

Diss. ETH No. 11268

**VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS
IN THE AIR OF THE ENVIRONMENT OF THE
AIRPORT ZURICH-KLOTEN AND
RISK ASSESSMENT OF THESE POLLUTANTS**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH
For the degree of
DOCTOR OF NATURAL SCIENCES

presented by
STEFAN SCHERER
Dipl. Chem. ETH
born April 4, 1965
Hochdorf LU,

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Ch. Schlatter, examiner
Prof. Dr. H.-U. Wanner, co-examiner
H. Rothweiler, co-examiner

Zurich 1996

Summary

In Switzerland, urban and suburban air pollution is found in concentrations sufficient to cause adverse health effects in human beings. In addition to meteorological conditions, local polluters play a leading role in determining the amount and composition of air pollution in a region.

In this study the toxicological influences of local sources of **volatile organic compounds (VOC)** in the vicinity of Zurich-Kloten airport were investigated.

The extent of VOC pollution of the ambient air was assessed on a basis of both short- and long-term exposures to ambient VOC. Measurements of VOC emission by air traffic and industry showed the composition and amount of VOC emitted. Health risk assessment was corroborated by simple emission models.

Long-term sampling techniques were applied to measure annual average VOC pollution at four typical sites in each of the three municipalities of Kloten, Opfikon-Glattbrugg and Rümlang. Short-term measurements were conducted in Kloten for 7 days and during odour annoyance situations reported by Kloten residents.

In the vicinity of the airport, **ambient VOC air pollutants** were found in the same amount as in other urban and suburban areas in Switzerland. From the human **toxicological point of view**, the direct effects of other VOC were found to be of minor importance, apart from chronic exposure to benzene. The intake of ambient benzene at an annual average concentration of $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ found in the vicinity of the airport and extrapolated for the Swiss population would cause about 2 cases of leukaemia per year (Unit Risk, $4 \cdot 10^6$).

The distribution of ambient VOC was found to correlate with road traffic emissions. At a road site in Kloten, short-term VOC concentrations exceeded the lowest annual average VOC values 15-fold. The highest VOC concentrations were found during winter in inversion layers. In Kloten, **short-term peak concentrations and odour annoyances** caused by air traffic as well as industrial emissions were noted especially during the morning hours. VOC concentrations measured during times with bad odour and calculated on a basis of worst-case scenarios do not indicate acute toxic effects on humans. Nevertheless, on account of psychosomatic irritations odour annoyances are able to effect physiological effects in humans.

Measures to reduce VOC and odour emissions require that their sources be identified. In the vicinity of an industrial site in Kloten, a tar-like odour frequently caused annoyances. The odour emitter was identified by comparing VOC

emission measurements at the industrial site and short-term measurements in odorous ambient air. The source could be eliminated by technical modifications.

Air traffic VOC emissions were studied by **emission measurements** in the exhaust of aircraft engines and *auxiliary power units* (APU) as well as during aircraft refuel. During emission measurements at the *Swissair* aircraft engine test cell, the start-up of modern aircraft engines was found to emit about 1 kg of VOC within a few seconds. Odorous VOC were identified in the exhaust emitted during the start-up of aircraft engines. These VOC emissions are jointly responsible for odour annoyances that occur in connection with air traffic. At Zurich-Kloten airport, VOC emissions during the start-up of aircraft engines were calculated to be 252 t/a; that is about 1/4 of total VOC emissions. In contrast to the emissions of warm aircraft engines in the *Landing and Take-Off* (LTO) cycle, the emissions at the start-up of the engines were not controlled by the *International Civil Aviation Organisation* (ICAO) and until now have not received sufficient attention. Compared with VOC in aircraft engine exhaust, emissions of aircraft refuel and APU are of minor importance. Nevertheless, with more than 10 t/a they cannot be neglected.

The composition of air traffic VOC emissions showed a relatively high alkane content. N-dodecane, an unburned component of kerosene, was used as an index compound to describe the effects of air traffic VOC emissions on ambient air pollution. Depending on the local exposure at the individual sampling sites, at most 9–34 % of average ambient benzene concentrations in Kloten were found to be caused by air traffic emissions.

Improvements in aircraft engine emissions, and especially the time to ignition of aircraft engines at start-up, bring reductions of emitted VOC and defuse odour annoyances in Kloten. In the vicinity of Zurich-Kloten airport, measures concerning road traffic emissions are required to reduce VOC pollution in ambient air.

Zusammenfassung

In Städten und Agglomerationsgemeinden der Schweiz werden Luftschadstoffe in Konzentrationen gefunden, die bei empfindlichen Menschen zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen können. Die regionale Luftschadstoff-Belastung wird von meteorologischen Gegebenheiten sowie von lokalen Emittenten beeinflusst. In dieser Studie wurde in der Umgebung des Flughafens Zürich-Kloten der Einfluss der lokalen Quellen von **flüchtigen organischen Verbindungen (VOC)** auf die Luftqualität untersucht. Zur Beurteilung der regionalen VOC Belastung in der Luft wurden sowohl kurzzeitige wie langzeitige Expositionen berücksichtigt. Abgasmessungen beim Flugbetrieb sowie bei möglichen VOC Quellen in der Industrie zeigten Zusammensetzung und Umfang der emittierten VOC. Anhand von einfachen Emissionsmodellen konnte aus diesen Daten das Gesundheitsrisiko für die Bevölkerung der Region beurteilt werden.

