

## Projekt A3: LUFTSCHLEIER IN EINER QUERSTRÖMUNG

### 1. Beteiligte wissenschaftliche Mitarbeiter

Kobus, Helmut, Ph.D., Oberingenieur am Institut für Hydromechanik, Projektleiter  
Honekamp, Hermann, Dipl.-Ing., Sachbearbeiter im SFB 80 seit 1.7.1970<sup>†)</sup>

### 2. Berichtszeitraum

1. April 1970 bis 31. Dezember 1971

### 3. Problemstellung

Für Luftschleier in stehenden Gewässern wurde vom Projektleiter ein analytisches Modell erarbeitet, das erstmals die Übertragung von Luftschleier-Modellversuchen auf Naturverhältnisse ermöglicht. Dieses analytische Modell soll auf Luftschleier in einer Querströmung erweitert und durch Versuche verifiziert werden. Es liefert sowohl die Voraussetzungen zur Beurteilung der Einsatzmöglichkeiten von Luftschleiern in Flüssen zur Beeinflussung von Ausbreitungs- und Transportvorgängen (wie zum Beispiel die örtliche Bekämpfung von Schlickablagerungen oder die Durchmischung von Dichteschichtungen infolge Temperaturunterschieds oder Feststoffgehalts) als auch verbesserte Unterlagen zur betriebssicheren Auslegung von Ölsperren, Schlick- und Salzwassersperren und Anlagen zur Eisfreihaltung oder Sauerstoffanreicherung.

### 4. Methode

Das Luftschleier-Strömungsfeld wird analytisch als Auftriebsstrahl in einer Grundströmung behandelt. Es werden integrale Ansätze mit empirischen Parametern eingeführt, die zum Teil aus der Literatur übernommen, zum Teil im Experiment ermittelt werden. Das resultierende Geschwindigkeitsfeld wird zur Verifizierung des analytischen Modells experimentell bestimmt. Die Anwendbarkeit der Ergebnisse auf große Wassertiefen wird überprüft.

### 5. Ergebnisse

#### 5.1 Analytischer Teil.

Eine Dimensionsbetrachtung liefert für das Strömungsfeld eines Luftschleiers in einer Grundströmung (unter Beschränkung auf Wasser und Luft sowie stets voll turbulente Strömungsverhältnisse)

$$\frac{u}{\sqrt[3]{g \cdot q_0}} = f \left[ \frac{x}{H + H_0} \ ; \ \frac{z}{H + H_0} \ ; \ \frac{H + H_0}{\sqrt[3]{q_0^2 / g}} \ ; \ \frac{U_H}{\sqrt[3]{g \cdot q_0}} \right]$$

wobei  $u$  die Geschwindigkeit am Punkt  $(x, z)$ ,  $g$  die Fallbeschleunigung  $q_0$  das zugeführte Luftvolumen pro Zeit- und Breitereinheit,  $U_H$  die Quergeschwindigkeit und  $H$  und  $H_0$  die Wassertiefe bzw. eine dem Luftdruck äquivalente Wassertiefe darstellen. Die dimensionslose Geschwindigkeitsverteilung ist demnach von einem Maßstabsfaktor, gegeben durch das vorletzte Glied, und dem Verhältnis von Horizontal- zu Auftriebsgeschwindigkeit abhängig.

---

†) Seit dem 1.5.1971 ist Herr Honekamp nur noch halbtags für Projekt A3 tätig. In der übrigen Zeit ist er als Assistent des Sprechers beschäftigt.

Die Analyse geht von den Kontinuitätsgleichungen für das Wasser bzw. die Luft, den Bewegungsgleichungen in horizontaler und vertikaler Richtung sowie der geometrischen Beschreibung der Strahlachse aus. Diese fünf Bedingungsgleichungen werden jeweils in Schnitten senkrecht zur Strahlachse angesetzt, wobei die Krümmung dieser Achse als vernachlässigbar angenommen und die Geschwindigkeits- und Luftkonzentrationsprofile jeweils als Gauss'sche Glockenkurven angesetzt werden (Bild 1). Hieraus ergeben sich fünf miteinander gekoppelte, gewöhnliche Differentialgleichungen für die Strahlbreite, die Achsgeschwindigkeit, das maximale Dichtedefizit und die Positionskordinaten der Strahlachse. Da eine geschlossene Lösung dieses Gleichungssystems nicht möglich ist, muß das System unter Einhaltung der entsprechenden Anfangsbedingungen numerisch gelöst werden.

