

TOSSICOLOGIA DELL'OZONO E DI ALTRI FOTOSSIDANTI

W. MÜCKE

Ludwig-Maximilians-University of Munich, Bavarian State Ministry for Environmental Protection and Country Development, Munich, F.R. of Germany

Riassunto. - Effetti caratteristici dell' O_3 e di altri fotoossidanti sono le irritazioni delle vie respiratorie e degli occhi. Con le dovute limitazioni l' O_3 è ritenuto adatto come sostanza-tipo per la valutazione dell'insieme dei fotoossidanti. Le numerose indagini condotte sulle cavie e sull'uomo (tra l'altro sulla base di indagini epidemiologiche) mostrano che a più di $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di O_3 sono possibili effetti negativi relativi alla salute. Nell'ambito di indagini su cavie si sono verificate riduzioni delle difese immunitarie nei confronti delle infezioni, mentre in altre indagini su cavie e sull'uomo si sono riscontrate irritazioni delle mucose e riduzione della funzione polmonare. E' da segnalare che l' O_3 a causa della sua scarsa solubilità nell'acqua penetra facilmente nella periferia polmonare: Fino a una concentrazione di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di O_3 (valore medio semiorario) sono da escludere effetti negativi sulla salute (concentrazione massima di immissione); la concentrazione massima ammissibile sul posto di lavoro è di $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di O_3 . Questi valori, riguardanti la salute umana, vengono confrontati con i valori-limite e di riferimento relativi alla tutela della vegetazione. Nella Repubblica Federale Tedesca attualmente sono in esame valori di avvertimento per la popolazione e raccomandazioni sanitarie per gruppi di persone sensibili.

Summary (Toxicology of ozone and of other photochemical oxidants). - The occurrence of photochemical oxidants ("photochemical smog") in Europe in increasingly taken into account not only with regard to forest decline, but also to human health. One of the main components of the complex mixture of individual components and also a primary bioindicator is ozone. Regarding ozone-concentrations in the environment the review presents the general biological effects of ozone, results of animal experiments and observation in man.

Introduzione

Nella Repubblica Federale Tedesca, nelle giornate di bel tempo del mese di maggio e dell'estate 1989, sono state registrate elevate concentrazioni di ozono (O_3) nella tropo-

sfera (in alcuni casi oltre i $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La denuncia di questa situazione ha provocato una profonda discussione sui rischi che ne derivano e sulle possibili conseguenze sanitarie e sociali che essi comportano. E' da tenere presente che un'intensa radiazione UV provoca spesso negli strati più bassi della troposfera elevate concentrazioni di O_3 di formazione del tutto indipendente da concentrazioni dovute, per esempio, ai fluoroclorocarburi emessi dalle ben note bombolette a nebulizzazione. Anche in altri paesi europei, del resto, sono stati registrati valori di O_3 relativamente alti, che vengono messi, anche per l'Italia settentrionale, in relazione ai fenomeni del depauperamento boschivo. Sulla base della conoscenza delle concentrazioni effettive di tale gas, si intende fornire uno sguardo d'insieme, dal punto di vista della tossicologia umana, degli effetti generali, dei risultati degli esperimenti condotti su cavie e delle osservazioni sull'uomo. Ciò consentirà di arrivare ad una più ragionata valutazione del rischio, all'accertamento dei parametri critici ed alla stima dei valori limite.

L'ozono come fotoossidante tipo

Tra le conseguenze negative più caratteristiche delle sostanze fotoossidanti vanno annoverate le irritazioni delle vie respiratorie e degli occhi. Come noto, gli agenti fotoossidanti sono una categoria alquanto ampia, la cui tossicità per l'uomo è estremamente variabile. In certi casi, peraltro, i derivati possono essere più tossici degli stessi composti primari. Fra i principali fotoossidanti vanno annoverati, oltre all' O_3 , i prodotti formati per azione della luce solare con gli ossidi di azoto e gli idrocarburi, quali il perossiacetilnitrato (PAN) ed i suoi omologhi, i perossiacilnitrati, il perossibenzoilnitrato (PBzN) ed altri composti perossidici analoghi, il perossido d'idrogeno, ossidi d'azoto ad alta valenza, alcune aldeidi (per esempio la formaldeide), alcuni chetoni ed anche acidi organici ed inorganici, sia liberi che sotto forma di aerosol. Per molti di questi composti, tuttavia, si conosce poco del loro meccanismo di azione [1, 2].