In den Gemeinden Kloten, Opfikon-Glattbrugg und Rümlang wurde mit Langzeitmessungen an je vier, für die Gemeinden typischen Standorten die durchschnittliche VOC Belastung während einem Jahr kontinuierlich erfasst. Kurzzeitmessungen erfolgten in der Gemeinde Kloten während sieben über das Jahr verteilten Messtagen sowie zusätzlich während Situationen mit Geruchsbelästigungen, aufgrund von Klagen durch Einwohner von Kloten.

Die gemessenen **VOC Immissionskonzentrationen** in der Umgebung des Flughafens entsprachen Konzentrationen, wie sie auch in anderen dichtbesiedelten Gebieten der Schweiz gefunden wurden. Vom **humantoxikologischen Standpunkt** aus gesehen, spielen – neben der chronischen Exposition gegenüber Benzol – die durch die übrigen gemessenen VOC verursachten Effekte eine untergeordnete Rolle. Durch die Aufnahme von Benzol aus der Luft in der Flughafenregion würden – extrapoliert auf die ganze Schweiz – bei einer durchschnittlichen Aussenluftkonzentration von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ jährlich ungefähr 2 Fälle von Leukämie verursacht (Unit Risk, $4 \cdot 10^6$).

Die Verteilung der VOC Belastung auf den Gemeindegebieten zeigte eine direkte Abhängigkeit zur Strassenexposition. Bei einer Strassenkreuzung in Kloten wurden die tiefsten durchschnittlichen VOC Konzentrationen kurzzeitig um mehr als den Faktor 15 übertroffen. Die höchsten VOC Konzentrationen wurden während den Wintermonaten in Inversionsschichten gefunden. **Kurzzeitige VOC Spitzenkonzentrationen** und **Geruchsbelästigungen** durch den Flugbetrieb sowie durch Emissionen aus dem Industriequartier traten in Kloten vor allem

morgens auf. Die bei Geruchsepisoden gemessenen VOC Immissionskonzentrationen und die auf "Worst Case" Situationen basierend berechneten Werte lassen für den Menschen neben den Geruchsbelästigungen keine akuten Effekte erwarten. Allerdings können Gerüche, wie sie in Kloten häufig auftreten, auch alleine aufgrund psychosomatischer Irritationen beim Menschen zu *physiologischen Beschwerden* führen.

Im Buchhaldenquartier, einem Wohnquartier in Kloten, führte Teergeruch wiederholt zu massiven Belästigungen. Anhand von VOC Messungen im Wohnquartier und bei der Industrie konnte der Verursacher des Teergeruchs identifiziert werden. Die Quelle wurde durch technische Änderungen eliminiert.

Zur Charakterisierung der **VOC Emissionen** aus dem Flugbetrieb wurden neben den Emissionen der Flugzeughaupttriebwerke, auch die Emissionen der Hilfstriebwerke (APU) sowie die Emissionen bei der Flugzeugbetankung untersucht. Messungen auf dem Triebwerkprüfstand der Swissair zeigten, dass der Start eines modernen Flugzeugtriebwerkes innerhalb von Sekunden ca. 1 kg VOC Emissionen verursacht. In diesen VOC Emissionen wurden geruchsaktive Substanzen gefunden. Die VOC Emissionen während dem Triebwerkstart sind für den im Zusammenhang mit dem Flugverkehr beobachteten Geruch mitverantwortlich und betragen ca. 252 t/a, d.h. ungefähr 1/4 der gesamten VOC Emissionen des Flughafens. Im Gegensatz zu den Emissionen der warmen Flugzeugtriebwerke im *Landing and Take-Off (LTO)* Zyklus unterliegen die Emissionen der Triebwerkstarts nicht der Kontrolle durch die *International Civil Aviation Organisation (ICAO)* und fanden bis anhin wenig Beachtung. Die Emissionen bei der Flugzeugbetankung und die Emissionen der APU sind neben den Emissionen der Flugzeughaupttriebwerke von untergeordneter Bedeutung, dürfen aber bei mehr als 10 t/a nicht vernachlässigt werden.

Die VOC Zusammensetzung der Flugzeugemissionen zeigte einen relativ hohen Alkananteil. Als Leitsubstanz wurde n-Dodecan, eine unverbrannte Kerosinkomponente, verwendet, um die Auswirkungen der Emissionen des Flugverkehrs auf die Luftqualität der Flughafenregion abzuschätzen. Es konnte gezeigt werden, dass der Jahresmittelwert an Benzol in der Luft von Kloten je nach Standort zu maximal 9 bis 34 % durch den Flugverkehr verursacht wurde.

Verbesserungen bei den Emissionen der Flugzeugtriebwerke, insbesondere bei der Zündwilligkeit der Triebwerke, könnten neben der VOC Reduktion auch eine Entschärfung der Geruchsbelastung in Kloten bewirken. Für eine Reduktion der VOC Immissionskonzentrationen in der Region des Flughafens Zürich-Kloten sind allerdings auch Massnahmen beim Strassenverkehr erforderlich.