Das Gleichungssystem enthält folgende Parameter, die aus Experimenten bekannt sein bzw. angenommen werden müssen:

- die mittlere Blasensteiggeschwindigkeit  $\bar{u}_b$  bzw. die Schlupfgeschwindigkeit  $\Delta u_b$  der Luftblasen gegenüber dem Wasser
- das Verhältnis  $\lambda$  der Breite des Dichtedefizits (oder Luftkonzentrationsprofils) zur Breite des Geschwindigkeitsprofils
- der Einmischkoeffizient  $\alpha$  der Strahlströmung
- die Ersatzlänge  $z_0$  für die analytische Kompensation des "Anlaufbereichs" in Düsen-nähe
- der Widerstandsbeiwert  $C_D$  für die von der Querströmung auf den Auftriebsstrahl ausgeübte Kraft.

Im weiteren Verlauf der Arbeit sollen verschiedene Vereinfachungen daraufhin untersucht werden, ob sie eine geschlossene Näherungslösung zulassen, wie dies beim Luftschleier in stehendem Gewässer möglich war. Außerdem soll untersucht werden, ob die Zahl der empirischen Parameter eingeschränkt werden kann und wie sich ein unterschiedlicher Verlauf der Strahlachse und der Luftkonzentrationsachse auf das Modell auswirkt.

## 5.2 Experimenteller Teil.

Zur Erzeugung des Luftschleiers dient ein Düsenrohr mit 1 mm Bohrungen im Abstand von 25 mm. Zur Eichung der Düsenrohre wurde ein Kasten gebaut, in dem die abgegebene Luftmenge pro Zeiteinheit durch eine Volumen- und Zeitmessung in Abhängigkeit von den Druckverhältnissen am Düsenrohr gemessen werden kann.

Das Geschwindigkeitsfeld des Luftschleiers in einer Querströmung wurde in einer 0,6 m breiten, 2 m hohen und 10 m langen Rinne der Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe untersucht. Erheblichen Aufwand erforderte der Rinnenzulauf, in dem eine Reihe von Sieben, Filtern und ein Gleichrichter eingebaut werden mußten, um in der Meßstrecke eine gleichförmige Geschwindigkeitsverteilung zu erzielen.

Im Meßbereich wurde das Geschwindigkeitsfeld mit Ott-Laborflügeln und einem Delfter Flügel ausgemessen. Diese sind vertikal verschiebbar an einem Meßwagen montiert, der wiederum auf Schienen auf der Rinnenoberkante langs der Meßstrecke bewegt werden kann. Diese Meßvorrichtungen sowie ein Mehrfachzählgerät für die Flügelmessungen und ein Arbeitspodest längs der Rinne wurden im Eigenbau hergestellt.

Aus den Geschwindigkeitsmessungen bei einer Grundströmung von 20 cm/s und einer Luftmenge von 0,008 m<sup>2</sup>/s ergibt sich der Stromlinienverlauf in Bild 2, der den

Strömungsvorgang mit ausgelenktem Auftriebsstrahl und Ablösungszone gut veranschaulicht.

Bei den bisherigen Messungen wurde deutlich, daß eine Komponentenmessung mit starr montierten FLÜGeln unzureichend ist; es wird deshalb für die weitere Untersuchung ein beweglicher FLÜgel mit Richtungsanzeige gebaut.

Zur Ermittlung der Blasensteiggeschwindigkeiten wurden in der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau Berlin Versuche durchgeführt. In 3,5 m Wassertiefe war ein 1 m langes Düsenrohr an einem Schleppwagen befestigt, der mit konstanter Geschwindigkeit vorwärts bewegt wurde. Die Auslenkung der Luftblasen, die zwischen seitlichen Führungswänden aufstiegen, wurde gemessen; aus dem horizontalen Abstand zwischen dem Austrittspunkt der Luftblasen an der Wasseroberfläche und der Düsenachse ergibt sich mit der Fahrtgeschwindigkeit die Aufenthaltszeit und hieraus mit der Wassertiefe die mittlere Blasensteiggeschwindigkeit.

Der Einsatz von Heißfilmsonden zur Bestimmung der örtlichen Luftkonzentration wurde geprüft. Hierbei ergab sich, daß dieses Meßverfahren nur mit erheblichem meßtechnischem Aufwand (Spektralanalyse) und mit Hilfe einer sorgfältigen Eichung brauchbare Ergebnisse liefert.

