

1. Beteiligte wissenschaftliche Mitarbeiter

Kobus, Helmut, Ph. D., Oberingenieur am Institut für Hydromechanik,
Projektleiter

Honekamp, Hermann, Dipl. -Ing., Sachbearbeiter seit dem 1.7.1970,
im Berichtszeitraum halbtags für dieses Projekt tätig. ⁺⁾

2. Berichtszeitraum

1. Januar 1972 bis 30. April 1973

3. Problemstellung

Der Einfluß einer Querströmung auf das Strömungsfeld eines Luftschleiers soll quantitativ erfaßt werden. Als Ausgangsbasis für die analytische Behandlung dient ein vom Projektleiter erarbeitetes analytisches Modell für Luftschleier in stehenden Gewässern, mit dem zum ersten Mal Modellversuche auf Verhältnisse in der Natur übertragen werden konnten. Dieses Modell soll auf Luftschleier in einer Querströmung erweitert und durch Experimente verifiziert werden. Das Ziel der analytischen und experimentellen Untersuchungen ist, die Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Luftschleiern in Flüssen zur Steuerung von Ausbreitungs- und Transportvorgängen zu erkunden. Darüber hinaus ist die Aufbereitung der gewonnenen Erkenntnisse zu Entscheidungshilfen geplant, die es ermöglichen, Luftschleieranlagen betriebssicher und wirtschaftlich zu entwerfen und anzulegen.

⁺⁾ In der übrigen Zeit ist Herr Honekamp als Sekretär des SFB 80 beschäftigt.

4. Methode

Für die analytische Beschreibung des Strömungsfeldes werden integrale Ansätze eingeführt. Aus den Gleichungen für die Kontinuität des Wassers und der Luft, den Impulsgleichungen in horizontaler und vertikaler Richtung und der Geometrie der Strahlachse ergeben sich 5 miteinander gekoppelte Differentialgleichungen, die geschlossen nicht gelöst werden können. Das Gleichungssystem enthält empirische Beiwerte, die aus dem Experiment gewonnen werden müssen.

Zur Messung des Geschwindigkeitsfeldes wurde ein drehbarer Meßflügel entwickelt, mit dem die örtliche Wassergeschwindigkeit nach Größe und Richtung bestimmt werden kann. In einer 0,6 m breiten, 2 m hohen und 10 m langen Versuchsrinne der Bundesanstalt für Wasserbau wurde das gesamte Geschwindigkeitsfeld für mehrere Quergeschwindigkeiten und Luftmengen pro Zeiteinheit ausgemessen.

Zur Bestimmung der örtlichen Luftkonzentration wurden verschiedene Meßverfahren erprobt; nach den Vorversuchen scheint es möglich, mit Hilfe von Kapazitätsmessungen die Luftblasenverteilung näherungsweise mit vertretbarem Aufwand zu bestimmen.

5. Ergebnisse

5.1 Analytischer Teil

Das Strömungsfeld wird analytisch als Auftriebstrahl in einer Grundströmung behandelt. Die Bedingungsgleichungen für die Kontinuität des Wassers und der Luft, den Impulsfluß in zwei Richtungen und die Geometrie der Strahlachse werden jeweils in Schnitten senkrecht zur Strahlachse angesetzt. Unter Vernachlässigung der Krümmung der Strahlachse und mit Annahmen für die Form der Geschwindigkeits- und

Luftkonzentrationsprofile im Auftriebstrahl ist dieses Gleichungssystem für die vorgegebenen Randbedingungen numerisch lösbar.

Schwierigkeiten bereitet die Annahme realistischer Beiwerte für das analytische Modell. Für die Steiggeschwindigkeit der Luftblasen kann alternativ eine mittlere Blasensteiggeschwindigkeit \bar{u}_b als über den Querschnitt gemittelte Größe angesetzt oder aber die Annahme getroffen werden, daß sich die Luftgeschwindigkeit an jedem Punkt ergibt als Summe der örtlichen Wassergeschwindigkeiten und einer Schlupfgeschwindigkeit Δu_b , welche ausschließlich von der Blasengröße abhängig ist. Des weiteren sind in der Analyse ein Einmischkoeffizient α und ein Widerstandsbeiwert C_D enthalten, die sich aus den Experimenten nicht schlüssig bestimmen lassen.

