughafen		Jahr	CO	Kohlen- wasser- stoffe	NO _x	Aldehyde	Staub
Düsseldorf	<u>[48]</u> t/Jahr	1971	506	373	344		81
	t/Tag		1,4	1,02	0,94		0,22
London-Gatwick	<u>[54]</u> t/Tag	1970/71	3,47	1,34	0,16		0,05
New York (J.F. Kennedy, La Guardia und Newark)	<u>[49]</u> t/Jahr	1967	2653	2614	1510	239	832
Washington	<u>[68]</u> t/Tag	1967	73	11	1,5		0,5
Los Angeles	<u>[69]</u> t/Jahr	1970	10890	10685	1110		2220
Chicago-O'Hare	<u>[70]</u> t/Jahr	1976	14009	8674	4138		
Pittsburgh	<u>[70]</u> t/Jahr	1976	262	863	883		
Tokio	<u>[71]</u> t/Tag		10,3	6,2	3,2		
Osaka	<u>[71]</u> t/Tag		7,6	4,9	1,9		
Honolulu	<u>[72]</u> t/Jahr	1971/72	24082	10081	2725		2056

80 kg Aldehyde, 320 kg Stickoxide, 25 kg Ruß und 100 kg Schwefeldioxid pro Stunde.

Die Abgase von Luftfahrzeugen verteilen sich im Flughafenbereich auf eine relativ große Fläche und auf verschiedene Höhen über Boden. Deshalb werden zur Kennzeichnung der Bedeutung von Flughäfen als Quellen für Luftverunreinigungen oft die Emissionsmengen pro Fläche angegeben und auch mit Flächenbelastungen benachbarter Gebiete verglichen. In derartige Zusammenstellungen von Emissionsmassenströmen auf Flughäfen werden neben den Triebwerksabgasen auch andere durch den Flugverkehr bedingte Emissionen einbezogen, die bei Betankungseinrichtungen, durch Zubringer- und Service-Kraftfahrzeuge und durch den Betrieb, insbesondere die Heizung bzw. Klimatisierung von Flughafengebäuden entstehen. Die Tabelle 39 zeigt die für verschiedene Flughäfen und für umgebende Gebiete angegebenen Flächenbelastungen durch Luftschadstoffe.

Neben den Schwankungen der Emissionsdichten, die durch die unterschiedlichen Größen und Luftverkehrsdichten der Flughäfen zu erklären sind, zeigen die in Tabelle 39 zusammengestellten Literaturangaben auch Unstimmigkeiten, die grundsätzlich andere Ansätze der Emissionsschätzung vermuten lassen. So werden für New York im Jahre 1967 von verschiedenen Autoren - jeweils von staatlichen Instituten - stark unterschiedliche Emissionsdichten angegeben. Die Schlußfolgerungen sind dementsprechend auch verschieden: Während nach Hochheiser und Lozano [49] die auf die Fläche der New Yorker Flughäfen bezogene Emissionsdichte signifikant niedriger als in benachbarten Stadtgebieten ist, stellen Raney und Kittredge [68] fest, daß "der Flugbetrieb im Bereich von Flughäfen eine zumindest ebenso bedeutende Quelle für Luftverunreinigungen wie andere Schadstoff-Quellen in anderen Teilen dieser Städte (New York, Washington, Los Angeles) ist". Auch Jones und Mitarbeiter [55] kommen zu der Schlußfolgerung, daß die durch

Tabelle 39: Schadstoff-Emissionsdichte in t/Meile², d auf Flughäfen und in benachbarten Gebieten nach Literaturangaben
(1 Meile² = 2,59 km²)

Flughafen	Jahr	Emittierter Schadstoff			
		CO	Kohlen- wasser- stoffe	NO _x	Staub
London-Heathrow <u>52</u>	1970/71				
Sommer, Flugbetrieb		4,02	1,51	0,19	0,05
" , alle Quellen des Flughafens		6,66	1,82	0,81	0,34
Winter, Flugbetrieb		3,20	1,21	0,15	0,04
" , alle Quellen des Flughafens		5,35	1,46	0,73	0,35
New York <u>49</u>	1967				
Kennedy		0,6	0,7	0,3	0,2
La Guardia		1,5	0,9	0,9	0,4
Newark		0,4	0,3	0,3	0,1
Mittel über die Flughäfen		0,8	0,6	0,5	0,2
Mittel über das Großstadtgebiet		4,2	1,1	0,6	0,2
New York <u>68</u>	1967				
Kennedy Flughafen		6,1	2,2	0,2	0,06
Kings und Queens Counties		14,1	4,0	2,9	0,83
Washington, D.C. <u>66</u>	1967				
Nationaler Flughafen		15,0	2,2	0,3	0,11
Stadtgebiete		15,4	3,5	1,7	0,52
Los Angeles <u>66</u>	1967				
Internationaler Flughafen		9,3	3,7	0,3	0,09
Stadt-"Kessel"		8,1	2,2	0,6	0,08
Los Angeles <u>57</u>					
Flughafen, Flugbetrieb	1970	11,2	8,8	1,1	
" , alle Quellen	"	20,6	10,3	2,0	
Stadtgebiet	"	7,2	2,0	1,0	
Flughafen, Flugbetrieb	1980	13,0	3,4	4,9	
" , alle Quellen	"	19,1	4,0	5,6	
Stadtgebiet	"	2,8	0,9	0,8	
New York <u>57</u>					
Kennedy, Flugbetrieb	1970	7,7	5,8	0,8	
" , alle Quellen	"	19,6	7,7	2,1	
Stadtgebiet	"	14,5	3,4	3,6	
Kennedy, Flugbetrieb	1980	6,5	1,7	2,3	
" , alle Quellen	"	11,2	2,4	3,0	
Stadtgebiet	"	5,5	1,3	3,2	
Washington, D.C. <u>57</u>					
Nationaler Flughafen, Flugbetrieb	1970	6,6	1,7	1,0	
" , alle Quellen	"	10,2	2,4	1,7	
Stadtgebiet	"	12,5	1,7	1,7	
Nationaler Flughafen, Flugbetrieb	1980	8,3	2,0	1,4	
" , alle Quellen	"	9,5	2,1	1,9	
Stadtgebiet	"	3,3	0,4	1,3	
Chicago <u>57</u>					
O'Hare-Flughafen, Flugbetrieb	1970	6,0	3,9	0,8	
" , alle Quellen	"	14,1	5,4	1,9	
Stadtgebiet	"	8,1	2,5	1,4	
O'Hare, Flugbetrieb	1980	5,5	1,5	1,8	
" , alle Quellen	"	9,1	2,0	2,3	
Stadtgebiet	"	1,4	0,9	1,2	

den Luftverkehr verursachten Emissionsdichten mit denen dichtbesiedelter Stadtgebiete "vergleichbar" sind.

