

## Messungen von aromatischen Kohlenwasserstoffen in der Stadt München und im Ebersberger Forst – ein Vergleich

von B. Rappenglück, Freising-Weihenstephan

### Summary

Aromatic compounds of anthropogenic origin such as benzene, toluene, ethylbenzene and *m*-/*p*-/*o*-xylenes (BTEX) play an important role in photochemical processes. They favour the formation of ozone and PAN which are photooxidants of human-bioclimateological relevance. In addition some of the aromatic species may in itself display hazardous effects on human health. Measurements of BTEX-hydrocarbons were carried out in the city of Munich and in the Ebersberger Forst on a quasi-continuous basis by a gas-chromatographic system. This instrumentation made it possible to obtain on-line 30-minute averages of the hydrocarbon concentrations in ambient air.

### 1. Einleitung

Es ist bekannt, daß leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe – sowohl anthropogenen als auch biogenen Ursprungs – eine wichtige Rolle in photochemischen Prozessen der bodennahen Atmosphäre spielen. In Anwesenheit von Stickoxiden tragen sie bei hinreichend starker Sonneneinstrahlung zur verstärkten Bildung von Ozon und PAN bei (Finlayson-Pitts und Pitts 1986). Diese Substanzen sind von wichtiger human-bioklimatologischer Bedeutung und sind derzeit Gegenstand vielfältiger Forschungsaktivitäten (u.a. Höppe 1993, Jakobi 1994, Fabian et al. 1994 (a), Fabian et al. 1994 (b)).

Messungen von Kohlenwasserstoffen wurden bereits an vielen Orten weltweit durchgeführt (Chameides et al. 1992). Auch aus dem Großraum München liegen eine Reihe von Messungen anthropogener und biogener Kohlenwasserstoffe vor (Gietl 1979, Kreuzig et al. 1986, Kreuzig und Korte 1986, Kreuzig et al. 1988, Bayer. Landesamt f. Umweltschutz 1991, Rappenglück 1994). Aus meßtechnischen Notwendigkeiten heraus wiesen jedoch die meisten der in früheren Jahren durchgeführten Messungen das Manko auf, daß nur wenige stichprobenhaft genommene Luftproben analysiert werden konnten und demzufolge nur unzulängliche statistische Erhebungen möglich waren.

### 2. Die Bedeutung aromatischer Kohlenwasserstoffe

Kohlenwasserstoffe bestehen aus verschiedenen Gruppen mit spezifischen Merkmalen hinsichtlich ihres Ursprungs, ihrer chemischen Struktur, ihrer Reaktivität, ihrer atmosphärischen Lebenszeiten und schließlich ihrer in der bodennahen Atmosphäre auftretenden Konzentrationsbereiche. In den weiteren Betrachtungen wird auf die Untersuchung aromatischer Verbindungen wie Benzen, Toluol, Ethylbenzen und der *m*-/*p*-/*o*-Xylene (BTEX) besonde-



res Augenmerk gelegt. Diese Substanzen sind zumeist anthropogenen Ursprungs und werden bevorzugt vom Kraftfahrzeugverkehr emittiert (Field et al. 1992). Für die Beschränkung auf die BTEX-Gruppe sprechen folgende Gründe: diese Verbindungen zeichnen sich dadurch aus, daß der einzig bekannte Senkmechanismus ihr Abbau durch das OH-Radikal darstellt, was im weiteren Verlauf zur Bildung von Photooxidantien führt. Zwar besitzen die Aromaten lediglich eine mittlere Reaktivität gegenüber dem OH-Radikal. Im Gegensatz hierzu können aber andere Kohlenwasserstoffe, die höhere Reaktivitäten gegenüber OH aufweisen, wie insbesondere Alkene oder die sehr reaktiven Terpene, zusätzlich mit Ozon reagieren (Warneck 1988) und somit zu einem Ozonabbau beitragen. Darüber hinaus zeigen Messungen, daß aromatische Verbindungen selbst in stadtfernen Regionen in genügend hohen Konzentration auftreten (Isidorov 1990, Khalil und Rasmussen 1992), so daß sie an photochemischen Prozessen effekt teilnehmen können.