Das Differentialgleichungssystem kann mit Hilfe des Runge-Kutta-Verfahrens gelöst werden. Durch systematische Veränderung einzelner Parameter kann man deren Einfluß auf die numerische Lösung feststellen. Der für die Zahlenrechnungen erforderliche Algorithmus wurde in Algol programmiert und kann als Prozedur JET 9 für neun verschiedene Parameter aufgerufen werden.

Eine Vereinfachung des Gleichungssystems auf eine geschlossen lösbare Form erscheint nicht möglich, ohne unrealistische Einschränkungen und Vereinfachungen zu treffen.

5.2 Experimenteller Teil

Die aus den Geschwindigkeitsmessungen gewonnenen Stromlinienbilder in Bild 2 zeigen, wie sich das Strömungsfeld des Luftschleiers mit zunehmendem Einfluß einer Querströmung verändert. Das symmetrische Stromlinienbild des Luftschleiers in ruhendem Medium wird infolge der

Querströmung zunehmend asymmetrisch: auf der stromaufwärts gelegenen Seite wird die Zuströmung in Bodennähe zum Luftschleier hin verstärkt, der Auftriebstrahl wird in Strömungsrichtung ausgelenkt, und auf der stromab gelegenen Seite ergibt sich eine Verstärkung der Oberflächenströmung. Dies bewirkt eine stetige Verringerung der Intensität und Größe der Rückströmungszone in Oberflächennähe, bis dieser Bereich schließlich gänzlich verschwindet und somit keine Sperrwirkung an der Oberfläche mehr erzielt werden kann.

Die vom Luftschleier induzierte maximale Oberflächengeschwindigkeit v^* entgegen der Querströmung wurde in Abhängigkeit von der Quergeschwindigkeit experimentell ermittelt. Aus den im Bild 1 dargestellten Meßwerten zeigt sich, daß die induzierte Geschwindigkeit mit zunehmender Querströmung ständig kleiner wird. Diese Tendenz wird näherungsweise beschrieben durch die empirische Beziehung

$$\frac{v^*}{\sqrt[3]{gq_0}} = \frac{v(U_H=0)}{\sqrt[3]{gq_0}} - \frac{2}{3} \frac{U_H}{\sqrt[3]{gq_0}}$$

Die absolute, stromaufwärts gerichtete "Sperrgeschwindigkeit" ergibt sich anhand dieser Gleichung aus der Differenz zwischen der vom Luftschleier induzierten Geschwindigkeit v^* und der Quergeschwindigkeit U_H zu

$$\frac{v_m}{\sqrt[3]{gq_0}} = \frac{v_m(U_H=0)}{\sqrt[3]{gq_0}} - \frac{5}{3} \frac{U_H}{\sqrt[3]{gq_0}}$$

Diese Beziehungen wurden über einen weiten Bereich von Luftströmen und Quergeschwindigkeiten bei drei verschiedenen Wassertiefen experimentell verifiziert. Sie erlauben eine für Bemessungszwecke ausreichende Abschätzung des Einflusses einer Querströmung auf die Oberflächengeschwindigkeit.

6. Praktische Anwendung

Von der Auslenkung des Blasenstroms durch eine Querströmung bleibt der induzierte Vertikaltransport von Wasser durch den Luftschleier in erster Näherung unberührt bzw. wird eher noch intensiviert, da die effektive Blasensteiggeschwindigkeit \bar{u}_b durch die Querströmung abgemindert wird und deshalb die Einwirkzeit der einzelnen Blasen und damit die Gesamtauftriebskraft des Blasenstroms erhöht wird. Für Luftschleieranlagen, deren Wirkung auf der Kontaktzeit zwischen Luftblase und Wasser beruht (wie bei Anlagen zur Sauerstoffanreicherung) oder auf die vertikale Durchmischung des Wasserkörpers zurückzuführen ist (wie bei Anlagen zur Eisfreihaltung oder zur Beeinflussung von Dichteschichtungen), kann demnach eine Querströmung allenfalls einen positiven Effekt erbringen. Die resultierende Oberflächenströmung hingegen wird von einer Querströmung sehr wesentlich beeinflusst. Für pneumatische Ölsperren oder pneumatische Wellenbrecher, die aufgrund der induzierten Oberflächenströmung als "Sperrre" über einen Querschnitt wirken, ist deshalb der Einfluß einer Querströmung von größter Bedeutung.