Die in Tabelle 39 wiedergegebenen Emissionserhebungen für die Flughäfen in London [52], Los Angeles, New York, Washington und Chicago [55] zeigen den erheblichen Anteil, den die nicht durch den eigentlichen Flugbetrieb bedingten Emissionsquellen am Gesamtauswurf in Flughafenbereichen haben. Aufschlüsselungen für das Gebiet des Flughafens London-Heathrow [51], [52], London-Gatwick [54] und Los Angeles [67] weisen den Kraftverkehr als die weitaus größte Quelle dieser Emissionen aus.

Der Anteil von Flugzeugabgasen an den gesamten Emissionen in Gebieten wird allgemein als niedrig angesetzt [49], 59, [68]. Eine in den USA aufgestellte Schätzung ist in der Tabelle 40 wiedergegeben. Speziell für Kohlenwasserstoff-Emissionen schreiben Brice und Derwent [73] von einer geschätzten Gesamtmenge durch mobile Quellen in Großbritannien von 675.000 t im Jahre 1975 nur 6.100 (unter 1 %) dem Luftverkehr zu.

Tabelle 40: Anteil der Flugzeugabgase an der gesamten Luftverunreinigung in % [59]

	CO	Kohlen- wasser- stoffe	NO _x	Staub	SO _x
USA, 1968	2,4	0,9	1,7	0,1	0,03
New York City, 1968	0,6	0,6	0,2	0,2	-
Los Angeles, 1970	1,5	3,2	1,4	11,5	2,0
San Francisco, 1970	1,0	1,5	1,3	6,6	1,0
San Francisco, 1985	10,9	3,5	11,6	9,3	2,2

Die mobilen Quellen stellen etwa die Hälfte der gesamten Kohlenwasserstoff-Emissionen von 1,3 Millionen t. In diesen geringen Emissionsanteilen kann der Grund dafür gesehen werden, daß eine Studie der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) über "Flughäfen und die Umwelt" [74] das Stichwort Luftverunreinigung kaum aufführt. Als umwelthygienisches Problem wird nur der Lärm behandelt.

In den Tabellen 39 und 40 sind Prognosen für eine starke Zunahme der absoluten und relativen Abgasmengen durch den Luftverkehr enthalten [55, 59], die auch von anderen Autoren [53, 75] gestellt werden. Abgesehen von der Vorsicht, die gegenüber den vor der sogenannten Energiekrise getroffenen Prognosen angebracht ist, kann für die Zukunft von einer steigenden Abgas-Emission durch den Luftverkehr ausgegangen werden.

5.2 Abgas-Ausbreitungsmodelle

Die Ausbreitung von Flugzeugabgasen wird nach dem Start durch eine schnelle horizontale und vertikale Bewegung der Emissionsquelle bestimmt. Die Verteilung der Abgase im Luftraum wird durch die mit der Höhe über Boden zunehmende Windgeschwindigkeit und durch die Turbulenz begünstigt, die die hohe Fluggeschwindigkeit verursacht.

Spezielle Modelle für die Berechnung der Ausbreitung von Flugtriebwerksabgasen wurden des öfteren veröffentlicht [56, 70, 72, 76-83]. Ihre Anwendung wurde dabei häufig auf bestimmte Flughäfen abgestellt. Die berechneten Schadstoffkonzentrationen in Bodennähe lagen zuweilen erheblich über den gemessenen Werten. Frame [79] kommt z.B. zu einem Stundenmaximum bis zu 86 ppm Stickoxiden, einer bei weitem nicht an irgendeinem Flughafen gemessenen Immissionskonzentration. So weisen mehrere Autoren auf Unsicherheiten der Ausbreitungsrechnung hin, die mit Ungenauigkeiten der vorgegebenen Emissionsraten von Flugzeugen [84], mit Unterschätzungen

der Abgasfahnenüberhöhung, der Verwirbelung der Abgase im Düsenstrahl [82] und der Luftschichthöhe, in der sich die Abgase ausbreiten [52, 62, 76], begründet werden.

Daley und Naugle [70] geben an, daß der thermische Auftrieb der Flugzeugabgase die Diffusion der Fremdstoffe in Bodennähe erst außerhalb des Flughafens (in ca. 1 km Entfernung) rechnerisch zuverlässig erfassen läßt. Naugle und Mitarbeiter [81] geben bei ihren Berechnungen die höchsten mittleren Immissionen von Triebwerksabgasbestandteilen für eine Entfernung von 5 km von der Rollbahn an. Sie bezeichnen diese Entfernung als einen Kompromiß zur Vermeidung von Problemen durch Rezeptoren in größerer Nähe oder Weite von der Emissionsquelle und wählten sie daher für Vergleichszwecke.

5.3 Immissionen im Bereich von Flughäfen

In der Tabelle 41 sind Ergebnisse von Immissionsmessungen im Auswirkungsbereich von Flughäfen nach Literaturangaben zusammengestellt. Im allgemein zugänglichen wissenschaftlichen Schrifttum finden sich nur recht wenige Untersuchungsbefunde dieser Art. Aus dem Bericht über die Untersuchung in Düsseldorf [48] sei hier die Schlußfolgerung zitiert, nach der "die von startenden und landenden Flugzeugen ausgehenden Emissionen nicht zu Immissionsbelastungen führten, die sich aus dem Untergrund der bereits vorhandenen und durch andere Ursachen bedingten Immissionsbelastung signifikant hervorheben."

