

BERICHTE UND MITTEILUNGEN
LONDON-SMOG UND LOS ANGELES-SMOG

Mit 1 Tabelle

WILHELM KUTTLER

Summary: London-Smog and Los Angeles-Smog.

Low-pressure gradient weather patterns may, depending on the type of immission and the intensity of radiation, cause two different types of smog. The London-smog mostly occurring in the winter months consists of a mixture of gaseous and solid aerosoles as well as of natural fog. The Los Ange-

les-smog, which is relatively dry, is formed only during sunny sommerdays by photo chemical process. As these two smog types are not exclusively limited to the two cities mentioned above it is suggested that for a large scale geographical application of these two terms a distinction be made according to the respective indicators of the two smog types.

Luftverunreinigungen unterschiedlichster Zusammensetzung als Folge industriellen Wirtschaftens gehören schon seit langer Zeit zum integrierten Bestandteil der unteren Luftschichten über Ballungsgebieten.

Die einmal aus den Verbrennungsräumen freigesetzten Emissionen aus Industrie, Kleingewerbe, Hausbrand und Straßenverkehr werden im wesentlichen in ihrer Ausbreitung und Verdünnung, ihrem Abtransport und ihrer chemischen Veränderung durch die Einflußnahme der meteorologischen Elemente gesteuert, die in Form der Sonnenstrahlung, der Temperatur, der Windgeschwindigkeit und -richtung sowie der Temperaturschichtung der unteren Troposphäre auf die Luftverunreinigungen einwirken können.

Einer groben Einteilung zufolge lassen sich von meteorologischer Seite her zwei Typen von Wetterlagen unterscheiden, bei denen die genannten meteorologischen Elemente gänzlich unterschiedliche Durchlüftungsverhältnisse der unteren Luftschichten bewirken können:

Als austauschstark oder austauschschwach stehen sich diese Wetterlagen gegenüber.

Der austauschschwache Wetterlagen-Typ wird durch das Vorherrschen eines stabilen gradientschwachen Hochdruckwetters charakterisiert, das neben der Windarmut die Bildung von Boden- und/oder Absinkversionen fördert.

Häufig treten dabei in der bodennahen Kaltluftschicht hohe, zu Nebel führende Luftfeuchtigkeitswerte auf, während oberhalb der Inversion bei höheren Temperaturen klare Luft mit guter Sicht vorherrscht.

Dauern diese Witterungsverhältnisse über mehrere Tage an, so kann die Atemluft mit sichtmindernden Schadstoffen angereichert werden, die unabhängig ihrer Herkunft und Entstehung allgemein mit dem Begriff Smog belegt werden.

1. Smog als Kennzeichen starker Luftverschmutzung

Der Begriff Smog wurde erstmals im Jahre 1905 (MC CORMACK, 1971) als Zusammensetzung der englischen Wörter für Rauch (smoke) und natürlichen Nebel (fog) zur Charakterisierung der besonders in den Wintermonaten zeitweise stark verschmutzten Luft der Stadt London verwendet.

Während dieser Begriff zunächst vorwiegend zur Beschreibung der lufthygienischen Verhältnisse in London herangezogen wurde, fand er in der Folgezeit jedoch globale Verwendung immer dann, wenn in industriellen Ballungsgebieten eine Akkumulation luftfremder Stoffe unter dem Einfluß einer austauscharmen Wetterlage erfolgte.

Extreme Beispiele hierfür sind in den „Smog-Katastrophen“ zu sehen, die aus den industriellen Ballungsräumen Großbritanniens (London, Januar und Dezember 1924; Dezember 1952 und 1962), Belgiens (Maastal, Dezember 1930), Nordamerikas (Donora, Oktober 1948) sowie Westdeutschlands (Ruhgebiet, Dezember 1962) gemeldet wurden.

Die wesentlichen Ursachen des Auftretens dieser Perioden starker Luftverschmutzung, die teilweise eine signifikante Erhöhung der Sterberaten nach sich zogen, lagen in den meisten Fällen in einer über das erträgliche Maß hinausgehenden Konzentrationserhöhung der

Rauch-, Ruß- und Schwefeldioxidanteile, die bei gleichzeitigem Vorherrschen von natürlichem Nebel definitionsgemäß Smog ergaben.