Mit Bild 1 wird dem praktisch tätigen Ingenieur ein Hilfsmittel an die Hand gegeben, das eine rasche und zuverlässige Beurteilung des Querströmungseinflusses auf die resultierende Oberflächengeschwindigkeit erlaubt. Bei vorgegebenen Werten für Luftstrom, Wassertiefe und Quergeschwindigkeit kann hieraus direkt die resultierende maximale Oberflächengeschwindigkeit abgelesen werden. Die schraffiert angelegte strichlierte Linie stellt den Grenzfall dar, in dem an der Oberfläche gerade noch ein Staupunkt erzeugt wird; unterhalb dieser Trennlinie sind keine stromaufgerichteten Oberflächengeschwindigkeiten möglich. Wenn stromaufgerichtete Sperrgeschwindigkeiten erzeugt werden sollen, dann darf der Querströmungsparameter $U_H / \sqrt[3]{gq_c}$ einen bestimmten Grenzwert nicht überschreiten.

7. Veröffentlichungen im Berichtszeitraum

- 1 Kobus, H. : "Berechnungsmethode für Luftschleier-Strömungen zur Auslegung von Preßluft-Ölsperren", Die Wasserwirtschaft, Heft 6, Juni 1972.
- 2 Kobus, H. : Erwidernng auf einen Diskussionsbeitrag von Dr. E. Stehr, Hamburg, zu 1 , Die Wasserwirtschaft, Heft 3, März 1973.
- 3 Kobus, H. : "Bemessungsgrundlagen und Anwendungen für Luftschleier im Wasserbau", wird erscheinen als Heft 7 der Schriftenreihe "Wasser und Abwasser in Forschung und Praxis", Erich Schmidt Verlag, Berlin.

8. Neue Literaturangaben (im Berichtszeitraum bekannt geworden)

- 1 Cederwall, K. : "Buoyant Slot Jets into Stagnant or Flowing Environments", W. M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, California Institute of Technology, Report No. KH-R-25, April 1971.
- 2 Abraham, G. : "Jets and Plumes Issuing into Stratified Fluid", Proc., International Symposium on Stratified Flows, Novosibirsk, 1972.