Die in der Tabelle 41 aufgeführten Meßdaten liegen im großen und ganzen im Rahmen der im Abschnitt 3 dargestellten Ergebnisse aus Berlin und Frankfurt (Main). Dabei lagen jedoch die in Frankfurt gemessenen Stickoxid-Immissionen höher als die von europäischen Flughäfen vorliegenden Werte. Wegen der Einflüsse örtlicher Bedingungen, von Probenahmeorten, -zeiten und -methodiken, von Analysen- und Auswerteverfahren sind Vergleiche der Meßdaten von sehr unterschiedlicher Herkunft nur bedingt möglich. Immerhin fallen in der Tabelle 41

Tabelle 41: Ergebnisse von Immissionsmessungen in Flughafenbereichen nach Literaturangaben

Flughafen	Meßzeit	Substanz	Meßprogramm	Meßergebnisse		
Düsseldorf, Lohausen	1971	CO	2 Meßstellen an den Startbahnenden; mehrere Wochen kontinuierliche Messungen	Keine diskrete Immissionsbelastung		
		CO ₂				
		Kohlenwasserstoffe / $\mu\text{g C/m}^3$	2 kontinuierlich betriebene Meßstellen, Februar-Oktober	Monatsmittel: 0,43-1,02 u. 0,72-1,52 Höchste Stundenmittel: 2,5 und 3,2 Mittelwert: 32,4		
		Ozon / $\mu\text{g/m}^3$	31 Meßtage			
München, Riem	Mai-Juli 1971	Schwebstaub / $\mu\text{g/m}^3$	24-Stunden-Proben vom 23.2.-24.10. an 2 Meßstellen	Mittelwerte: 118 und 114 Höchste 24-Std.-Werte: 387 und 452		
		CO mg/m ³	27 Meßreihen im Flughafenbereich	Mittelwert: 5,0 Maximum: 37,5		
		Kohlenwasserstoffe mg/m ³	8 Meßreihen " "	Mittelwert: 2,3 Maximum: 10		
		Aldehyde mg/m ³	31 Messungen " "	Mittelwert: 0,2 Maximum: 0,49		
		NO _x mg/m ³	45 Messungen " "	Mittelwert: 0,07 Maximum: 0,29		
		Staub / $\mu\text{g/m}^3$	6 Messungen " "	90-159 im Mittel über 2,5-6,5 Std.		
Amsterdam, Schiphol	1974	Blei / $\mu\text{g/m}^3$	4 Messungen " "	0,25-1,04 im Mittel über 3-6,5 Std.		
				Mittelwert	Höchstes Tagesmittel	Höchstes 30-Min.-Mittel
		NO / $\mu\text{g/m}^3$	Automatische Messungen an 2 aufeinander folgenden Tagen	39	210	690
		NO ₂ "	68 " "	55	150	270
		Ozön "	68 " "	26	86	150
		CO ppm	pro Woche	1,7	3,0	8,7
		Staub / $\mu\text{g/m}^3$	78 " "	64	160	220 (6-Std.-Mittel)
London, Heathrow	April 1970-März 1971	"Rauch" / $\mu\text{g/m}^3$	2 Meßstellen nahe den Startbahnenden	Höchstes Monatsmittel: 47 und 60 Höchstes Tagesmittel: 154 und 214 Höchstes 3-Std.-Mittel: 345 und 272		
			Ebenda; windrichtungsabhängige Probenahme	Bei Wind vom Flug- von der Gegen-Mittelwerte hafen richtung		
				im Sommer	26;15	16;29
				im Winter	67;27	24;47
		SO ₂ / $\mu\text{g/m}^3$	" "	im Sommer	91;59	152;208
				im Winter	255;96	72;240
		NO / $\mu\text{g/m}^3$	2 Meßstellen nahe den Startbahnenden	Mittel: 6		
			Meßstelle am Flughafengebäude (Einflüsse durch Straßenverkehr)	"	14,3	

		CO	ppm	Meßstelle am Flughafengebäude	über 10 " 30 " 50	0,08 0,02 0,01	% der Zeit " " " " " "
Los Angeles, <u>1947</u> International Airport	Mai- November 1970	CO	mg/m ³	2 Meßstellen außerhalb des Flughafengebäudes	<u>Mittelwert</u>	<u>Höchstes</u>	<u>Stundenmittel</u>
				2 Meßstellen innerhalb des Flughafengebäudes	6,4	44	
				2 Meßstellen am Flughafenrand	10,8	153	
				1 Meßstelle im Parkgebiet	3,8 5,9	34 30	
		Staub	µg/m ³	2 Meßstellen außerhalb des Flughafengebäudes	<u>Mittelwert</u>	<u>Höchstes</u>	<u>24-Std.-Mittel</u>
				1 Meßstelle im Parkgebiet	139	490	
Los Angeles <u>1969</u>	Mai- November 1970	CO	ppm	9 stationäre Meßstellen	121	502	
		Staub	µg/m ³	3 stationäre Meßstellen	Monatsmittel: 1,7 - 18,5 Höchste Stundenmittel: 5 - 141		
		CO	ppm	28 mobile Meßorte; 5 Tage Meß- zeit über 6 Std. (tagsüber) pro Ort	Monatsmittel: 104 - 189 Höchste 24-Std.-Mittel: 151 - 502		
		CO	ppm	In Flugzeugen	Mittelwerte: 3,4 - 11,4 6-Std.-Höchstwerte: 6 - 27		
New York, <u>1971</u> J.F. Kennedy	Sept.- Okt. 1964	Kohlenwasser- stoffe	mg/m ³		Stundenmittel: 1,3 - 13		
		Staub	µg/m ³		24-Std.-Mittel: 175 - 287		
Honolulu, <u>1971</u> International	Mai- Juni 1975	CO			Stundenmittel: 1 - 4		
		Nichtmethankohlen- wasserstoffe	mg/m ³		3-Std.-Mittel: 1,6 - 2,7		
Washington, <u>1971</u> National	1971/72	CO	mg/m ³		Stundenmittel: 8 - 90 8-Std.-Mittel: 6 - 40		
		Kohlenwasser- stoffe	mg/m ³		Stundenmittel: 3,8 - 6,7		
		Staub	µg/m ³		24-Std.-Mittel: 109 - 563		
Chicago, <u>1971</u> O'Hare	1971/72	Staub	µg/m ³		24-Std.-Mittel: 135 - 236		

die hohen Aldehyd-Konzentrationen aus München auf, die ohne nähere Prüfung nicht beurteilt werden können.