Mit der in nachfolgenden Jahren einsetzenden breiten Benutzung dieses Begriffes jedoch, trat eine fortschreitende Entfremdung von der ursprünglichen Bedeutung des Wortes Smog als „Rauchnebel“ auf. Natürlichen Nebel sah man häufig nicht mehr als eine unbedingte Bildungsvoraussetzung an, wenn es darum ging, hohe anthropogen bedingte Trübungserscheinungen im industriellen Luftraum zu charakterisieren. So überrascht es nicht, daß auch die in den Sommermonaten der 40er Jahre dieses Jahrhunderts erstmals im Stadtgebiet von Los Angeles auftretenden Luftverunreinigungen, die weder aus den Emissionen verbrannter Kohleprodukte noch aus deren Mischung mit natürlichem Nebel bestanden, mit dem Begriff Smog belegt wurden. Die sich im Vergleich zu den bekannten Smogerscheinungen Mitteleuropas ergebenden Unterschiede in geographischer, klimatologischer und luftchemischer Hinsicht führten ursächlich zu einer Klassifizierung in zwei Smogtypen.

Dabei traten die beiden Städte, in denen die unterschiedlichen Smogerscheinungen zum erstenmal nachgewiesen worden waren, namensgebend für die Typisierung auf. Der Smog des London-Typs und der des Los Angeles-Typs fanden fortan Eingang in die Literatur.

2. Charakteristika der Smogtypen

a) Der Smog vom London-Typ

Der berühmte Londoner Stadtnebel tritt im wesentlichen als „feuchter schwefelsaurer“ Smog (BECKER 1971) in Erscheinung und zeichnet sich neben anderen charakteristischen Kennzeichen und Auswirkungen insbesondere dadurch aus, daß sich die an Abgasen und Kondensationskernen reiche Luft mit natürlichem Nebel vermischt und neben außerordentlich starken Sichtminderungen hohe Gesundheitsgefährdungen unter der Bevölkerung hervorrufen kann.

Die gasförmigen und partikelgebundenen Immissionen entstehen hauptsächlich aus den bei der Verbrennung von Kohle freiwerdenden Schadstoffen.

Hierunter fallen insbesondere Schwefeldioxid, Rauch und Ruß. Neben der Messung der partikelförmigen Bestandteile werden auch die gasförmigen Inhaltsstoffe dieses Smogtyps registriert. Da in diesem Zusammenhang das Schwefeldioxid neben zahlreichen anderen Immissionen in einer relativ hohen Konzentrationsbeteiligung auftritt, wurde es als Leitgas, also als Indikator zum Nachweis dieses Smogs verwendet.

Verantwortlich für die maximalen Schadstoffkonzentrationen in heizungsintensiven Winterhalbjahren ist ein verstärkter Ausstoß an Schadstoffen bei gleichzeitigem Vorherrschen austauscharmer Witterungsabschnitte. Da hierdurch ein Übermaß an Kondensationskernen dem städtischen Luftraum zur Verfügung gestellt wird, läßt sich eine Nebelbildung nicht erst bei einer relativen Luftfeuchte von nahezu 100%, sondern schon bei 85% oder 90% beobachten; Werte, die gerade aufgrund der meernahen Lage Londons häufig erreicht werden.

b) Der Smog vom Los Angeles-Typ

Die Entstehungsursachen des Los Angeles-Smogs sind im wesentlichen in dem hohen Ausstoß der bei der Verbrennung von Erdöl und seinen Derivaten freigesetzten Abgase zu sehen.

Emitenten dieser an den Verbrauch von Erdöl gebundenen Luftverunreinigungen sind in erster Linie Kraftfahrzeuge sowie petrochemische Betriebe und Müllverbrennungsanlagen.

Neben Kohlenwasserstoffen und anderen oxidierenden Verbindungen sind an der Zusammensetzung dieser Luftverunreinigungen im wesentlichen Stickstoffoxide beteiligt, aus denen sich durch Reaktion mit dem Luftsauerstoff Stickstoffdioxide bilden.