Neben ihres Bildungspotentials von Ozon und PAN (Hough und Derwent 1987, Bowman und Seinfeld 1994) verdienen die BTEX-Komponenten zusätzliche Aufmerksamkeit, da einigen von ihnen, insbesondere Benzen, gesundheitsschädliche Auswirkungen auf den menschlichen Organismus zugeschrieben werden (Brodzinsky und Singh 1983). Beide Aspekte lassen die aromatischen Verbindungen zu einem interessanten human-bioklimatologischen Forschungsgegenstand werden.

Im folgenden werden Ergebnisse von Messungen dargestellt, welche in den Jahren 1993 und 1994 in der Stadt München und im Ebersberger Forst durchgeführt wurden. Ziel dieser Untersuchung ist es, die Immissionsbelastung mit aromatischen Kohlenwasserstoffen in einem Stadtgebiet und in einem im Einzugsbereich dieses Ballungsraums gelegenen Waldgebiet, welches durch seine vielfältigen ökologischen Gegebenheiten gekennzeichnet wird (Baumgartner 1982), miteinander zu vergleichen, um einen möglichen Beitrag der Stadt zum Schadstoffeintrag in das Waldgebiet abschätzen zu können. Ähnliche Messungen wurden bereits im Jahre 1985 durchgeführt (Kreuzig 1986).

### 3. Experimentelle Vorgehensweise

Für die Messungen der BTEX-Aromaten wurde der kommerziell erhältliche Gaschromatograph HC1010 der Fa. Airmotec AG verwendet.

Ein Meßvorgang besteht aus den Arbeitsschritten Probenaufnahme, Probenaufbereitung, Komponententrennung und schließlich Komponentendetektion. Diese Schritte werden in diesem Gerät für jede Luftprobe automatisch hintereinander abgearbeitet. Die Probenaufnahme wird in etwa 3 m Höhe vorgenommen, die Samplezeit beträgt 29,5 min und das Samplevolumen ca. 2 l. Die Probenaufbereitung erfolgt mit einer zweistufigen Anreicherung auf einer Kombination zweier Adsorbentmaterialien (Carbosieve SIII™ 60/80 mesh und Carbotrap™) und einem nachfolgenden Ausfrieren der Probe in einer mikropackte Kühlfalle (Temperatur: -20°C; Adsorbentmaterial Carbopack™ B 60/80 mesh). Nach einer Thermodesorption wird die Probe schließlich in die Trennsäule (DB-5 Fused-Silica-Trennsäule, 1 mm Schichtdicke, 0,2 mm Durchmesser, 9 m Länge) injiziert und nachfolgend mittels eines Flammenio-



nisationsdetektors (FID) registriert. Die Identifikation der Komponenten wird anhand ihrer Retentionszeiten durchgeführt, Kalibrierungen erfolgen mit Prüfgasflaschen. Da sich im HC1010 mehrere Adsorptionsröhrchen befinden und sich immer ein Röhrchen in der Anreicherungsphase befindet, während ein anderes Röhrchen analysiert wird, ist, bis auf eine kurze Zeitspanne, während der ein Röhrchenwechsel erfolgt (ca. 30 s) eine zeitlich fast lückenlose Probenahme gewährleistet. Hinsichtlich detaillierterer Beschreibungen sei in diesem Zusammenhang auf andere Veröffentlichungen verwiesen (Stahelin et al. 1991, Riemschneider 1992, Rappenglück und Fabian 1993).

Die Messungen im Ebersberger Forst wurden auf einer Waldlichtung in der Nähe des Forsthauses Sauschütt durchgeführt. Das Waldgebiet selbst besteht aus einem homogenen Fichtenhochwald, umfaßt eine Größe von etwa 15 x 15 km<sup>2</sup> und liegt ca. 20 km östlich von München. Von punktuellen Emissionsereignissen abgesehen, die auf vereinzelt an der Meßstelle vorbeifahrende Pkw zurückzuführen sind, gibt die die Meßstation die luftchemischen Situation einer stadtfremden – bei Ostwindlagen – nahezu unbelasteten Atmosphäre wieder.