In considerazione dei dati effettivamente disponibili, una valutazione tossicologica degli effetti dei fotoossidanti dovrà quindi basarsi essenzialmente sulle conoscenze relative all' O_3 e agli ossidanti rilevati con il metodo dello ioduro di potassio. Ciò può essere legittimamente affermato poiché l' O_3 rappresenta il principale componente del gruppo dei fotoossidanti, di cui costituisce il 70-80%. Esso esplica una notevole azione aggressiva mentre, per quanto riguarda le irritazioni, gli altri agenti esercitano forse un'azione più energica (per esempio, come nel caso del PBzN per le irritazioni agli occhi), ma non sostanzialmente diversa. D'altro canto il problema dei fotoossidanti non può ovviamente essere ricondotto al solo O_3 proprio per la presenza di tutti gli altri componenti. Per il momento purtroppo rimane sostanzialmente senza risposta il quesito circa la misura in cui la combinazione dei singoli componenti e l'interazione con altri agenti tossici inalati possa portare ad effetti sinergici o di altra natura [1-3].

Esposizione agli agenti fotoossidanti

L'importanza dell'inquinamento da O_3 sul posto di lavoro (ad esempio, a causa di determinati procedimenti di saldatura, come la saldatura con gas inerti) e della sua formazione in ambienti chiusi dovuta a lampade UV, fotocopiatrici, impianti elettrostatici di filtraggio dell'aria ecc., è ben conosciuta ed è stata frequentemente oggetto di studio. Solo da pochi anni, tuttavia, si considera con maggiore attenzione il fatto che anche ai nostri climi temperati il fotosmog, termine che trae la sua origine da fenomeni osservati in California, riveste una grande importanza per la salute [3].

L'inquinamento atmosferico da fotoossidanti nell'Europa centrale è innanzitutto un problema derivante dal raggiungimento di valori di punta. Dalle zone Rhein-Main (Francoforte e dintorni), Oberrheingraben (fra Basilea e Mannheim) e Kölner Bucht (Colonia e dintorni) si rilevano, a seconda della situazione meteorologica, livelli di O_3 molto alti, mentre nelle zone costiere e nelle pianure della Germania settentrionale le concentrazioni rimangono su valori relativamente bassi. L'irraggiamento solare è uno dei fattori responsabili dell'esistenza di grandi differenze per quanto riguarda l'inquinamento atmosferico da fotoossidanti. Nel periodo estivo, in concomitanza con rilascio di fotoossidanti per attività antropiche, è stato infatti accertato che possono essere raggiunti ed anche superati valori di $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il valore massimo semiorario è stato ottenuto a Mannheim con $664 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre nella zona di Colonia-Francoforte, d'estate, occasionalmente, si possono superare i $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ed anche in territorio alpino, come rilevato in Tirolo, i valori semiorari oltre passano i $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tali valori di punta pongono senz'altro le premesse per conseguenze rilevanti [4-7].

Caratteristiche dell'ozono

L'ozono è un forte ossidante dall'odore sgradevole e penetrante. La soglia olfattiva è di $40\text{-}50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La presenza dell' O_3 viene percepita immediatamente, anche se la

sensazione si affievolisce rapidamente. A partire da $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ essa però persiste per più tempo. Il cosiddetto "odore dell'ozono" nei boschi non proviene peraltro da questo gas, bensì da terpeni volatili. Ben più importante del fastidio olfattivo provocato dall' O_3 è invece la sua azione irritante, che può essere rafforzata da altri fotoossidanti.