Bei intensiver Sonnenstrahlung führt das hohe Absorptionsvermögen der Stickstoffdioxide im Bereich des photochemisch wirksamen Teils des Sonnenspektrums ($\lambda = 290-400$ nm) zur Spaltung der Moleküle. Der bei diesem Vorgang neben dem Stickstoffmonoxid freiwerdende atomare Sauerstoff reagiert innerhalb kürzester Zeit mit dem Luftsauerstoff, wobei chemisch aggressives Ozon entsteht¹⁾.

Die hohe Konzentrationsbeteiligung des Ozons am Los Angeles-Smog, der darüber hinaus aus zahlreichen anderen chemischen Verbindungen besteht, führte dazu, daß Ozon als Leitkomponente, also als Indikator zum Nachweis dieses Smogs verwendet wird.

Da der Sonnenstrahlung ein wesentlicher Einfluß bei der Smogbildung zukommt, finden auch die für diesen Smogtyp synonym gebrauchten Begriffe „photochemischer Smog“, verkürzend „Photo-Smog“, bei der Charakterisierung der Luftverunreinigungen in Los Angeles Anwendung.

Die geographische und topographische Lage von Los Angeles im Bereich des subtropisch-randtropischen Hochdruckgürtels (34° n.Br.) bringt es mit sich, daß die Voraussetzungen für die Bildung austauscharmer Wetterlagen in den „fall months“ (Monate der Hitze und Dürre von August bis November; Angaben nach SCHWARZ 1963) vermehrt gegeben sind.

Temperaturinversionen und Windarmut begünstigen bei anhaltend einstrahlungsreichem Hochdruckwetter in dem dreiseitig von Bergen umschlossenen, meerwärts offenen Stadtgebiet den Ablauf der photochemischen Reaktionen innerhalb des städtischen Luftraumes. Ausgeprägte Jahressgänge der Ozonkonzentrationen mit Maxima in den Sommermonaten und Minima in den Wintermonaten sind dann die Folge.

Wie auch anderenorts nachgewiesen werden konnte, besteht eine direkte Abhängigkeit der Produktionsrate an Ozon zu der eingestrahelten Intensität des Sonnenlichtes (BECKER, DEIMEL, GEORGII & SCHURATH 1977). Vergleiche zwischen Tagesgängen bei bedecktem und klarem Himmel bestätigen dies (BOŽIČEVIĆ et al. 1976). Da Ozon als starkes Oxidationsmittel wirkt, sind bei Erreichen bestimmter Konzentrationsschwellenwerte unter der Bevölkerung schon in solchen Situationen

vermehrt Augenreizungen und Tränenfluß beobachtet worden. Darüber hinaus verursacht der Los Angeles-Smog Pflanzenschäden mit typischen Flecken auf der Blattoberseite, die im Fall der Einwirkung von Ozon als „Ozonflecken“ bezeichnet worden sind.

3. Vergleichende Betrachtung beider Smogtypen

Austauscharme Wetterlagen sind sowohl für den im Sommer auftretenden Los Angeles-Smog als auch für den sich in den Wintermonaten bildenden London-Smog die meteorologischen Voraussetzungen, die zu einer Akkumulation der Schadgase führen.

Der London-Smog, der während mehrtägiger winterlicher Inversionswetterlagen bei meist nur geringen Luftbewegungen und verstärkter Nebelbildung auftritt (vgl. Tabelle 1), führt zu charakteristischen Tagesgängen der Schwefeldioxidkonzentrationen.

Die in den Morgen- und Abendstunden maximalen Immissionskonzentrationen werden einerseits auf den morgendlichen Arbeitsbeginn in der Industrie und der Zunahme des Hausbrandes zurückgeführt, andererseits aber auch auf die nur zögernd einsetzende vormittägliche Austauschbelebung sowie deren erneute Behinderung nach Sonnenuntergang.

Die gasförmigen und an Partikel gebundenen Emissionen entstammen im wesentlichen der Verbrennung von Kohle- und Ölprodukten und können bei Erreichen hoher Schadstoffkonzentrationen unter gesundheitlich labilen Bevölkerungsgruppen zu ernststen Schädigungen der Atmungsorgane führen.