In der Stadt München befand sich der Meßort am Umweltschutzreferat der Stadt München in der Nähe des Hauptbahnhofs in einem nach Norden zu den Gleisanlagen hin geöffneten Hof. Die Messungen wurden somit auf der straßenabgewandten Seite durchgeführt und waren daher kaum direkten Quellen ausgesetzt.

#### 4. Ergebnisse und Diskussion

Die Tabellen 1 und 2 geben die Meßergebnisse von aromatischen Verbindungen im Ebersberger Forst und in der Stadt München wieder. Sie zeigen, daß die Aromaten an beiden Meßorten in nennenswerten Mischungsverhältnissen auftreten, wobei in der Regel in der sommerlichen Meßperiode doppelt so hohe Maxima als im Frühjahr angetroffen werden. Die absolut höchsten Werte treten immer im Stadtgebiet Münchens auf. So erreichte Benzen Maximalwerte bis zu fast 15 ppbv im 30-min Mittel und Toluol 32 ppbv. Auffallend ist der hohe Anteil von m/p-Xylen in der Umgebungsluft, der in München fast ebenso hohe Maximalwerte wie für Toluol erreichte. Höhere Konzentrationen von Aromaten in der Stadt sind aufgrund der Nähe zu anthropogenen Quellen, insbesondere des Verkehrs, zu erwarten. Diese Vermutung wurde bereits von Kreuzig et al. (1986) für das Münchner Stadtgebiet bestätigt. Allerdings weisen die aktuellen Werte auf eine um den Faktor 3-4 gestiegene Immissionsbelastung hin. Dies trifft sogar noch in höherem Maße auf die Messungen im Ebersberger Forst zu. Hier konnten im Vergleich zu Kreuzig et al. (1986) insbesondere bei Ethylbenzen und der Gruppe der Xylene bis zu zehnfach höhere Werte angetroffen werden. Da Kreuzig et al. keine Analysen von Benzen durchführten, liegen diesbezüglich keine Vergleichsmöglichkeiten vor. Vermutlich dürfte sich jedoch eine ähnliche Steigerung ergeben haben, da sich in der Regel das Verhältnis der Konzentrationen der BTEX-Aromaten untereinander zumindest in der Nähe von Quellen nur wenig ändert.

Von Benzen ist seit längerem bekannt, daß es kanzerogen wirkt (Brodzinsky und Singh 1983). Aufgrund dieser Eigenschaft wird zur Zeit auf natio-



naler wie auch auf EU-Ebene die Einführung eines Prüfwertes für Benzen diskutiert. Dieser soll bei  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahresmittel liegen. Dies entspricht etwa 3 ppbv. Der in Tab. 1 und 2 ermittelten Mittelwerte für Benzen konnten im Falle des Ebersberger Forstes 480 bzw. 586 und für den Maßort München 603 bzw. sogar 1111 30-min Mittelwerte zugrundegelegt werden. Es kann daher von einer hinreichend repräsentativen Charakterisierung der Benzen-Immisi-

Tab. 1: Ergebnisse von BTEX-Messungen im Ebersberger Forst

	Ebersberger Forst					
	Mischungsverhältnisse in [ppbv]					
	1. 4. – 18. 4. 1993 („Frühjahr“)			29. 7. – 10. 8. 1993 („Sommer“)		
	Mittelwert*	Minimum	Maximum	Mittelwert*	Minimum	Maximum
Benzen	0,84 (586)	0,17	2,42	0,75 (480)	0,11	4,79
Toluol	0,99 (589)	0,11	4,39	1,06 (485)	0,14	8,05
Ethylbenzen	0,32 (176)	< 0,10	0,68	0,57 (176)	< 0,10	1,71
m/p-Xylen	0,50 (417)	< 0,10	1,96	0,89 (417)	< 0,10	6,01
o-Xylen	0,32 (358)	< 0,10	1,03	0,32 (358)	< 0,10	2,01

\* in Klammern Anzahl der zugrundeliegenden Analysen

sionen ausgegangen werden, so daß die Verwendung dieser Werte als Richtwerte für Jahresmittelwerte statthaft ist. Somit wird der vorgeschlagene Prüfwert im Stadsgebiet Münchens leicht übertroffen, im Ebersberger Forst erwartungsgemäß unterschritten. Allerdings sind die Werte von 0,84 ppbv („Frühjahr“) bzw. 0,75 ppbv („Sommer“) für ein Waldgebiet immer noch beachtlich