Una caratteristica dell' O_3 consiste nel fatto che esso, data la sua scarsa solubilità nell'acqua ($1,06 \text{ g/l}$ a 0°C e 1013 hPa), penetra profondamente nei tessuti periferici polmonari, ad esempio più profondamente della SO_2 . I punti principali d'azione sono i bronchioli e gli alveoli periferici. Il tasso di adsorbimento è stato rilevato essere dell'80-90% per i cani. Negli esperimenti su cavie, l'avvelenamento tipico da gas irritante compare dopo un'inalazione prolungata per più ore a concentrazioni di oltre $4 \text{ mg}/\text{m}^3$, con danneggiamento dei capillari polmonari, a cui fa seguito la morte per edema polmonare.

Le caratteristiche ossidanti dell' O_3 , lo rendono in grado d'influenzare direttamente la biochimica cellulare dei polmoni e del sistema bronchiale. Le conseguenze maggiori consistono in alterazioni degenerative dei bronchioli e degli alveoli. Esposizioni prolungate per più mesi portano a bronchiti croniche nelle cavie, o a bronchioliti e ad alterazioni simili ad enfisemi, e cioè caratterizzate da un'iperdilatazione del tessuto polmonare, con riduzione della funzione polmonare [2, 8].

Esperimenti su cavie

Negli esperimenti su cavie si sono riscontrate *alterazioni morfologiche* da esposizione ad O_3 già a partire da $200\text{-}400 \mu\text{g}/\text{m}^3$. L'esposizione, in tal caso, è relativa a più ore, talvolta per un certo numero di giorni. Le alterazioni osservate riguardano danni all'epitelio cigliato fino a comprendere alterazioni irreversibili simili all'enfisema.

Negli esperimenti su cavie, condotti per durata di poche ore, si sono riscontrate alterazioni funzionali a partire da $400\text{-}1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di O_3 . A partire da queste concentrazioni aumenta pure la reattività bronchiale.

Fra i *parametri biochimici* risultanti da una esposizione all' O_3 vanno annoverati gli effetti sulle sostanze polmonari attive in superficie, le reazioni con gruppi sulfidrilici e la perossidazione lipidica con formazione di prodotti intermedi tossici, che vengono correlati ad una parte degli effetti collaterali. In questo senso si veda, fra l'altro, l'effetto protettivo esercitato dall' α -tocoferolo (vitamina E).

Per diverse specie un parametro molto sensibile va identificato nella *riduzione della resistenza ad agenti infettivi*, e cioè un indebolimento del meccanismo di difesa polmonare. I primi effetti, inquadabili nel cosiddetto "infectivity model", sono stati descritti per topi esposti prima ad O_3 ($160 \mu\text{g}/\text{m}^3$) per 3 ore e poi ad un aerosol di *Streptococcus pyrogenes*. E' da notare che in questo caso è garantito un effetto additivo per l'azione combinata con l' NO_2 . L'aumento della mortalità nelle rispettive situazioni sperimentali è stato accertato corrispondere alla somma delle singole componenti. Mentre questo effetto non si

riduce a seguito di ripetute esposizioni, una parziale tolleranza si sviluppa invece per quello che concerne l'insorgenza dell'edema da O_3 . Resta da chiarire in che misura ciò rappresenti una vera funzione di difesa.

E' stato anche ipotizzato un *effetto cancerogeno* dell' O_3 . A seguito di un'esposizione di più ore a 200-400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di O_3 , negli esperimenti su animali si sono riscontrate fratture cromosomiche simili a quelle causate da raggi X. Nelle cellule vegetali questo effetto compare già dopo esposizioni a minore dosaggio e di minore durata. Non si è riscontrato tuttavia un effetto cancerogeno dei fotoossidanti o del solo O_3 nei gruppi di popolazione a rischio (saldatori) [1, 2].

Indagini sull'uomo

In *saldatori* che lavorano in presenza di gas inerti sono state evidenziate irritazioni del tratto respiratorio accompagnate da un senso di oppressione al torace dopo esposizioni di un'ora a più di 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di O_3 . Rimane da chiarire se esposizioni più prolungate possano portare a patologie croniche delle vie respiratorie.