Beachtenswert sind die Befunde aus London, nach denen die Luftverunreinigung an der durch Kraftverkehrsabgase (Zubringerverkehr) beeinflussten Meßstelle signifikant höher als auf dem Flughafengelände waren [52]. In Los Angeles [84] waren die CO-Konzentrationen am Flughafenrand am niedrigsten und lagen innerhalb des Flughafengebäudes beachtlich hoch.

Fordyce und Sheibley [86] prüften durch Analysen von Düsenkraftstoffen, ob Spurenelemente eine Bedeutung als Luftverunreinigung in der Atmosphäre oder Stratosphäre haben können. Von 49 gesuchten Elementen waren 11 nachweisbar, davon nur 4 (Aluminium, Titan, Barium, Schwefel) in Gehalten über 0,1 ppm. Berechnungen der im Triebwerksabgas und in bodennaher Luft zu erwartenden Konzentrationen führten zu extrem niedrigen Werten.

Zur Beurteilung der Luftverunreinigung durch Flugzeuge wurden neben Fremdstoff-Konzentrations-Bestimmungen auch Staub= niederschlags-Messungen vorgenommen. Messungen des "Gesamtstaub"-Niederschlages haben dabei in der Umgebung der Flughäfen in Düsseldorf [48] und in Zürich-Kloten [87] - ebenso wie in Berlin und Frankfurt - keine Beeinflussung der Befunde durch den Luftverkehr erkennen lassen. Nach Untersuchungen der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Versuchsanstalt zeigten die Untersuchungen des Staubbiederschlages in einem Gebiet von etwa 28 km² um den Flughafen Zürich "einen Staubbiederschlag, wie er in einer ländlichen, dichter besiedelten und mäßig industrialisierten Gegend ganz allgemein gefunden werden kann".

Shabad und Mitarbeiter [2, 3, 4] wiesen auf polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, insbesondere auf das cancerogene Benz(a)pyren, als kritische partikelförmige Komponenten des Flugzeugabgases hin. In Bodenproben auf Flugplätzen wiesen sie erhöhte Benzpyrenegehalte nach. Auch Grimmer und Mitarbeiter [88] fanden eine starke Kontaminierung von Bodenproben

des Rollfeldes vom isländischen Flughafen Reykjavik mit Polycyclen. Zwar können diese Verbindungen auch dem Reifenabrieb oder der Rollbahndecke entstammen; die von Grimmer und Mitarbeitern untersuchten Proben zeigten jedoch das für Verbrennungsmotoren typische Benz(a)pyren/Benz(ghi)perylene/Coronen-Verhältnis. Schließlich sei auf Untersuchungen von Piet und Mitarbeitern [89] hingewiesen, die im Regenwasser beim Flughafen Schiphol höhere Benzpyren-Gehalte als im Regenwasser von Den Haag und in verschiedenen Oberflächenwässern (Rhein, Maas, Schelde, Nordsee) ergaben.

6. Zusammenfassung

Am Rande des Flughafens Berlin-Tempelhof wurden 1973/74 und am Flughafen Frankfurt (Main) 1975 jeweils über 12 Monate kontinuierlich-automatische und diskontinuierlich-manuelle Messungen von Luftverunreinigungen vorgenommen. Mit den kontinuierlichen Messungen wurden Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe, mit den Stichproben-Messungen Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Stickstoffoxide ($\text{NO} + \text{NO}_2$), Fluoride, Chloride, Formaldehyd, Phenol, Schwebstaub und Blei erfaßt. Ein weiterer Programmteil war die Messung des Staubniederschlages; er wurde 1977/78 durch Analysen polycyclischer, aromatischer Kohlenwasserstoffe in Staubniederschlägen ergänzt. Für die meisten dieser Messungen von Luftschadstoffen in Flughafenbereichen lagen Ergebnisse vergleichender Untersuchungen aus Stadtgebieten von Berlin und Frankfurt vor, zum Teil von längeren Zeiträumen als der jeweils einjährigen Untersuchungszeit.

Die an den Flughäfen gemessenen Immissionskonzentrationen waren lufthygienisch unbedenklich und im Vergleich zu Immissionen in Stadtgebieten und zu Immissionsgrenzwerten in der Regel niedrig bis mäßig. Die Auswirkungen der Flugzeugabgase auf die Luftbeschaffenheit zeigten sich insbesondere durch die Stickoxid-Immissionen auf dem luftverkehrsreichen Flughafen Frankfurt.

In einer Literaturübersicht werden Veröffentlichungen über die Emission, die Transmission und die Immission von Schadstoffen des Flugzeugabgases dargestellt. Die Ergebnisse der Immissionsmessungen lagen im Rahmen der Befunde von Berlin und Frankfurt, mit Ausnahme einer "Spitzenstellung" der Stickoxid-Immissionen in Frankfurt. Die Bedeutung des flugplatznahen Kraftverkehrs für die Luftverunreinigung wurde deutlich demonstriert. Ausbreitungsrechnungen für Flugzeugabgase sind offensichtlich noch mit Unsicherheiten behaftet, die meist überhöhte Immissionskonzentrationen ergaben. Emissionsmengen, Emissionskonzentra-

tionen, Emissionsdichten auf Flughäfen und Prognosen für die zukünftige Entwicklung können durch die Aussage von Sawyer [59] zusammenfassend charakterisiert werden: Der Luftverkehr verursacht einen kleinen, aber signifikanten und steigenden Beitrag zur Luftverunreinigung.

Summary

Continuous automatic and discontinuous manual measurement of air pollution was performed over periods of 12 months each, near the Berlin-Tempelhof airport in 1973/74 and that of Frankfurt/Main in 1975. The continuous measurements served to monitor sulphur dioxide, nitrogen oxides, carbon monoxide and hydrocarbons; random sampling was used to account for sulphur dioxide, nitrogen monoxide, nitrogen dioxide, fluorides, chlorides, formaldehyde, phenol, suspended particulate matter, and lead. Measurements of dust fallout were another part of the programme; in 1977/78 it was completed by analyses of polycyclic aromatic hydrocarbons in the particulate precipitates. For most of these parameters accounting for the presence of air pollutants in airport areas, comparative results for the urban areas of Berlin and Frankfurt were available, in part even over periods of more than one year.