Tab. 2: Ergebnisse von BTEX-Messungen in München

	München – Umweltschutzreferat					
	Mischungsverhältnisse in [ppbv]					
	8. 4. – 2. 5. 1994 („Frühjahr“)			12. 8. – 25. 8. 1993 („Sommer“)		
	Mittelwert*	Minimum	Maximum	Mittelwert*	Minimum	Maximum
Benzen	3,11 (1111)	0,66	13,84	3,57 (603)	0,35	14,86
Toluol	5,33 (1112)	1,13	25,02	6,95 (603)	0,85	32,12
Ethylbenzen	0,74 (1099)	0,18	4,24	1,44 (575)	0,36	9,51
m/p-Xylen	2,64 (1112)	0,35	15,27	3,83 (603)	0,25	31,47
o-Xylen	0,96 (1110)	0,12	5,50	1,46 (601)	0,12	10,08

\* in Klammern Anzahl der zugrundeliegenden Analysen



und müssen wohl auf die Nähe zum Ballungsraum München zurückgeführt werden.

Tab. 3 zeigt die Verhältnisse zwischen den in München und im Ebersberger Forst gefundenen BTEX-Konzentrationen. Wie in Tab. 1 und 2 spiegeln sich auch hier wieder die höheren Werte des Stadtgebietes wider. Jedoch fallen die Differenzen für die einzelnen Komponenten und für die Meßperioden ver-

Tab. 3: Vergleich der BTEX-Konzentrationen München-Ebersberger Forst (Datenbasis: 30-min Mittelwerte)

	München / Ebersberger Forst	
	Frühjahr	Sommer
Benzen	3,70	4,76
Toluen	5,38	6,56
Ethylbenzen	2,31	2,53
m/p-Xylen	5,28	4,30
o-Xylen	3,00	4,56

schiedenartig aus. Mit Ausnahme von m/p-Xylen sind die Unterschiede in den Konzentrationen zwischen München und dem Ebersberger Forst im Sommer größer als im Frühjahr. Auffallend ist jedoch, daß Ethylbenzen nur wenig Veränderungen zeigt und die Summe der m/p-Xylene sogar einen leichten Rückgang aufweist. Es liegt nahe, die Konzentrationsunterschiede auf einen Verdünnungseffekt, der zwischen den Quellen im Stadtgebiet und des emittentenfernen gelegenen Ebersberger Forstes stattfindet, zurückzuführen. Die Zunahme des Konzentrationsgefälles während der Sommerzeit läßt auf einen stärkeren photochemischen Abbau der Komponenten während ihres Transports schließen, zumal in diesem Zeitraum die Sonneneinstrahlung am effektivsten für derartige Prozesse ist.

Tab. 4 gibt Auskunft über das unterschiedliche Immissionsmuster der Aromaten in den verschiedenen Meßperioden in München und im Ebersberger Forst. Ein einheitliches Bild zeigen die Komponenten am Meßort München

Tab. 4: Verhältnis der BTEX-Konzentrationen im Sommer zu den Werten im Frühjahr in München und im Ebersberger Forst (Datenbasis: 30-min Mittelwerte)

	Ebersberger Forst	München – Umweltschutzreferat
Benzen	0,89	1,15
Toluen	1,07	1,30
Ethylbenzen	1,78	1,95
m/p-Xylen	1,78	1,45
o-Xylen	1,00	1,52



Umweltschutzreferat: Durchweg werden hier im Sommer höhere Werte festgestellt als im Frühjahr. Die größte Zunahme erfahren hierbei die Xylen-Isomere und Ethylbenzen. Ethylbenzen weist in der sommerlichen Meßperiode fast doppelt so hohe Werte auf. Den geringsten Anstieg verzeichnet Benzen.

Im Ebersberger Forst sind die Tendenzen im allgemeinen nicht so eindeutig wie im Stadtgebiet: So verbleiben Toluol und o-Xylen fast unverändert auf demselben Niveau wie im Frühjahr, während auf der anderen Seite die Konzentrationen von Ethylbenzen und m/p-Xylen einen deutlichen Anstieg um 78 % aufzeigen. Für die Benzen-Konzentration ist im Sommer hingegen sogar ein Rückgang festzustellen.

