Zeitschrift: Plan : Zeitschrift für Planen, Energie, Kommunalwesen und Umwelttechnik = revue suisse d'urbanisme

Herausgeber: Schweizerische Vereinigung für Landesplanung

Band: 14 (1957)

Heft: 5

Artikel: Die künstliche Belüftung von stehenden und fliessenden Oberflächengewässern

Autor: Vogel, H.E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-783724

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die künstliche Belüftung von stehenden und fliessenden Oberflächengewässern

Von Dr. H. E. Vogel, Geschäftsführer der Schweiz. Vereinigung für Gewässerschutz, Zürich

Am 22. Februar 1957 veranstaltete die Hydrobiologische Kommission der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft unter dem Vorsitz ihres Präsidenten, Prof. Dr. O. Jaag, im Maschinenlaboratorium der Eidg. Technischen Hochschule in Zürich ein Kolloquium, welches dem Problem der künstlichen Belüftung von stehenden und fliessenden Oberflächengewässern gewidmet war. Als Hauptreferent konnte mit einem Vortrag über «Principes et effets de l'aération artificielle sous-lacustre au Lac de Bret; perspectives d'application» Dr. ès Sciences P. Mercier, Lausanne, verpflichtet werden, dessen Belüftungsanlage am Lac de Bret das lebhafte Interesse weitester Kreise auch des Auslandes erweckt hat. In der nachfolgenden Diskussion meldeten sich in- und ausländische Verfechter anderer Belüftungssysteme zu Worte, so u. a. Prof. Dr. W. Fehlmann, Schaffhausen, dipl. Ing. C. Caille, Winterthur, sowie Oberregierungsbaurat H. Wagner, Direktor der Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz/Rhein. Es dürfte sich nun lohnen, den ganzen weitschichtigen Fragenkomplex einer kurzen Prüfung zu unterziehen und die einzelnen Vorschläge einander gegenüberzustellen.

Problemstellung

Die künstliche Belüftung bezweckt, einem durch kritisch werdenden Sauerstoffmangel gefährdeten Gewässer den fehlenden Sauerstoff wieder zuzuführen, wobei verschiedenartige Methoden angewandt werden, je nachdem es sich um einen See, einen fast stehenden kanalisierten Fluss oder ein fliessendes Oberflächengewässer handelt.

In einem See gelangt normalerweise der durch die Lebewelt des Wassers benötigte Sauerstoff aus der Luft in die obersten Seewasserschichten, die dadurch gut durchlüftet und oft infolge üppigen Algenwachstums mit Sauerstoff übersättigt sind, woran indessen die tiefergelegenen Schichten nicht in genügendem Ausmass teilnehmen könnten.

Nun wird glücklicherweise in unseren gemässigten Breiten dank der jahreszeitlich bedingten Erwärmung bzw. Abkühlung der Oberflächenschicht zweimal pro Jahr, und zwar Ende Winter und Ende Herbst, das Seewasser in vertikaler Richtung umgewälzt: Im Frühjahr erwärmt sich das während des Winters abgekühlte Oberflächenwasser bis auf 4 ° C, um dann, bei diesem spezifisch schwersten Aggregatzustand, in die Tiefe zu sinken. Bei weiterer Erwärmung — und demzufolge wieder leichteren spezifischen Schwereverhältnissen — während des Sommers bleibt das wärmste Wasser ganz in den obersten Seeschichten (im Epilimnion) liegen, wenn auch die durch rasches Absinken der Temperatur gekennzeichnete, eine Wärmeschranke bildende Sprungschicht sich mit dem Fortschreiten des Sommers von — 10 auf — 15 m Tiefe verlagert. Diese Sommerstagnation wird im Herbst, bei einsetzender Abkühlung der Wasseroberfläche, wiederum durch vertikale Wasserzirkulation abgelöst, bei der das spezifisch schwerste Oberflächenwasser von 4 ° C ins Hypolimnion, d. h. die kühle Tiefenschicht, hinuntersinkt; während der kalten Jahreszeit sind wiederum stagnierende Zustände vorherrschend. Das wichtigste Ergebnis einer solchen Wasserumwälzung ist die normalerweise genügende Versorgung der Tiefenschichten mit Sauerstoff.