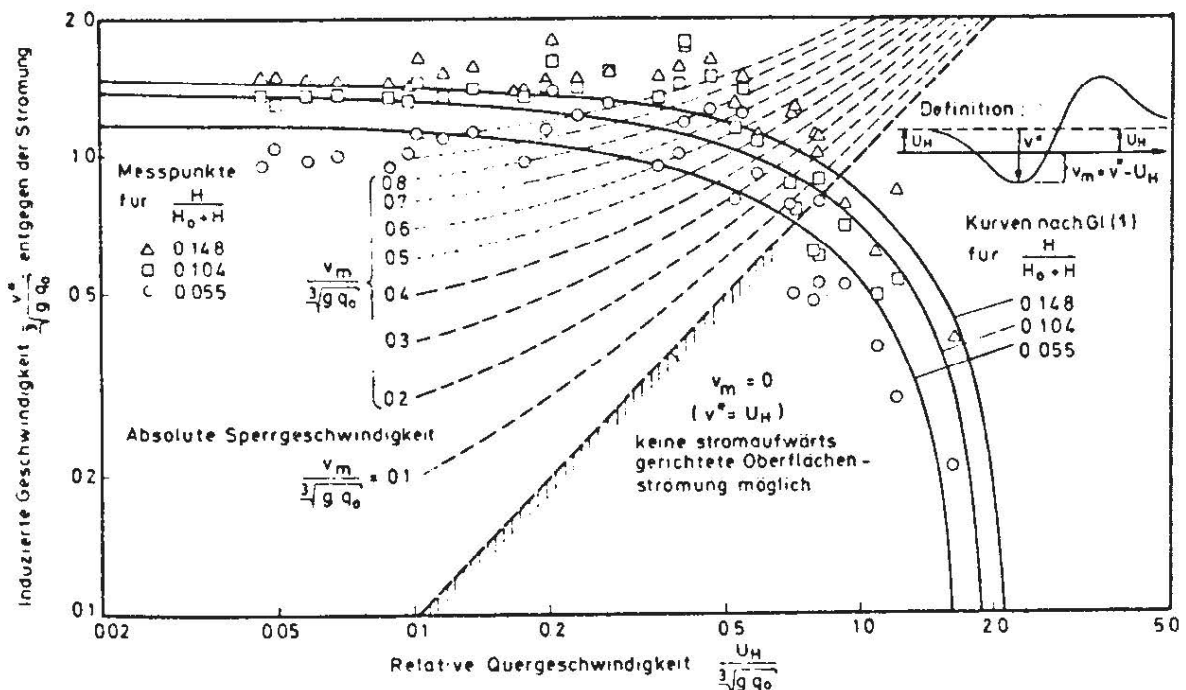


BILD 1 : MAXIMALE OBERFLÄCHENGESCHWINDIGKEIT ENTGEGEN DER QUERSTROMUNG

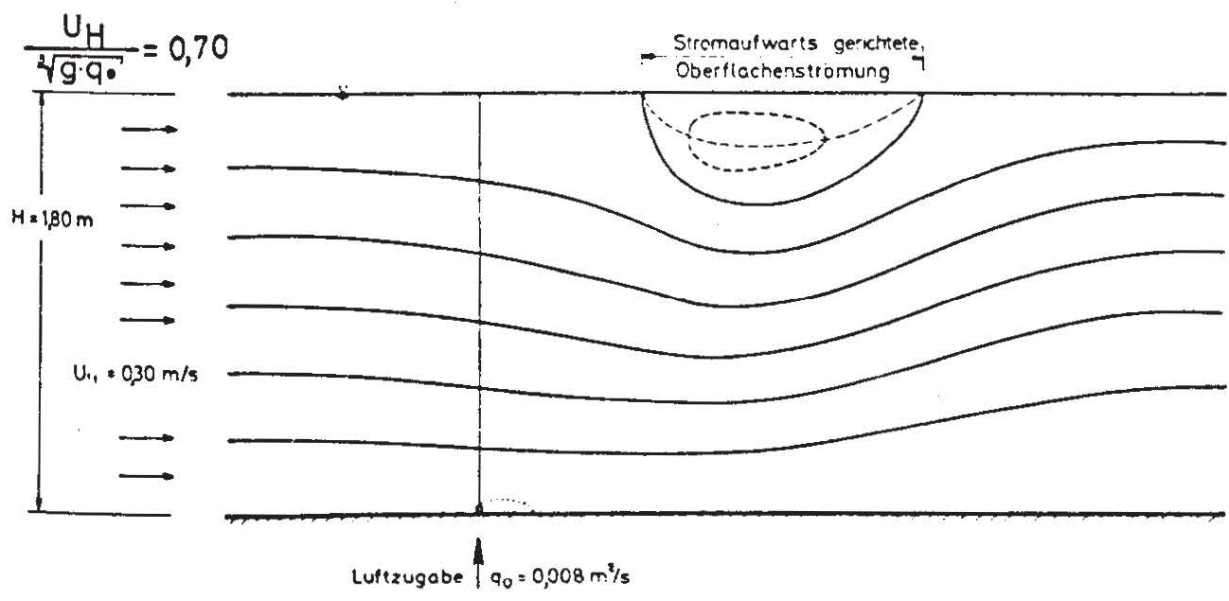