Weitere Informationen über das Immissionsmuster der Aromaten an beiden Meßorten lassen sich aus Tab. 5 ersehen. Hier sind die auf den Mittelwert

Tab. 5: Auf den Mittelwert von Benzen normierte BTEX-Konzentrationen, getrennt nach Meßort und Meßperioden (Datenbasis: 30-min Mittelwerte)

	Ebersberger Forst		München – Umweltschutzreferat	
	Frühjahr	Sommer	Frühjahr	Sommer
Benzen	1	1	1	1
Toluol	1,18	1,41	1,71	1,95
Ethylbenzen	0,38	0,76	0,24	0,40
m/p-Xylen	0,60	1,19	0,85	1,07
o-Xylen	0,38	0,43	0,31	0,41

von Benzen normierten Konzentrationen der einzelnen Verbindungen dargestellt. Es ist zu erkennen, daß im Ebersberger Forst der Anteil von Ethylbenzen und m/p-Xylen an den Aromaten im Sommer überproportional ansteigt. Die Summe der m/p-Xylene erreicht fast dieselbe Größenordnung wie Toluol. Ein ähnlicher Anstieg ist für diese Komponenten auch für das Stadtgebiet Münchens auszumachen. Hier ist darüber hinaus eine Zunahme von o-Xylen festzustellen. Auffallend ist, daß die Verhältnisse von Ethylbenzen und o-Xylen, die in der Regel eine gute Übereinstimmung aufweisen, im Ebersberger Forst im Sommer eine große Abweichung voneinander zeigen. In diesem Fall ist der Anteil von Ethylbenzen an den Aromaten doppelt so hoch wie derjenige von o-Xylen.

Fig. 1 und 2 zeigen den Verlauf der aromatischen Verbindungen an beiden Meßorten. Es ist hieraus ersichtlich, daß die Verläufe in München vom Tagesgang der Emissionen geprägt sind. Häufig tritt daher zum Zeitpunkt des morgendlichen Berufsverkehrs ein Maximum der Konzentrationen auf. Desgleichen kann ein solcher Effekt in den Abendstunden erkannt werden. Hier kann zusätzlich die Ausbildung von nächtlichen Inversionen und das Fehlen der zu einem Abbau notwendigen Sonneneinstrahlung zu einer weiteren Anreicherung dieser primären Substanzen im Stadtgebiet führen. Dieser Effekt ist besonders ausgeprägt in den Nächten vom 14. auf den 15.08. und vom 16. auf den 17.08. Im Ebersberger Forst hingegen existiert kein derartiger von Emissi-