The ambient air concentrations measured at the airports were found to be safe in terms of air hygiene and, as a rule, to exhibit low to moderate levels as compared to ambient air concentrations found in urban areas and the corresponding ambient air standards. Effects of aircraft exhausts on air quality were particularly evident in respect of the concentrations of nitrogen oxides at Frankfurt airport with its high number of aircraft movements.

Publications describing the emission, spreading and presence in ambient air of pollutants from aircraft exhausts were reviewed. The results of measurements of ambient air concentrations were found to be within the range of findings for Berlin and Frankfurt, with the exception of peak concentrations of nitrogen oxides in Frankfurt. The importance of motor traffic near airports for the air pollution in such areas was clearly demonstrated. Obviously, modeling of airplane exhaust gases still involve uncertainties, with excessive rated ambient air concentrations. The amounts, concentrations and densities of emissions at airports, and the prognostication of their future development can be characterized by the summarizing statement of Sawyer [59]: The aircraft has been identified as a small but significant source of air pollution. Projections predict that, in the absence of controls, the significance of aircraft air pollution will become greater as other sources.

Literatur

- [1] Umweltprogramm der Bundesregierung.
"betrifft" Heft 9. Hrsg. vom Bundesministerium des
Innern, 1971.
- [2] Shabad, L.M. and G.A. Smirnov: The content of 3,4-benz-
pyrene in the soot and exhaust gases of turbine and
reciprocating aviation engines [russisch]. Gigiena i
Sanit. 34, Nr. 2, 98-99 (1969).
- [3] Schabad, L.M. und G.A. Smirnow: Die Rolle der Luftfahrt
bei der Verunreinigung der menschlichen Umgebung mit
kanzerogenen Kohlenwasserstoffen (Untersuchungen des
3,4-Benzpyrens). Zschr.f. gesamte Hyg. u. Grenzgeb. 17,
888-891 (1971).
- [4] Shabad, L.M. and G.A. Smirnov: Aircraft engines as a
source of carcinogenic pollution of the environment
(benzo(a)pyrene studies). Atmospheric Environment 6,
153-164 (1972).
- [5] Stichting CONCAWE: Methods for the determination of
SO₂ in the atmosphere. Report 6/73, Den Haag 1973.
- [6] Lahmann, E. und K.-E. Prescher: Schwefeldioxid-Immis-
sionen in Berlin. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-,
Boden- und Lufthygiene Nr. 41, 83-114 (1974).
- [7] Lahmann, E., L. Laskus, K.-E. Prescher, S. Häntzsch
und P. Lenschow: Immissionen von Schwefeldioxid, Schwefel-
säure und Sulfaten in Berlin. VDI-Berichte 314, 79-86
(1978).
- [8] Spengler, G.: Gutachten über eine mögliche Luftver-
schmutzung beim Flughafen München II. Im Auftrag des
Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Verkehr,
München 1971.

- [9] VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft: Messung gasförmiger Immissionen. Messung der Kohlenmonoxid-Konzentration. Ultrarot-Absorptionsverfahren. VDI 2455, Blatt 1 (URAS 1 und 2) und Blatt 2 (UNOR 2). VDI-Verlag, Düsseldorf 1970.
- [10] Menk, G., S. Häntzsch und F. Nietruch: Automatische Meßwerterfassung bei der kontinuierlichen Bestimmung organischer Luftverunreinigungen. Wasser, Luft und Betrieb 14, 144-146 (1970).
- [11] Breuer, W.: Neue Verfahren zur kontinuierlichen Spurenanalyse. Archiv für techn. Messen, Lieferung 396, 7-12 (Januar 1969).
- [12] Stichting CONCAWE: Methods for the determination of nitrogen oxides in the atmosphere. Report 5/75, Den Haag 1975.
- [13] West, P.W. and G.C. Gaeke: Fixation of sulfur dioxide as disulfitomercurate(II) and subsequent colorimetric estimation. Analytic. Chem. 28, 1816-1819 (1956).
- [14] VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft: Messung gasförmiger Immissionen. Messung der Schwefeldioxid-Konzentration. Photometrisches Verfahren (TCM-Verfahren). VDI 2451, Blatt 3. VDI-Verlag, Düsseldorf 1968.
- [15] Saltzman, B.E.: Colorimetric microdetermination of nitrogen dioxide in the atmosphere. Analytic. Chem. 26, 1949-1955 (1954).
- [16] VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft: Messung gasförmiger Immissionen. Messen der Stickstoffdioxid- und Stickstoffmonoxid-Konzentration. Übersicht und manuelles photometrisches Verfahren (Saltzman). VDI 2453, Blatt 1. VDI-Verlag, Düsseldorf 1972.
- [17] Ibid.: Bestimmen von Stickstoffmonoxid. Oxidation zu Stickstoffdioxid und Messung nach dem photometrischen Verfahren (Saltzman). VDI 2453, Blatt 2. VDI-Verlag, Düsseldorf 1974.

- [18] Lahmann, E.: Die Bestimmung von Phenol in Luft. Staub - Reinhaltung der Luft 26, 530-534 (1966).
- [19] Lahmann, E. und K. Jander: Formaldehyd-Bestimmungen in Straßenluft. Gesundh.-Ing. 89, 18-21 (1968).
- [20] VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft: Messen gasförmiger Immissionen. Messen von Aldehyden. Bestimmen der Formaldehyd-Konzentration nach dem Sulfit-Pararosanilin-Verfahren. VDI 3484, Blatt 1. VDI-Verlag, Düsseldorf 1979.
- [21] Ibid.: Messen von Immissionen. Messen der Gesamt-Fluorid-Ionen-Konzentration. Impinger-Verfahren. VDI 2452, Blatt 1. VDI-Verlag, Düsseldorf 1978.
- [22] Ibid.: Messung gasförmiger Immissionen. Messen der Fluor-Ionen-Konzentration. Silberkugel-Sorptionsverfahren mit Vorabscheidung und elektrometrischem Nachweis. VDI 2452, Blatt 2. VDI-Verlag, Düsseldorf 1975.
- [23] Orion Research Incorporated: Instruction manual, halide electrodes, model 94-17. Cambridge, Massachusetts, USA, 1975.
- [24] Lahmann, E. und K.E. Prescher: Beitrag zur gravimetrischen Bestimmung der Staubkonzentration in atmosphärischer Luft mittels Filtergeräten (High Volume Sampler). Wasser, Luft und Betrieb 11, 677-678 (1967).
- [25] VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft: Messen von Partikeln. Messen der Massenkonzentration von Partikeln in der Außenluft. High Volume Sampler - HV 100. VDI 2463, Blatt 2. VDI-Verlag, Düsseldorf 1977.
- [26] Häntzsch, S., K. Kaffanke und F. Nietruch: Bleibestimmung im Straßenstaub mittels Atomabsorptionsspektrophotometrie. Staub - Reinhaltung der Luft 33, 33-36 (1973).