I dati forniti da *indagini epidemiologiche* condotte in California per esaminare l'influenza del fotosmog sulla *mortalità* non sono risultati chiaramente interpretabili. Le correlazioni trovate hanno infatti scarsa o nulla significatività, oppure implicano altri fattori di uguale rilevanza, quali la temperatura (per esempio in concomitanza con ondate di caldo). Lo stesso si può asserire per studi sulla *morbilità* condotti negli Stati Uniti relativamente a ricoveri ospedalieri e peggioramenti di patologie cardiopolmonari già in atto. Certamente, peraltro, sono state riscontrate correlazioni positive fra attacchi d'asma o alterazioni delle funzioni polmonari e concentrazioni di fotoossidanti nell'atmosfera, a livelli di 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ o superiori per un periodo massimo di un'ora. L'attendibilità analitica di queste indagini è però incerta. Studi epidemiologici condotti negli USA ed in Giappone su soggetti adulti e giovani sani hanno evidenziato effetti chiaramente negativi causati da alcuni fotoossidanti. Per gli scolari i valori-soglia accertati per la comparsa di tosse e dolori al petto sono stati pari a concentrazioni di 400-500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di fotoossidanti, mentre per le irritazioni oculari e per l'insorgenza di cefalee i valori-soglia sono stati di 200-300 e 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, rispettivamente.

Per le irritazioni agli occhi probabilmente sono responsabili principalmente l'acroleina, il PAN ed il PBzN; quest'ultimo è 200 volte più aggressivo della formaldeide. A concentrazioni più alte (400-1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di fotoossidanti per tre ore) si è osservata una riduzione dell'acutezza visiva e della visione notturna.

Indagini condotte negli Stati Uniti su fondisti nel corso di episodi di smog fra il 1959 ed il 1964 hanno rivelato una riduzione delle prestazioni fisiche causate da fotoossidanti. Tale fenomeno è risultato essere in stretta correlazione con le concentrazioni di fotoossidanti riscontrate un'ora prima della gara, tanto da poter desumere una riduzione della prestazione già a livelli di 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Da esami di laboratorio sull'uomo risulta che le concentrazioni a cui si manifestano effetti sono al di sotto dei 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di O_3 per una riduzione della funzione polmonare a seguito di un'esposizione di alcune ore. Effetti sul meccanismo della respirazione o sul ricambio dell'aria sono stati riscontrati in alcuni casi a partire da 740 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per una durata di più ore. Alcuni autori hanno descritto conseguenze sulla funzione polmonare nel caso di concentrazioni fino ad un minimo di 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di O_3 per una esposizione di più ore.

Ciò che sorprende comunque è che in queste indagini, nonostante condizioni sperimentali molto simili, vengano indicati valori-soglia tanto differenti. La spiegazione più plausibile è che si raggiunga un certo adattamento. Ciò viene messo in rilievo tra l'altro da studi condotti su californiani e canadesi. I soggetti californiani, molto più assuefatti allo smog fotochimico, si sono dimostrati molto meno sensibili ad una esposizione di O_3 di quanto non lo fossero i soggetti canadesi [1, 2, 8].

Valutazione del rischio

Sinteticamente le soglie d'azione dei fotoossidanti (riferiti all' O_3) possono essere indicate secondo quanto riportato nella Tab. 1.

Effetti negativi possono insorgere a partire da 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In confronto ad altri componenti atmosferici o inquinanti atmosferici rilevanti per la salute, nel caso dell' O_3 e degli altri fotoossidanti il margine tra concentrazione di fondo e soglia d'azione è notevolmente ridotto e lascia poco spazio per la definizione di fattori di sicurezza [1-3, 9].

Da una valutazione sintetica dell'azione dei fotoossidanti (in riferimento all' O_3) risulta quanto indicato nella Tab. 2.

Fino a 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di O_3 quale valore medio per 30 min, anche tenendo conto di altri possibili fotoossidanti, sono da escludersi effetti nocivi per la salute.