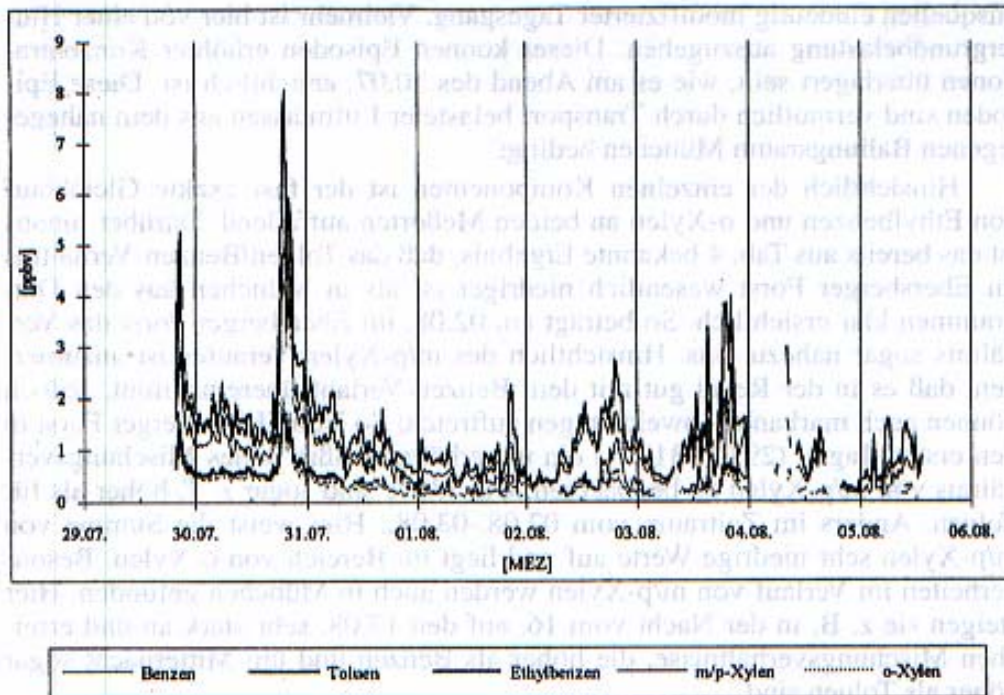


Fig. 1: Ergebnisse von BTEX-Messungen im Ebersberger Forst im Zeitraum 29.07.–6.08.1993

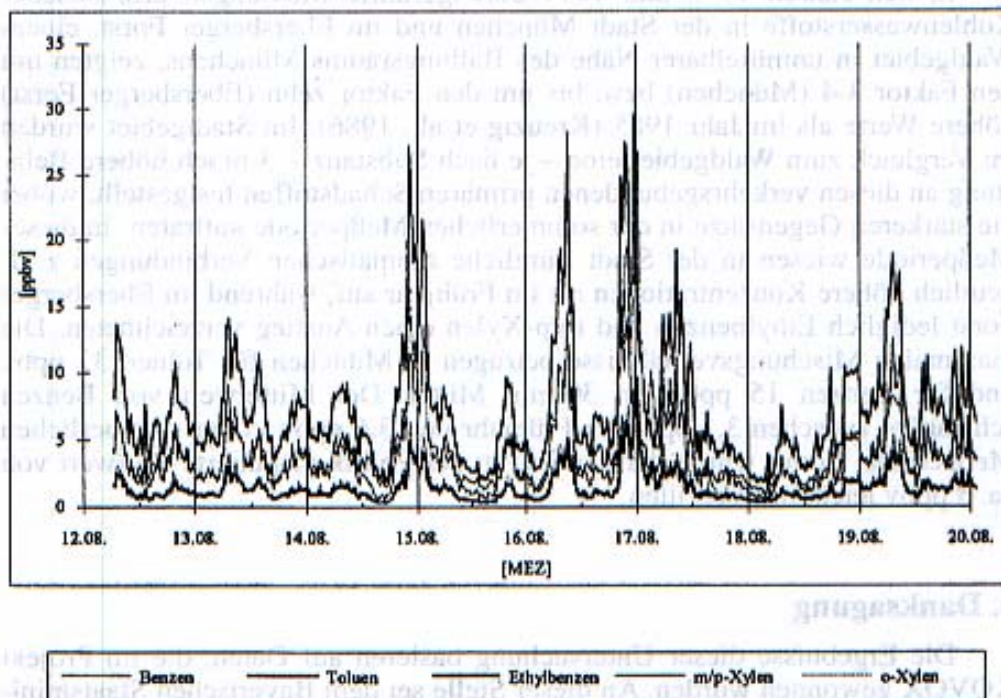


Fig. 2: Ergebnisse von BTEX-Messungen in München im Zeitraum 12.08.–20.8.1993



onsquellen eindeutig modifizierter Tagesgang. Vielmehr ist hier von einer Hintergrundbelastung auszugehen. Dieser können Episoden erhöhter Konzentrationen überlagert sein, wie es am Abend des 30.07. ersichtlich ist. Diese Episoden sind vermutlich durch Transport belasteter Luftmassen aus dem nahegelegenen Ballungsraum München bedingt.

