

Diss. ETH

Diss. ETH No. 10973

Ex. B

Experimental Study on the Dispersion of Instantaneously Released Dense Gas Clouds

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES

presented by

HANS-PETER GRÖBELBAUER

Dipl. Masch.-Ing. ETH
born July 11th, 1965
citizen of Austria



Cat E

Accepted on the recommendation of
Prof. Dr. T.K. Fanneløp, examiner
Prof. Dr. T. Dracos, co-examiner
1995

Abstract

An experimental investigation on the spreading of gravity driven dense-gas flows is presented. In contrast to passive air pollutants that are dispersed by the wind field, the spreading and dilution of clouds heavier than air are strongly influenced by buoyancy forces. Dense gas clouds move as stable layers along the ground. The negative buoyancy causes the mixing process, with ambient air, to be strongly damped. The present study, of the associated flow phenomena, is primarily experimental, but some comparisons with analytical and numerical results are included.

Some gases of industrial interest (e.g. Freon R11) have much higher densities than air. Strong fronts are formed when such gases are released in air. For fronts of high density ratio the Boussinesq approximation is not valid and the usual correlation for calculating the front velocity fails. In order to derive an improved correlation valid also for strong fronts, a special experimental facility was constructed. This allowed fronts with density ratios in excess of twenty to be studied. From the experimental data obtained a new correlation for the frontal velocity, in terms of a dimensionless density parameter, was established. The validity of this correlation was confirmed by detailed comparisons with analytical and numerical calculations.

Loss of containment of large volumes of common petroleum products such as liquefied methane or propane, will also produce dense gas clouds. The heating of such cold clouds is dominated by surface heat transfer rather than by the adiabatic mixing with entrained, ambient air. As a consequence, the gas concentrations can not be determined by temperature measurements alone. In the present study of cold clouds, concentrations as well as temperatures were measured. The concentration levels of interest for flammable

clouds are relatively high (of the order of per cent) and for the measurements a solid electrolyte probe was used, which allowed a sufficiently accurate resolution both in space and time. Higher entrainment rates than those observed for isothermal clouds were measured.

The problem of spreading of dense cold clouds was also studied by means of a shallow-layer code developed at our institute. Good agreement was obtained concerning frontal velocity, cloud temperature and gas concentration.

To establish the hazards potential of a dense-gas release outside the laboratory, consideration of topographical effects (including buildings and vegetation) is required. From a great variety of possible configurations two simple cases have been investigated, i.e. the flow of dense gases up and down uniform slopes and cloud blocking by means of two-dimensional fences. The influence of ground slope on the spreading behaviour was determined experimentally in the range -10° and $+6^\circ$. A parameter describing the blocking efficiency of safety fences was defined and quantified. On this basis, recommendations relevant in the design of safety barriers are given.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit stellt eine vorwiegend experimentelle Untersuchung des Ausbreitungsverhaltens gravitationsgetriebener Strömungen, insbesondere jenem schwerer Gase, dar. Schwergaswolken weisen, im Gegensatz zu passiven Luftschadstoffen, eine starke Eigendynamik auf. Sie werden nicht nur vom Windfeld bewegt, sondern erhalten wegen der erhöhten Dichte einen zusätzlichen Antrieb.

Der Dichteüberschuss gegenüber der Umgebungsluft bewirkt, dass sich eine Schwergaswolke entlang dem Boden ausbreitet, sowie dass sie, als Folge der stabilen Dichteschichtung, wesentlich langsamer mit Umgebungsluft durchmischt wird als eine passive Wolke.

Verschiedene Schwergase wie etwa einige Freone haben gegenüber Luft eine stark erhöhte Dichte. Für die bei der Freisetzung solcher Gase entstehenden starken Gasfronten versagt die herkömmliche Berechnungsmethode zur Ermittlung der Frontgeschwindigkeit. Dasselbe gilt auch für starke Leichtgasfronten, wie sie bei Bränden in Tunnels entstehen können, wenn sich heisse Rauchgase der Decke entlang ausbreiten. Durch Gasausbreitungsversuche in einem geschlossenen Kanal, wo durch geeignete Kombination jeweils zweier Gase Dichteverhältnisse von über zwanzig erzeugt wurden, konnte eine Korrelation für die Ausbreitungsgeschwindigkeiten starker Fronten in Abhängigkeit eines neuen, dimensionslosen Dichteparameters gefunden werden. Mit einfachen, bereits bestehenden integralen Theorien konnten Grenzwerte der Ausbreitungsgeschwindigkeiten sowohl für schwache als auch für starke Leicht- und Schwergasfronten bestätigt werden.

Industrielle Energieträger wie etwa verflüssigtes Methan- oder Propangas bilden bei einer störfallbedingten Freisetzung während Transport oder Lagerung eine entflammbare, kalte Schwergaswolke. Da sich die Temperaturmessung aufgrund der starken Erwärmung der Wolke infolge Wärmeübertragung vom Boden in die Wolke nicht

zur Bestimmung der Wolkenkonzentration eignet, wurde ein alternatives Verfahren zur Messung von Gaskonzentrationen in kalten Wolken evaluiert.

Die im Hinblick auf die Entzündbarkeit der Wolken interessanten Konzentrationen konnten mittels Feststoffelektrolyttechnik mit einer Ansprechzeit von 0.2 s zufriedenstellend bestimmt werden. Gegenüber isothermen Wolken wurde eine erhöhte Lufteinmischung festgestellt. Im weiteren konnte die Ausbreitung kalter Gaswolken auf horizontalem Boden mit einem bestehenden Programm, welches die instationären Flachwassergleichungen im zweidimensionalen Fall löst, simuliert werden.

Soll die Gefährdung der Umwelt nach einer Schwergasfreisetzung abgeschätzt werden, so ist nicht nur die Ausbreitung auf horizontalem Boden von Bedeutung, sondern es müssen auch reale topographische Elemente wie hügeliges Gelände, Bebauung oder Vegetation in die Betrachtung miteinbezogen werden. Von einer Vielzahl möglicher Anordnungen wurden zwei einfache Konfigurationen, die geneigte Ebene sowie der vertikale Zaun, ausgewählt und näher untersucht.

Der Einfluss sowohl positiver als auch negativer Geländeneigungen auf das Ausbreitungsverhalten und die Wolkenstruktur konnte im Bereich -10° bis $+6^\circ$ ermittelt werden.

Experimentelle Resultate zur Wirksamkeit von Schutzzaunanordnungen wurden durch analytische und durch numerische Berechnungen bestätigt, sodass Empfehlungen zum Einsatz von Sicherheitsbarrieren gegeben werden konnten.