Tabella 1. - Soglie d'azione dei fotoossidanti (O_3)

Concentrazione ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Sintomi
40-50 (immediatamente)	soglia olfattiva
200 (immediatamente)	irritazioni oculari
200-400 (diverse ore, talvolta per diversi giorni)	alterazioni morfologiche (animale)
200 (diverse ore)	riduzione della resistenza alle infezioni (animale)
200-740 (diverse ore)	inizio di disturbi della funzione polmonare
500 (1 h)	irritazioni del tratto respiratorio e senso di oppressione (saldatori)

Questo valore può riguardare anche periodi più lunghi. Secondo il parere della Commissione VDI (Associazione Tedesca degli Ingegneri), valori inferiori a $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di O_3 non rappresentano un rischio degno di nota purché essi non si manifestino più di una volta alla settimana [2].

Valori limite e di riferimento

Per la tutela della salute umana sono state stabilite concentrazioni massime tollerabili per l'esposizione professionale (valori MIK) da parte della Commissione VDI "Reinhaltung der Luft". Analoghe considerazioni valgono per i cosiddetti valori di riferimento fissati dall'ufficio regionale dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) a Copenhagen. Per quanto riguarda questi ultimi non si tratta di valori-limite, ma solo di valori raccomandati come standard nazionali relativamente alle varie situazioni di esposizione ed alle diverse condizioni economiche e sociali [2, 10]. La situazione è riportata nella Tab. 3.

Nella Repubblica Federale Tedesca la concentrazione massima permessa presente nei posti di lavoro ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è valida dal 1958. Il confronto con concentrazioni ambientali di O_3 ci mostra che questo valore può essere raggiunto in natura, anche se per brevi periodi. La Direttiva VDI 2310 (bollettino 15) dell'aprile 1987 stabilisce per

Tabella 2. - *Classificazione degli effetti dei fotoossidanti (riferimento: O_3)*

Oltre $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per diverse ore sono possibili effetti negativi
Fino a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ quale valore medio semiorario sono da escludersi danni per la salute sopportabile anche per periodi più lunghi di esposizione (standard minimo di prevenzione = criterio per la qualità dell'aria)
Fino a $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ senza notevoli rischi quale valore medio semiorario 1 x settimana

Tabella 3. - *Valori limite e di riferimento per la tutela della salute*

Valore MAK (8 h, posto di lavoro) $200 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{O}_3$
Valore a breve termine MIK (media semioraria), VDI 2310 4/87 $120 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{O}_3$
Valore di riferimento OMS (1987) $150\text{-}200 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{O}_3$ (1 h) $100\text{-}120 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{O}_3$ (8 h)

la tutela della salute solo un valore per l'esposizione a breve termine. La determinazione di un valore per l'esposizione a lungo termine non era stata ritenuta necessaria vista la forma particolare in cui si presentano l' O_3 ed i fotoossidanti. Attualmente per l' O_3 viene esaminato da parte degli enti regionali dei singoli Länder della RFT e dell'Ufficio Federale di Sanità (Bundesgesundheitsamt) un valore-soglia di avvertimento tra 120 e $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di O_3 .

I valori massimi permessibili di concentrazione previsti per la tutela della vegetazione tengono conto a loro volta della diversa sensibilità delle piante all' O_3 ed ai fotoossidanti. I valori limite di riferimento OMS differiscono a seconda della singola durata dell'immissione. Il confronto dei valori limite e di riferimento relativi alla tutela della salute umana e della vegetazione rivela che sono le piante ad essere particolarmente minacciate dall' O_3 e dai fotoossidanti (Tab. 4) [11, 12].

Raccomandazioni sanitarie e conseguenze

Nella RFT, in seguito all'introduzione proposta di valori-soglia di avvertimento ($120\text{-}300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di O_3), si discutono ora anche iniziative per possibili provvedimenti. L'Ufficio Federale di Sanità a Berlino raccomanda che, quando l' O_3 raggiunga livelli superiori a $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, le persone sensibili non si sottopongano ad attività faticose di lunga durata (per esempio certe persone sofferenti di asma, malattie cardiovascolari, allergie). Per quanto riguarda i sintomi manifestati da queste persone si possono osservare lacrimazione e cefalea, e, nel caso di concentrazioni più alte, anche dispnea. In queste occasioni si raccomanda di soggiornare al coperto.