Hinsichtlich der einzelnen Komponenten ist der fast exakte Gleichlauf von Ethylbenzen und o-Xylen an beiden Meßorten auffallend. Darüber hinaus ist das bereits aus Tab. 4 bekannte Ergebnis, daß das Toluol/Benzen-Verhältnis im Ebersberger Forst wesentlich niedriger ist als in München aus den Diagrammen klar ersichtlich. So beträgt am 02.08. im Ebersberger Forst das Verhältnis sogar nahezu eins. Hinsichtlich des m/p-Xylen-Verlaufes ist anzumerken, daß es in der Regel gut mit dem Benzen-Verlauf übereinstimmt. Jedoch können auch markante Abweichungen auftreten: So ist im Ebersberger Forst in den ersten Tagen (29.07.-31.07.) ein unverhältnismäßig hohes Mischungsverhältnis von m/p-Xylen zu beobachten. Die Werte sind sogar z. T. höher als für Toluol. Anders im Zeitraum vom 02.08.-03.08.: Hier weist die Summe von m/p-Xylen sehr niedrige Werte auf und liegt im Bereich von o-Xylen. Besonderheiten im Verlauf von m/p-Xylen werden auch in München gefunden. Hier steigen sie z. B. in der Nacht vom 16. auf den 17.08. sehr stark an und erreichen Mischungsverhältnisse, die höher als Benzen und um Mitternacht sogar höher als Toluol sind.

## 5. Schlußfolgerungen

In den Jahren 1993 und 1994 durchgeführte Messungen aromatischer Kohlenwasserstoffe in der Stadt München und im Ebersberger Forst, einem Waldgebiet in unmittelbarer Nähe des Ballungsraums Münchens, zeigten um den Faktor 3-4 (München) bzw. bis um den Faktor zehn (Ebersberger Forst) höhere Werte als im Jahr 1985 (Kreuzig et al., 1986). Im Stadtgebiet wurden im Vergleich zum Waldgebiet eine – je nach Substanz – 3-6fach höhere Belastung an diesen verkehrsgebundenen primären Schadstoffen festgestellt, wobei die stärkeren Gegensätze in der sommerlichen Meßperiode auftraten. In dieser Meßperiode wiesen in der Stadt sämtliche aromatischen Verbindungen z. T. deutlich höhere Konzentrationen als im Frühjahr auf, während im Ebersberger Forst lediglich Ethylbenzen und m/p-Xylen einen Anstieg verzeichneten. Die maximalen Mischungsverhältnisse betragen in München für Toluol 32 ppbv und für Benzen 15 ppbv im 30-min Mittel. Der Mittelwert von Benzen schwankte zwischen 3,1 ppbv im Frühjahr und 3,6 ppbv in der sommerlichen Meßperiode. Somit wurde der zur Zeit in der Politik diskutierte Prüfwert von ca. 3 ppbv leicht überschritten.

## 6. Danksagung

Die Ergebnisse dieser Untersuchung basieren auf Daten, die im Projekt KOVOX gewonnen wurden. An dieser Stelle sei dem Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen für die finanzielle Förderung dieses Projektes gedankt.