- [27] Seifert, B. und M. Drews: Atomabsorptionsspektrometrische Bestimmung von Blei, Cadmium, Kupfer, Vanadium, Zink und Arsen in Schwebstaub und in Staubbiederschlag. WaBoLu-Berichte 1/1978. Dietrich Reimer Verlag, Berlin 1978, 46 S.
- [28] VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft: Messung partikelförmiger Niederschläge. Bestimmung des partikelförmigen Niederschlags mit dem Bergerhoff-Gerät (Standardverfahren). VDI 2119, Blatt 2. VDI-Verlag, Düsseldorf 1972.
- [29] Löbner, A. und H. Nehls: Untersuchungsverfahren für die Bestimmung der in Niederschlagswässern enthaltenen Verunreinigungen. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene Nr. 12, 23-29 (1957).
- [30] Fechner, D. und B. Seifert: Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Staubbiederschlägen durch Hochleistungs-Flüssigkeits-Chromatographie mit Mehrwellenlängendetektion. 1. Mitteilung: Qualitative Ergebnisse. Fresenius Zeitschr. Analyt. Chem. 292, 193-198 (1978).
- [31] Universitätsinstitut für Meteorologie und Geophysik Frankfurt/Main: Wissenschaftliche Arbeiten zur Luftreinhaltung. Dezember 1972.
- [32] Laskus, L.: Untersuchung der Korngrößenverteilung des atmosphärischen Staubes in Bodennähe. Staub - Reinhaltung der Luft 37, 299-306 (1977).
- [33] Laskus, L., D. Bake, J. Kura und M. Möller: Konzentration und Korngrößenverteilung von Inhaltsstoffen im Luftstaub deutscher Städte. WaBoLu-Berichte 2/1979. Dietrich Reimer Verlag, Berlin 1979, 55 S.
- [34] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft -). Gemeins.Min.Bl. 25, Nr. 24, 425-452 (1974).

- [35] Lahmann, E.: Untersuchungen über Luftverunreinigungen durch den Kraftverkehr. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene Nr. 28 (1969).
- [36] Immissionssituation durch den Kraftverkehr in der Bundesrepublik Deutschland. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene Nr. 42 (1974).
- [37] Altshuller, A.P., T.A. Bellar, C.A. Clemons and E. Vanderzanden: Methane composition of urban atmospheres. Internat. J. Air Water Pollution 8, 29-35 (1964).
- [38] Lahmann, E. und S. Häntzsch: Luftverunreinigung durch Kohlenwasserstoffe. Städtehygiene 20, 243-246 (1969).
- [39] Lahmann, E. und K.-E. Prescher: Ergebnisse von Stickoxid-Immissionsmessungen in Berlin. Gesundh.-Ing. 96, 1-4 (1975).
- [40] Lahmann, E. und K.-E. Prescher: Räumliche und zeitliche Verteilung von Stickstoffoxiden in städtischer Luft. Gesundh.-Ing. 99, 32-36 (1978).
- [41] Lahmann, E., H. Palm, K.-E. Prescher und M. Schöndube: Stickstoffoxid-Immissionen in Berlin. WaBoLu-Berichte 4/1979. Dietrich Reimer Verlag, Berlin 1979, 80 S.
- [42] Unveröffentlichte Berichte des Senators für Gesundheit und Umweltschutz, Berlin.
- [43] Entwurf der Bundesregierung: Verwaltungsvorschrift zur Änderung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft). Deutscher Bundestag, 8. Wahlperiode. Drucksache 8/2751 vom 11.04.1979, 19-35.

- [44] Fechner, D.: Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe in atmosphärischem Staub. Analyse, Vorkommen, Haltbarkeit. Dissertation, Technische Universität Berlin 1979.
- [45] Mitteilung der Pilotstation Frankfurt des Umweltbundesamtes.
- [46] Lahmann, E. und L. Laskus: Das Brom/Blei-Verhältnis im Luftstaub als Indikator für Blei-Emissionsquellen. Staub - Reinhaltung der Luft 39, 216 - 218 (1979).
- [47] Compilation of air pollutant emission factors (Second Edition). U.S. Environmental Protection Agency. Office of Air and Water Programs. Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina. Publication No. AP-42, April 1973.
- [48] Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen: Untersuchungen zur Ermittlung der Luftverunreinigung durch startende und landende Flugzeuge auf dem Flughafen Düsseldorf-Lohausen, Essen, April 1973.
- [49] Hochheiser, S. and E.R. Lozano: Air pollution emissions from jet aircraft operating in New York Metropolitan Area. Society of Automotive Engineers. Air Transportation Meeting, New York, April 29 - May 2, 1968.
- [50] Lozano, E.R., W.W. Melvin and S. Hochheiser: Air pollution emissions from jet engines. J. Air Pollution Control Assoc. 18, 392 - 394 (1968).
- [51] Parker, J.: Air pollution at Heathrow Airport, London: April - September, 1970. Proceedings of SAE DOT Conference on Aircraft and the Environment, P-37, Part 1. New York: Society of Automotive Engineers, Inc., 1971, S. 121 - 146.
- [52] Parker, J.: Pollution from airports. Heathrow 1970 - 1971. Department of Trade and Industry, Warren Spring Laboratory. Paper given to Folkestone Conference of the National Society for Clean Air, November 1971.