#### 6. Eigene Veröffentlichungen im Berichtszeitraum

- 1 H. Kobus, "Untersuchungen über die Verminderung der besonders sinkstoffreichen Dichteströmung in Brackwassergebieten durch Luftschleier", Heft 50 der Mitteilungen der VWS Berlin, 1969.
- 2 H. Kobus, Discussion of lamandi and Rouse on "Jet-Induced Circulation and Diffusion", ASCE Journal of the Hydraulics Division, Januar 1970.  
Für diese Arbeit hat die American Society of Civil Engineers 1971 den J.C. Stevens Award zuerkannt.
- 3 H. Kobus, "Ermittlung des durch einen Luftschleier erzeugten Strömungsfeldes mit Anwendung auf die Auslegung von Preßluft-Ölsperren", im Juli 1971 zur Veröffentlichung in der Zeitschrift "Wasserwirtschaft" eingereicht.

#### 7. Literatur

- 1 Rouse, H., "Gravitational Diffusion from a Boundary Source in Two-Dimensional Flow", Journal of Applied Mechanics, September 1947.
- 2 Abraham, G., "Jet Diffusion in Stagnant Ambient Fluid", Delft Hydr. Lab. Pub. Nr. 29, 1963.
- 3 Fan, L.-N. and Brooks, N.H., "Numerical Solution of Turbulent Buoyant Jet Problems", Report KH-R-18, Caltech, Januar 1969.
- 4 Cederwall, K. and Ditmars, F.D., "Analysis of Air-Bubble Plumes", Report KH-R-24, Caltech, September 1970.

