

Diss. ETH. Nr. 8644

Laborversuche zur instationären Ausbreitung kalter Gaswolken

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE

ZÜRICH

vorgelegt von

FRANZ ZUMSTEG

dipl. Masch.- Ing. ETH

geboren am 11. November 1957

von Mettau (AG)

angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. T. K. Fanneløp, Referent

Prof. Dr. Ch. Trepp, Korreferent

1988

ADAG

Zusammenfassung

Viele Stoffe in der chemischen Industrie sowie verflüssigte Gase (LNG und LPG) verhalten sich bei einer Freisetzung als schwere Gase. Die Lagerung und der Transport dieser Stoffe in grossen Mengen bergen beträchtliche Gefahrenpotentiale. Die Forschung auf dem Gebiet der schweren Gase hat zum Ziel, diese Risiken besser abschätzbar zu machen und notwendige Vorkehrungen für Unglücksfälle vorzuschlagen.

Zur Durchführung von Versuchen zur instationären Ausbreitung kalter Gaswolken in grossem Massstab unter Laborverhältnissen wurde ein zweidimensionaler, weitgehend automatisierter Versuchsstand aufgebaut. Dieser Kanal ermöglichte die Untersuchung verschiedener Verdampfungsarten des verwendeten flüssigen Stickstoffs sowie der Ausbreitung nach verschiedenen Freisetzungsweisen. Die Versuche wurden in ruhiger Umgebungsluft über einer glatten, horizontalen und thermisch isolierten Ausbreitungsfläche durchgeführt. Mit eigens entwickelten, sehr schnellen Thermoelementen konnte die Temperatur im gesamten Ausbreitungsfeld über die ganze Versuchsdauer registriert werden. Im weiteren wurde die Geschwindigkeit in der Hauptschicht der Wolke sowie der Wassergehalt durch Probenentnahme bestimmt. Die Messung der Eispartikelgrösse in der Wolke führte zur Erkenntnis, dass Sedimentation und verzögerte Phasenübergänge ausgeschlossen werden können.

An einem kleineren Versuchsaufbau konnten die Vorgänge bei der Verdampfung von flüssigem Stickstoff untersucht werden. Die Ausbreitung des Kryogens direkt auf Wasser oder über einer dünnen, trennenden Folie wurde beobachtet und die Verdampfungsrate bestimmt. Mit diesen Daten konnte ein einfaches Verdampfungsmodell bestätigt werden.

Die Art der Verdampfung beeinflusst das anfängliche, treibende Potential der Wolke stark. Dieses wird durch Superheating und Wasseraufnahme um bis zu einem Fünftel reduziert. Die während der ganzen Ausbreitungsdauer mit der Frontgeschwindigkeit korrelierenden Werte des treibenden Potentials wurden im Maximalwert der Front gefunden. Die festgestellte starke Strukturierung der Dichte in Ausbreitungsrichtung, die trotz der thermischen Isolation des Kanalbodens durch Wärmeübergang aus dem Boden zustande kommt, macht klar, dass Box-Modelle, mit über das ganze Wolkenvolumen gemittelten Dichten, für kalte Wolken nicht zutreffend sind. Der Einfluss des Wärmeüberganges ist so dominant, dass aus den erfassten Messwerten der sehr viel schwächere Einfluss der Luftmischung auf die Wolkenerwärmung nicht quantifiziert werden konnte. Anhand der Reduktion des negativen Auftriebs von Schwergaswolken wird das unterschiedliche Verhalten von isothermen und kalten Wolken dargestellt.

Die dokumentierten Messwerte ermöglichen weitere Auswertungen und Modelltests.

Abstract

Many substances widely used in industrial processes produce negatively buoyant clouds when suddenly released in the atmosphere. The production, storage and transportation of these substances present potential risks. The goal of the present research task is to provide physical data useful in evaluating the associated hazards and the efficacy of proposed countermeasures.

To this end a series of large-scale laboratory experiments have been carried out in a two dimensional channel using liquefied nitrogen (LN_2) to simulate liquefied natural gas (LNG). The LN_2 was allowed to evaporate either in direct contact with water or with thermal contact only. The heat transfer rates for the two cases were found to be comparable and in agreement with a theoretical model proposed herein. The cold gas cloud which was produced was allowed to spread over a smooth, flat low-conductivity surface. A large number of sensors were used to determine the cloud velocity, water content and temperature. Water occurred in the form of ice and the particle size and distribution were determined using spectroscopic methods.

From the known temperature of evaporation for LN_2 one can determine a theoretical total negative buoyancy. It was found that water pickup and superheat reduce this value by about 20%. The measured rate of spreading was found to correlate well with the actual negative buoyancy. Front detachment was observed in certain cases. From the detailed measurements, the complete temperature and density structure of the cloud could be determined. The results show that estimates of the hazard potential from cryogenic spills should include the losses in negative buoyancy associated with mass and heat transfer during the evaporation and spreading phases.