- 537 Platt, M. and E.K. Bastress: Impact of aircraft emissions upon air quality. Int. Conf. Transp. Environm., Proc. 1972, (1), 42 - 55.
- 547 Parker, J.: Eine Bewertung der Luftverschmutzung auf Flughäfen. Interavia 9, 990 - 991 (1973).
- 557 Jones, K.H., R.E. Sampson and J.G. Holmes:
The federal aircraft emission control program: standards and their basis. J. Air Pollution Control Assoc. 24, 23 - 28 (1974).
- 567 Yamartino, R.J. and D.M. Rote: Updated model assessment of pollution at major U.S. airports. J. Air Pollution Control Assoc. 29, 128 - 132 (1979).
- 577 Gelinas, C.G. and H.S.L. Fan: Reducing air pollutant emissions at airports by controlling aircraft ground operations. J. Air Pollution Control Assoc. 29, 125 - 128 (1979).
- 587 Siegel, R.D.: Measurement of aircraft engine pollutant emissions. A review of instrumentation, test, and sampling procedures. J. Air Pollution Control Assoc. 22, 845 - 853 (1972).
- 597 Sawyer, R.F.: Atmospheric pollution by aircraft engines and fuels - a survey. North Atlantic Treaty Organization. Advisory Group for Aerospace Research and Development. AGARD Advisory Report No. 40., 1972.
- 607 Smith, D.S., R.F. Sawyer and E.S. Starkman:
Oxides of nitrogen from gas turbines. J. Air Pollution Control Assoc. 18, 30 - 35 (1968).
- 617 Cox, F.W., F.W. Penn and J.O. Chase: A field survey of emissions from aircraft turbine engines. U.S. Department of the Interior. Bureau of Mines. Report of Investigations 7634, 1972.

- [62] Jordan, B.C. and A.J. Broderich: Emissions of oxides of nitrogen from aircraft. J. Air Pollution Control Assoc. 29, 119 - 124 (1979).
- [63] Katzman, H. and W.F. Libby: Hydrocarbon emissions from jet engines operated at simulated high-altitude supersonic flight conditions. Atmospheric environment 9, 839 - 842 (1975).
- [64] Black, M.S., W.R. Rehg, R.E. Sievers and J.J. Brooks: Gas chromatographic technique for compounds class analysis of jet engine exhaust. Journal of Chromatography 142, 809 - 822 (1977).
- [65] Groth, R.H. and D.J. Robertson: Reactive and unreactive hydrocarbon emissions from gas turbine engines. J. Air Pollution Control Assoc. 25, 1137 - 1140 (1975).
- [66] Eisfeld, F.: Probleme des Rauchens und der Abgasemission von Turbinentriebwerken. DfVLR-Nachrichten Nr. 5, 177 - 180 (1971).
- [67] Oi Kawa, K., K. Honma und T. Mamuro: Die chemische Zusammensetzung der festen Bestandteile von Düsentriebwerken (japanisch). Taiki Osen Kenkyu 8 (1973), 460. Ref.: Air Pollution Abstracts 5, No. 6, 110 (1974).
- [68] Raney, J.L. and G.D. Kittredge: Measurement and control of air pollution from aircraft and other off-highway propulsion systems. Proceedings of the Second International Clean Air Congress. Washington 1970. Edited by H.M. Englund and W.T. Beery. Academic Press, New York and London, 1971, S. 639 - 648.
- [69] George, R.E., J.S. Nevitt and J.A. Verssen: Jet aircraft operations: impact on the air environment. J. Air Pollution Control Assoc. 22, 507 - 515 (1972).

- [70] Daley, P.S. and D.F. Naugle: Measurement and analysis of airport emissions. J. Air Pollution Control Assoc. 29, 113 - 116 (1979).
- [71] Fujii, M.: Air pollution caused by aircrafts. Kagaku To Yakugaku No Kyoshitsu 1974, 43, 13 - 22. Ref.: Chem. Abstr. 83, No. 24, Nr. 197432 K (1975).
- [72] Daniels, A. and W. Bach: Simulation of the environmental impact of an airport on the surrounding air quality. J. Air Pollution Control Assoc. 26, 339 - 344 (1976).
- [73] Brice, K.A. and R.G. Derwent: Emissions inventory for hydrocarbons in the United Kingdom. Atmospheric Environment 12, 2045 - 2054 (1978).
- [74] Airports and the environment. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris 1975, 290 S.
- [75] Sawyer, R.F.: Air pollution characteristics of aircraft engines. AGARD Advis. Rep. 1974, AGARD-AR-55, 17 - 25. Ref.: Chem. Abstr. 82, Nr. 34594c (1975).
- [76] Segal, M.S.: Realistic mixing depths for above ground aircraft emissions. J. Air Pollution Control Assoc. 25, 1054 - 1056 (1975).
- [77] Bach, W. and A. Daniels: Simulation of air pollution from a major airport. Proceedings of the Fourth International Clean Air Congress. The Japanese Union of Air Pollution Prevention Associations, Tokio 1977, 211 - 216.
- [78] Nishi, A. and T. Sawada: Assessment of air pollution from an offshore airport. Proceedings of the Fourth International Clean Air Congress. The Japanese Union of Air Pollution Prevention Associations, Tokio 1977, 217 - 219.

- [79] Frame, G.B.: Simulation of airport air quality by box photochemical and Gaussian models. J. Air Pollution Control Assoc. 28, 155 - 157 (1978).
- [80] Weal, K.I., G.R. Thompson and D.W. Netzer: Modification of an ambient air quality model for assessment of U.S. naval aviation emittants. J. Air Pollution Control Assoc. 28, 247 - 248 (1978).
- [81] Naugle, D.F., B.C. Grems and P.S. Daley: Air quality impact of aircraft at ten U.S. air force bases. J. Air Pollution Control Assoc. 28, 370 - 373 (1978).
- [82] Smith, D.G., E.A. Taylor, S.M. Doucette and B.A. Egan: Validation studies of air quality models at Dulles airport. J. Air Pollution Control Assoc. 29, 110 - 113 (1979).
- [83] Pasquill, F.: Atmospheric dispersion modeling. J. Air Pollution Control Assoc. 29, 117 - 119 (1979).
- [84] Bastress, E.K.: Impact of aircraft exhaust emissions at airports. Environmental Science & Technology 7, 811 - 816 (1973).
- [85] Mitteilung des Rijksinstituut voor de Volksgezondheid, Bilthoven, im Rahmen der deutsch-niederländischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Umwelthygiene.
- [86] Fordyce, J.S. and D.W. Sheibley: Estimate of contribution of jet aircraft operations to trace element concentration at or near airports. J. Air Pollution Control Assoc. 25, 721 - 724 (1975).
- [87] Schiantarelli, E.F.: Luftfremdstoffemission von Lufttriebwerken. Neue Zürcher Zeitung vom 23.09.1970, S. 87 - 88.