Se la concentrazione dell' O_3 supera i $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ si raccomanda a tutta la popolazione di non svolgere attività faticose. Altrimenti si possono verificare i sintomi descritti precedentemente.

L'Ufficio Federale di Sanità ha raccomandato agli enti locali e regionali di rendere note le concentrazioni attuali (le quali, a causa della radiazione solare nel corso della

Tabella 4. - *Valori limite e di riferimento per la tutela della vegetazione*

Valori MIK/VDI 2310 progetto 8/87 ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{O}_3$)	Grado di resistenza				
	30 min	1 h	2 h	4 h	8 h
molto sensibile	300	150	120	100	80
sensibile	500	350	250	200	170
meno sensibile	1000	500	400	350	300
Valori di riferimento OMS (1987)					
$200 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{O}_3$ (1 h)					
$65 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{O}_3$ (24 h)					
$60 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{O}_3$ (periodo vegetativo: 100 d)					

giornata, assumono valori più alti fra le 11:00 e le 18:00) alla stampa ed alle stazioni radiofoniche e televisive. Questo non è un avvertimento diretto alla popolazione complessiva, ma solo ai gruppi di persone sensibili di cui si è detto sopra.

Infine, per quanto riguarda la tossicologia dell'O₃ e di altri fotoossidanti, rimane da evidenziare che la maggior parte delle indagini finora svolte si riferisce solo al primo. Sarebbe quindi interessante ampliare i rilevamenti relativi all'esposizione, ma anche esaminare maggiormente gli effetti di combinazione delle varie sostanze e la loro azione

su gruppi a rischio. La riduzione degli inquinamenti da O₃ e da fotoossidanti conseguenti all'attività antropica può essere conseguita tramite una riduzione dei precursori, cioè degli ossidi di azoto e degli idrocarburi. Un primo passo per una riduzione efficace dell'inquinamento da fotoossidanti potrebbe essere ragionevolmente l'introduzione in tempi brevi del catalizzatore trivalente per gli autoveicoli in tutta Europa.

Ricevuto il 19 ottobre 1989.
Accettato il 22 marzo 1990.

BIBLIOGRAFIA

1. UMWELTBUNDESAMT. 1983. Luftqualitätskriterien für photochemische Oxidantien. Erich Schmidt Verlag, Berlin. (Berichte 5/83).
2. VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. 1987. Richtlinie 2310, Blatt 15. *Maximale Immissions-Werte zum Schutze des Menschen*. VDI Verlag, Düsseldorf.
3. DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT. *Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten*. Hrsg. D. Henschler. Verlag Chemie, Weinheim. (Loseblattsammlung).
4. BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT. 1987. *Auswirkungen der Luftverunreinigungen auf die menschliche Gesundheit*. (Bericht für die Umweltministerkonferenz vom 8/5/1987).
5. KIRCHNER, M. & MINERBI, S. 1989. Un'ipotesi sul deperimento di boschi in ambiente alpino. *Monti e Boschi* 40: 4-10.
6. WAGNER, M. 1989. Anthropogenes Ozon. Eine Kurzdarstellung gesundheitlicher und allgemeiner Aspekte. *Bundesgesundheitsblatt* S. 266, 7/1989.
7. DER RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN. 1988. *Umweltgutachten 1987*. Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart und Mainz.
8. MENZEL, D.B. 1984. Ozone: an overview of its toxicity in men and animals. *J. Toxicol. Environ. Health* 13: 183-204.
9. BUNDESGESUNDHEITSAMT (Berlin). 1989. *Angemessene Reaktionen auf erhöhte Ozonkonzentrationen in Bodennähe (Sommersmog)*. (Pressedienst 33/1989).
10. DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT. Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. 1989. *Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und biologische Arbeitsstofftoleranzwerte*. Mitlg. 25. Verlag Chemie, Weinheim.
11. VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. 1987. Richtlinie 2310, Blatt 6 (Entwurf). *Maximale Immissions-Werte zum Schutze der Vegetation*. VDI Verlag, Düsseldorf.
12. WORLD HEALTH ORGANIZATION. 1987. WHO Regional Office for Europe. *Air quality guidelines for Europe*. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen. (WHO Regional Publications, European Series 23)