Gänzlich andere Ursachen und Kennzeichen charakterisieren dagegen Luftverunreinigungen vom Typ des Los Angeles-Smogs (vgl. Tabelle 1), der sich unter dem Einfluß sommerlicher austauscharmer Wetterlagen bilden kann. Bei relativ hohen Lufttemperaturen und geringer Luftfeuchtigkeit setzt die UV-Strahlung photochemische Reaktionen in Gang, wodurch letzten Endes chemisch aggressive Verbindungen (Oxidantien) entstehen, deren bekannteste Komponente das Ozon ist.

Konzentrationspitzen dieses Smogtyps treten in Abhängigkeit des mittäglichen Sonnenhöchststandes mit einer gewissen zeitlichen Verschiebung zum frühen Nachmittag auf. Augenreizungen unter der Bevölkerung und großflächige Schäden an der Vegetation werden in diesem Zusammenhang vielfach beobachtet.

Während der Smog vom London-Typ schon seit langer Zeit global innerhalb der winterlichen Heizperiode als lufthygienische Belastung des bodennahen Austauschraumes auftreten kann¹⁾, schien die Bildung des Smogs vom Los Angeles-Typ aufgrund der Notwendigkeit hoher sommerlicher Einstrahlungsintensitäten auf die Breitenlage des Stadtgebietes von Los Angeles (34° n.Br.) beschränkt bleiben zu müssen. Doch als sich in den Sommermonaten des Jahres 1965 in den Bereichen der Randstad Holland die Vermutung bestätigte, daß photochemisch gebildete Oxidantien Pflanzenschäden in der Umgebung von Ballungsgebieten verursachten (GUICHERIT 1973),

¹⁾ Auf die weiteren wichtigen chemischen und photochemischen Reaktionsschritte und -mechanismen – etwa die Wirkung der Kohlenwasserstoffe – kann an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden (vgl. hierzu z. B. BECKER 1971).

¹⁾ Zuletzt am 17. 1. 1979 in solchen Schwefeldioxidkonzentrationen im westlichen Ruhrgebiet, daß in dieser Region zum erstenmal Smogalarm ausgelöst wurde.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der charakteristischen Kennzeichen und Wirkungen von Los Angeles-Smog und London-Smog¹⁾

Comparison of the characteristic features and effects of the Los Angeles-smog and London-smog

Kennzeichen/Wirkung	Los Angeles-Smog (Ozon-Smog)	London-Smog (Schwefeldioxid-Smog)
Lufttemperatur	25°C bis 35°C	-3°C bis +5°C
relative Luftfeuchte	unter 70%	über 80%
Windgeschwindigkeit	unter 2 m/sec	unter 2 m/sec
Sicht	800 m bis 1600 m	0 m bis 30 m
notwendige Strahlungsbedingungen	Erhöhung der UV-Strahlung ($\lambda \leq 400$ nm)	nicht notwendig einflußnehmend
Inversionstyp	Absinkinversion	Boden-/Absinkinversion
häufigstes Auftreten	Sommer-Frühherbst (Juli-Oktober)	Winter (November-Januar)
Schadstoffindikatoren	Ozon (Stickoxide, Kohlenwasserstoffe)	Schwefeldioxid und Umwandlungsprodukte, Ruß
Bildung vorwiegend durch Verbrennen von	Öl und Benzin	Kohle und Ölprodukten
Entstehung	innerhalb kurzer Zeit in der Luft durch photoinduzierte Reaktionen	in den Verbrennungsräumen der Emittenten
Art der Luftverunreinigung	überwiegend gasförmig	partikelgebunden und gasförmig
Erreichen der maximalen Konzentrationen	sommerlicher, mittäglicher Sonnenhöchststand (Sommersmog)	morgens und abends im Winter (Wintersmog)
Wirkt chemisch	oxidativ	reduktiv
Wirkung auf Mensch, Pflanze und Materialien	Bindehautreizung; Ozonflecken bzw. Blattpigmentschäden; Gummierzersetzung	Reizung der Atemorgane; Schädigung von Nadelbäumen; Zersetzung von Sandstein

¹⁾ Die klimatologischen Daten folgen z. T. den Angaben von GEORGI (1963)

wurde diese neue Art der Luftverunreinigung auch in Europa Gegenstand intensiver Forschung.