[88] Grimmer, G., J. Jacob und A. Hildebrandt:
Kohlenwasserstoffe in der Umgebung des Menschen.
9. Mitteilung: Der Gehalt polycyclischer Kohlen-
wasserstoffe in isländischen Bodenproben. Z. Krebsforsch.
78, 65 - 72 (1972).

[89] Piet, G.J., B.C.J. Zoeteman and R. Klomp:
Polynuclear aromatic hydrocarbons in the water
environment of the Netherlands. A presentation of
measurements in 1973 and 1974. R.I.D. Mededeling
No. 75-6. Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening,
Den Haag 1975, 40 S.

Anschrift der Verfasser:

Dir. u. Prof. Prof. Dr. Erdwin Lahmann

Dir. u. Prof. Dr. Karl-Ernst Prescher

**Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene
des Bundesgesundheitsamtes**

Corrensplatz 1

1 Berlin 33

Schriftenreihe des Vereins für

Wasser-, Boden- und Lufthygiene E. V. in Berlin Dahlem

Nr. 2:	Meinck; Englisch-deutsche und deutsch-englische Fachausdrücke aus dem Gebiete der Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung	DM 7,-
Nr. 3:	Kisker; Die Überwachung der Grundstückskläranlagen	DM --,50
Nr. 4:	Kolkwitz; Ökologie der Saprobien	DM 5,-
Nr. 8:	Büsscher; Untersuchungen über den Aufwuchs in Wasserbecken und seine Bekämpfung mit Kupfersulfat	DM 2,60
Nr. 9:	Meinck/Thomaschk; Untersuchungen über den anaeroben Abbau von Viskoseschlamm	DM 4,40
Nr. 10:	Beyreis/Heller/Bursche; Beiträge zur Außenluft-hygiene	DM 9,60
Nr. 11:	Steinkohlenflugasche	DM 15,-
Nr. 14b:	Einheitliche Anforderungen an die Beschaffenheit, Untersuchung und Beurteilung von Trinkwasser in Europa	DM 8,60
Nr. 15:	Löbner; Ergebnisse von Staubbiederschlagsmessungen an verschiedenen Orten Deutschlands	DM 2,-
Nr. 16:	Naumann/Heller; Probleme der Verunreinigung von Grund- und Oberflächenwasser durch Mineralöle und Detergentien. Luftverunreinigung und Abhilfemaßnahmen	DM 2,50
Nr. 17:	Aurand/Delius/Schmier; Bestimmung der mit Niederschlag und Staub dem Boden zugeführten Radioaktivität (Topfsammelverfahren)	DM 4,-
Nr. 19:	Abhandlungen aus dem Arbeitsgebiet des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene	DM 17,60
Nr. 20:	Sattelmacher; Methämoglobinämie durch Nitrate im Trinkwasser	DM 4,80
Nr. 21:	Vorträge auf der Jahrestagung des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 1963 in Berlin	DM 4,80
Nr. 22:	Langer/Kettner; Vorträge auf der Jahrestagung des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 1964 in Köln	DM 5,10

Nr. 23:	Lahmann; Luftverunreinigung in den Vereinigten Staaten von Amerika	DM 5,60
Nr. 25:	Lahmann/Morgenstern/Grupinski; Schwefeldioxid-Immissionen im Raum Mannheim/Ludwigshafen	DM 6,80
Nr. 26:	Kempf/Lüdemann/Pflaum; Verschmutzung der Gewässer durch motorischen Betrieb, insbesondere durch Außenbordmotoren	DM 8,50
Nr. 27:	Neuzeitliche Wasser-, Boden- und Lufthygiene	DM 10,80
Nr. 28:	Lahmann; Untersuchungen über Luftverunreinigungen durch den Kraftverkehr	DM 13,40
Nr. 29:	Heller/Kettner; Forschungsarbeiten über Blei in der Luft und in Staubniederschlägen	DM 11,60
Nr. 30:	Meteorologie und Lufthygiene	DM 19,80
Nr. 32:	Rattenbiologie und Rattenbekämpfung	DM 29,40
Nr. 33:	Beiträge aus dem Gebiet der Umwelthygiene	DM 30,80
Nr. 34:	Gewässer und Pestizide 1. Fachgespräch	DM 15,20
Nr. 35:	Kettner; Geruchsbelästigende Stoffe	DM 15,—
Nr. 36:	Durchlässigkeit von Lockersedimenten – Methodik und Kritik	DM 9,20
Nr. 37:	Gewässer und Pflanzenschutzmittel 2. Fachgespräch	DM 27,40
Nr. 38:	Umweltschutz und öffentlicher Gesundheitsdienst	DM 34,60
Nr. 39:	Schadstoff-Normierung der Außenluft in der Sowjetunion – MIK-Werte und Schutzzonen 1972	DM 4,60
Nr. 40:	Hygienisch-toxikologische Bewertung von Trinkwasserinhaltsstoffen	DM 21,50
Nr. 41:	Lufthygiene 1974	DM 26,—
Nr. 42:	Immissionssituation durch den Kraftverkehr in der Bundesrepublik Deutschland	DM 70,—
Nr. 43:	Schwimmbadhygiene	
Nr. 44:	Zur Diskussion über das Abwasserabgabengesetz	DM 18,—

Gustav Fischer Verlag · Stuttgart

- | | | |
|---------|---|----------|
| Nr. 45: | Siedlungshygiene und Stadtplanung | DM 31,— |
| Nr. 46: | Gewässer und Pflanzenschutzmittel
3. Fachgespräch | DM 32,— |
| Nr. 47: | Dulson; Organisch-chemische Fremdstoffe in
atmosphärischer Luft | DM 28,— |
| Nr. 48: | Chemisch-ökologische Untersuchungen über die
Eutrophierung Berliner Gewässer unter besonderer
Berücksichtigung der Phosphate und Borate | DM 35,50 |

Gustav Fischer Verlag · Stuttgart

02LU200049