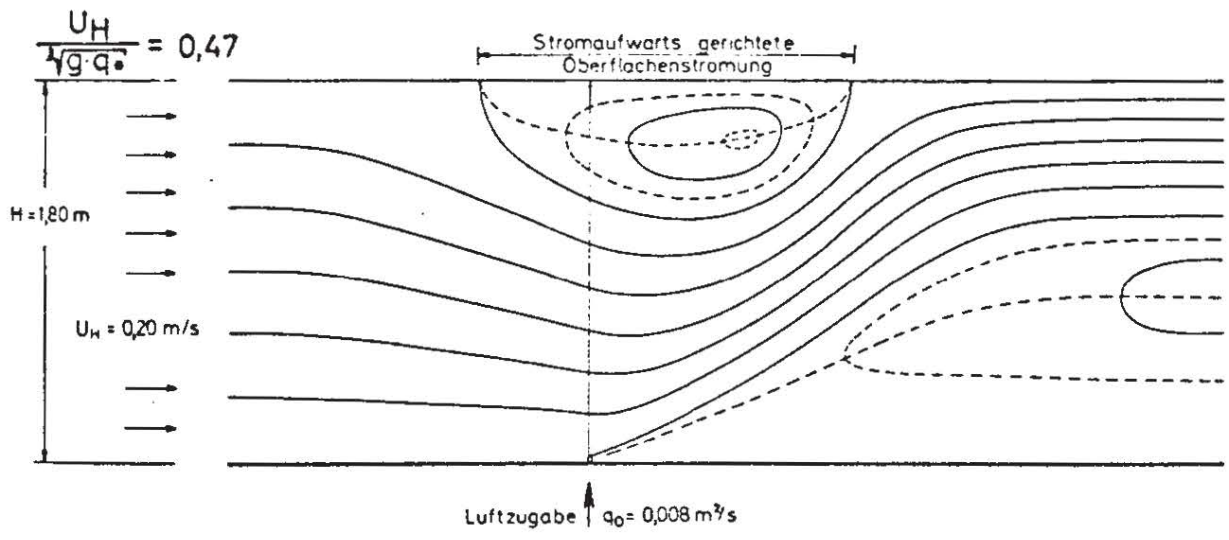
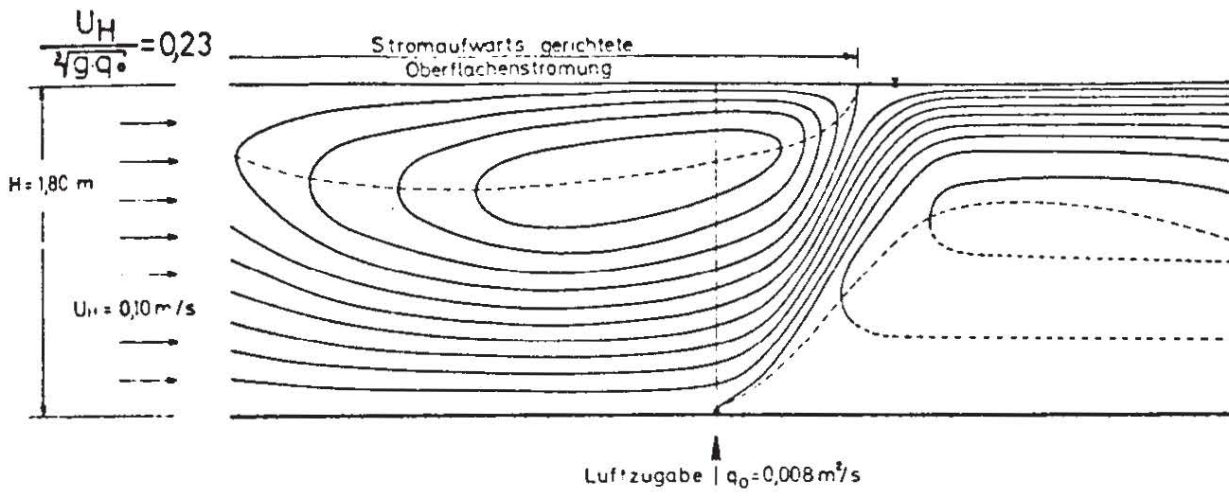


BILD 2 : STROMLINIENBILDER EINES LUFTSCHLEIERS IN EINER QUERSTROMUNG