In den folgenden Jahren zeigte sich, daß sich nicht nur in den niederländischen Industriegebieten während strahlungsreicher Sommertage Luftverunreinigungen nach Art des Los Angeles-Smogs mit erhöhten Ozon-Konzentrationen bildeten, sondern auch in anderen europäischen Ballungsgebieten.

Erhöhte sommerliche Ozon-Konzentrationen wurden auch aus Übersee gemeldet, wie Messungen in Sydney und Tokio deutlich machten (BRASSER, GUICHERIT & HUYGEN 1977).

Aufgrund der Tatsache, daß Luftverunreinigungen sowohl in der Art des London- als auch des Los Angeles-Smogs inzwischen nicht mehr ausschließlich auf diese beiden Stadtgebiete beschränkt sind und bei Erfüllung der genannten meteorologischen Voraussetzungen nunmehr erdweit in industriellen Ballungsräumen nachgewiesen werden können, sollten m.E. die zur Klassifizierung verwendeten Begriffe London-Smog und Los Angeles-Smog aufgegeben werden.

Stattdessen wird insbesondere im Hinblick auf eine großräumige geographische Anwendung, die ja aufgrund des globalen Auftretens beider Smogtypen gefordert werden muß, eine Unterscheidung nach den jeweils verwendeten Indikatoren bzw. Leitzgasen beider Smogtypen vorgeschlagen.

Aus dem während strahlungsreicher Sommermonate auftretenden Smog des Los Angeles-Typs wird dann terminologisch ein Ozon-Smog und aus dem winterlichen Pendant, dem Smog des London-Typs ein Schwefeldioxid-Smog.

Die Verwendung dieser neuen Begriffe brächte neben einer klareren Erfassung der sowohl genetisch als auch in ihrem Auftreten verschiedenen Typen von Luftverunreinigungen darüber hinaus die Vorteile, daß erstens der Name des Smogtyps eine der wesentlichen luftverunreinigenden Komponenten als Indikator einschlösse und daß zweitens die Bildungsbedingungen beider Typen von Luftverunreinigungen anhand der neuen Begriffe schon indirekt erkannt werden könnten.

Literatur

- BECKER, K. H.: Physikalisch-chemische Probleme der Luftverunreinigung. - *Chemie in unserer Zeit* 5 (1), 1971, 9-18.
- BECKER, K. H., DEIMEL, M., GEORGII, H.-W. & SCHURATH, U.: Kolloquium über modellhafte Untersuchungen zur Bildung photochemischer Luftverunreinigungen im Raum Köln/Bonn. - Maschinenschriftl. Durchgeführt am Institut für Physikalische Chemie der Univ. Bonn in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt Berlin, 1977.
- BOŽIČEVIĆ, Z., KLASINC, L., CVITAŠ, T. & GÜSTEN, H.: Photochemische Ozonbildung in der unteren Atmosphäre über der Stadt Zagreb. - *Staub-Reinhaltung der Luft* 36 (9), 1976, 363-366.
- BRASSER, L. J., GUICHERIT, R. & HUYGEN, C.: The occurrence of photochemical Smog-Formation in Western Europe. - *VDI-Berichte*, Düsseldorf Nr. 270, 1977, 25-32.
- GEORGII, H.-W.: Die Belastung der Großstadtluft mit gasförmigen Luftverunreinigungen. - *Umschau in Wissenschaft und Technik* 24, 1963, 757-762.
- GUICHERIT, R.: Photochemical Smog-Formation in the Netherlands. - *Proc. third International Clean Air Congress*. Düsseldorf, 1977, C 98 - C 101.
- MC CORMACK, B. M.: Introduction of the Scientific Study of Atmospheric Pollution. - Dordrecht (Niederlande), 1971.
- SCHWARZ, K.: Probleme der Luftverunreinigung in den USA - Vergleich mit Deutschland. - *Staub-Reinhaltung der Luft* 23 (3), 1963, 160-171.