## Literatur

- Baumgartner, A., 1982: Wald und Biosphäre, Allg. Forstz., Nr. 21, S. 1-7
- Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 1991: Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben „Messung der Immissionen organischer Luftschadstoffe (VOC) mit einem automatisierten Prozeß-Gas-Chromatographen im mobilen und stationären Einsatz (VOC-MOBS)“. – Nr. 1/4-133-22/89, 59 S.
- Bowman, F. M., J. H. Seinfeld 1994: Ozone productivity of atmospheric organics, J. Geophys. Res., Vol. 99, S. 5309-5324
- Brodzinsky, R., H. B. Singh, 1983: Volatile organic chemicals in the atmosphere: An assessment of available data, SRI EPA Contract 68-02-3452.
- Chameides, W. L., F. Fehsenfeld, M. O. Rodgers, C. Cardelino, J. Martinez, D. Parrish, W. Lonneman, D. R. Lawson., R. A. Rasmussen, P. Zimmerman, J. Greenberg, P. Middleton, T. Wang, 1992: Ozone precursor relationships in the ambient air, J. Geophys. Res., Vol. 97, No. D5, S. 6037-6055.
- Fabian, P., C. Haustein, G. Jakobi, B. Rappenglück, P. Suppan, P. Steil, 1994 (a): Photochemical Smog in the Munich Metropolitan Area, Contrib. Phys. Atmosph, Vol. 67, No. 1, S. 39-56
- Fabian, P., P. Suppan, B. Rappenglück, 1994 (b): Einfluß des Großflughafens München-Erding auf die Immissionsbelastung des regionalen Umfelds, Rundgespr. d. Kommission f. Ökologie, Bd. 8 Klimaforschung Bayern, S. 83-92
- Field, R. A., M. E. Goldstone, J. N. Lester, R. Perry, 1992: The sources and behaviour of tropospheric anthropogenic volatile hydrocarbons, Atmos. Environ., Vol. 26A, No. 16, S. 2983-2996
- Finlayson-Pitts, B. J., J.N. Pitts, Jr., 1986: Atmospheric chemistry: Fundamentals and experimental techniques, J. Wiley, New York, 1098 S.
- Gietl, G., 1979: Terpenflüsse in und über einem Fichtenwald, – in: Wissenschaftl. Mitteilung Nr. 35, Universität München – Meteorologisches Institut, Prof. Dr. Albert Baumgartner zum 60. Geburtstag, S. 45-50
- Höppe, P., 1993: Gesundheitsgefahren durch troposphärisches Ozon ?, Wetter und Leben, 45. Jahrgang, Nr. 3, S. 1-18
- Hough A. M., Derwent R. G., (1987): Computer modelling studies of the distribution of photochemical ozone production between different hydrocarbons, Atmos. Environ. Vol. 21, S. 2015-2033
- Isidorov, V. A., 1990: Organic chemistry of the earth's atmosphere, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 215 S.
- Jakobi G., 1994: Photooxidants in urban and rural areas in Southern Bavaria, Met. Z., Nr. 3, S. 122-126
- Khalil, M. A. K., R. A. Rasmussen, 1992: Forest hydrocarbon emissions: relationships between fluxes and ambient concentrations, J. Air Waste Manage. Assoc., S. 810-813
- Kreuzig R., I. Gebefügi, F. Korte, 1986: Leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe biogenen und anthropogenen Ursprungs in der Luft von Waldgebieten, Forstw. Cbl., Jahrgang 105, Heft 5, S. 435-441
- Kreuzig, R., F. Korte, 1986: Luftchemische Charakterisierung des Standortes Höglwald, Forstw. Cbl., Jahrgang 105, Heft 5, S. 292-295
- Kreuzig, R., I. Gebefügi, M. Bahadir, F. Korte, 1988: Jahresverlauf anthropogener und biogener Kohlenwasserstoffe an drei unterschiedlich belasteten bayerischen Waldstandorten, Centralblatt für das gesamte Forstwesen, Jahrgang 105, Heft 3, S. 125-132
- Rappenglück, B., 1994: Quasi-continuous measurements of hydrocarbon immissions, Met. Z., Nr. 3, S. 149-154



- Rappenglück, B., P. Fabian, 1993: Erfassung verschiedener Kohlenwasserstoffe als Vorläufersubstanzen für human-biometeorologisch relevante Photooxidantien (KOVOX), Zwischenbericht zum Vorhaben 6488-1053-34003, Bay. Staatsmin. f. Landesentwicklung u. Umweltfragen, München
- Riemschneider, P., 1992: Bestimmung von Kohlenwasserstoffen in der Münchner Stadtluft. – Diplomarbeit Univ. München
- Staehelin, J., M. Bäumle, A. S. H. Prevot, 1991: Air pollutant measurements from POLLUMET including nonmethane hydrocarbon analysis using the commercially available airmotec GC HC1010, Air Poll. Res. Rep. 39, Joint Workshop COST 611/Working Party 3 and EUROTRAC, ed. by G. Angeletti, S. Beilke and J. Slanina, Commission of the European Communities, TNO, Delft, S. 29-35
- Warneck, P., 1988: Chemistry of the natural atmosphere, Int. Geophys. Ser. 41, Academic Press, Inc., London, 757 S.

**Anschrift des Verfassers:**

Dipl.-Met. Bernhard Rappenglück  
 Lehrstuhl für Bioklimatologie und Immissionsforschung  
 der Ludwig-Maximilians-Universität München  
 Hohenbachernstr. 22  
 D-85354 Freising-Weihenstephan