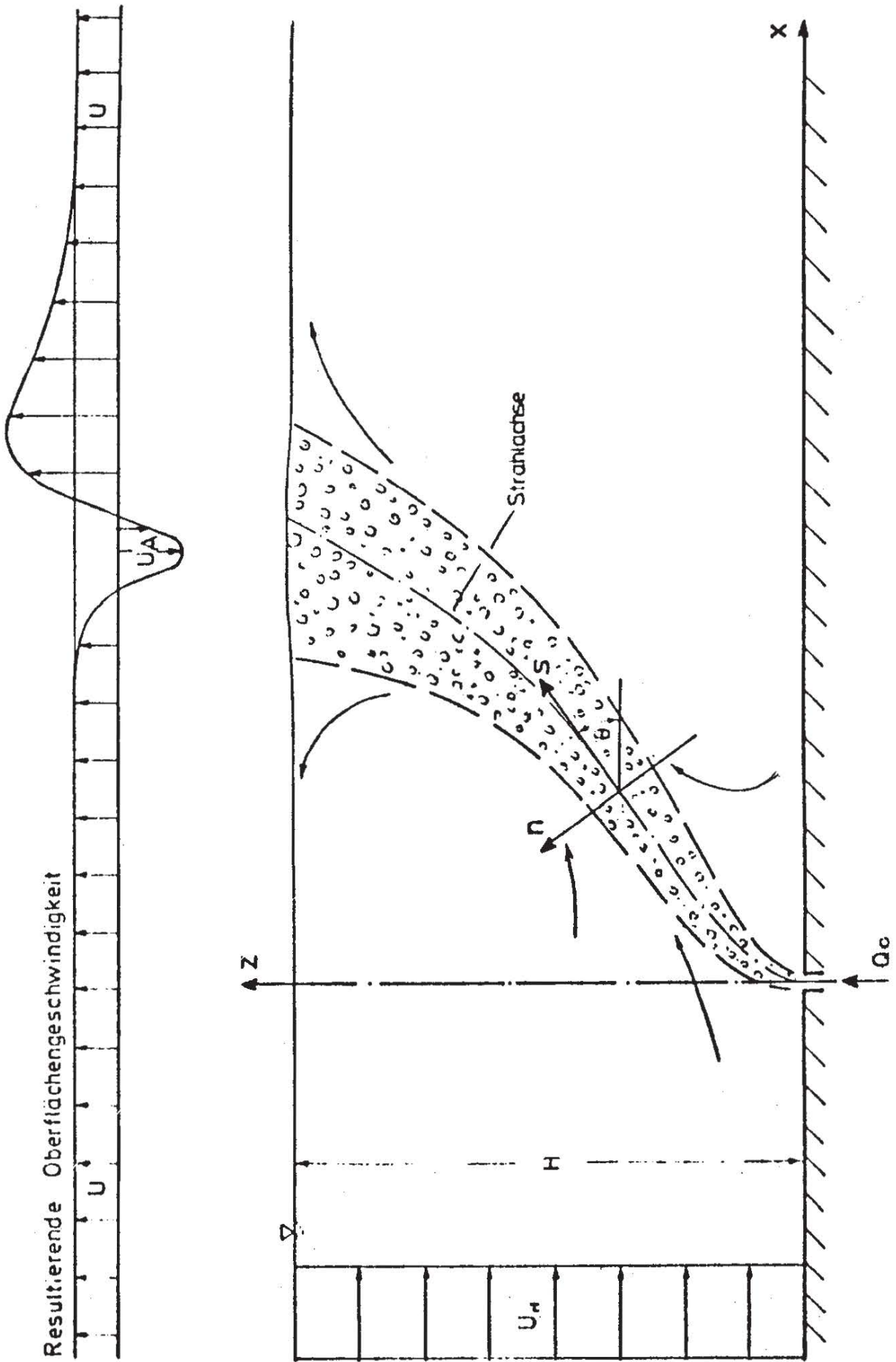
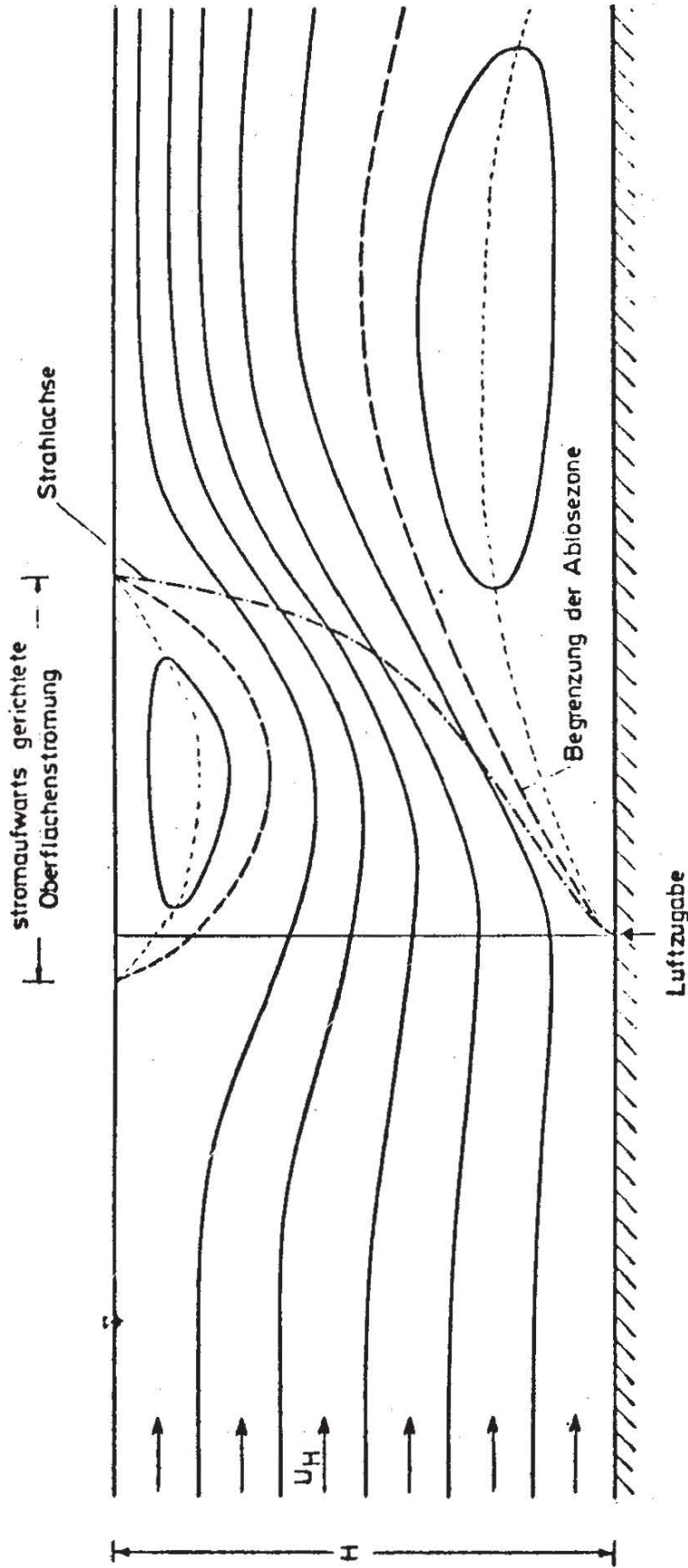


Bild 1 Das Strömungsfeld eines Luftschleiers in Querströmung



Wassertiefe  $H = 1,8 \text{ m}$       Düsenrohr  
Horizontalgeschwindigkeit  $U_0 = 0,2 \text{ m/s}$       Düsendurchmesser  $d = 1 \text{ mm}$   
Luftmenge  $q_0 = 0,008 \text{ m}^3/\text{s}$       Düsenabstand  $\Delta l = 25 \text{ mm}$

Bild 2 Aus Vorversuchen ermittelter Stromlinienverlauf der resultierenden Strömung