Neben dem jahreszeitlichen Umwälzungszyklus treten während des ganzen Jahres die durch Windeinfluss hervorgerufenen Teilumwälzungen in Erscheinung, die sich besonders in den oberen Wasserschichten auswirken.

Leider gehören heute Seebecken mit vollständiger Sauerstoffversorgung bis in die tiefsten Schichten nur noch zu den seltenen Ausnahmefällen. Weniger durch natürliche Verlandung als durch kulturbedingte Einflüsse, d. h. durch Einleitung von häuslichem und industriellem Abwasser, aber auch von jauche- und kunstdüngergesättigten Abflüssen aus Landwirtschaftsbetrieben, sind ehemals nährstoffarme (oligotrophe) Reinwasserseen zu nährstoffreichen (eutrophen) Gewässern geworden. Vermochte der See früher die im Laufe des Jahres absterbenden Organismen so zu verarbeiten, dass fast alle auf den Seegrund gelangenden Substanzen wieder in den Kreislauf eingeschaltet werden konnten und der Sauerstoffgehalt auch am Ende der Sommerstagnation in dieser Tiefe nie vollständig reduziert wurde, so erzeugt der heute vorherrschende eutrophe Seetypus infolge seines Sauerstoffreichtums in den obersten Seeschichten hier ein mengenmässig stark entwickeltes Pflanzen- und Tierplankton, das bei seinem Absterben in den bodennahen Tiefenschichten wie auch unterhalb der Oberflächenschicht zur Sommerstagnationszeit Sauerstoffmangel hervorruft. Am Seegrund kann der Sauerstoff während der meisten Zeit des Jahres ganz fehlen, da der Zirkulationsprozess nicht mehr bis in die grösste Tiefe hinunterreicht. Auch ist der Tiefenschlamm reich an faulender organischer Substanz, so dass sich der Zersetzungsprozess anaerob, d. h. ohne Sauerstoffzutritt, und unter Bildung von für die Tiefenflora und -fauna giftigen Endprodukten, wie Schwefelwasserstoff, Methangas u. a. m., vollzieht.

Analoge Auswirkungen zeigen sich in fliessenden Gewässern: Infolge starker Abwasserbelastung bilden sich am Flussgrund fäulnisanzeigende Bakterien- und Pilzkolonien mit ihren Folgeerscheinungen, den schon erwähnten giftigen Endprodukten.

Die zunehmende Verschmutzung unserer stehenden und fliessenden Gewässer, die mit dem Wachstum der menschlichen Siedlungen noch zusehends beschleunigt wird, vernichtet nicht nur wertvolle Fischbestände;

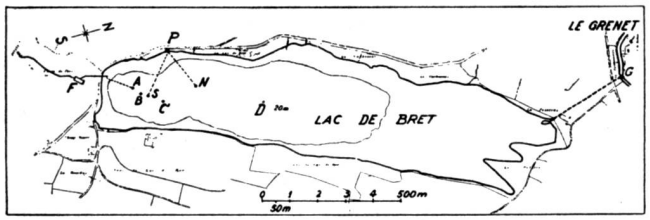

Abb. 1. Belüftungsstation am Lac de Bret nach P. Mercier (N = Wasserentnahmestelle; P = Belüftungsanlage; S = Rückgabestelle).

auch unsere Trinkwasserversorgung, die mit dem wachsenden Verbrauch nicht mehr nur von den Grundwasservorkommen zehren kann, wird in erheblichem Masse erschwert. Ausserdem bilden verschmutzte Gewässer ständige Infektionsherde und schliesslich beeinträchtigen sie in hohem Masse das Landschaftsbild.

Dank der am Gewässerschutz interessierten Kreise konnten in den letzten Jahren in der Schweiz eine grössere Anzahl kollektiver Abwasserreinigungsanlagen erstellt und dadurch die Belastung der Gewässer durch häusliche und industrielle Abwässer etwas reduziert werden. Es steht zu hoffen, dass solche Anlagen nun, nach dem Inkrafttreten des Eidg. Gewässerschutzgesetzes, in beschleunigtem Rhythmus zur Ausführung gelangen.

Es wäre jedoch verfehlt, das Problem der Gewässerverschmutzung nur von der Abwasserseite her aufzugreifen, da erfahrungsgemäss auf absehbare Zeit weder technisch noch wirtschaftlich eine völlige Zurückhaltung oder Entfernung aller Schmutzstoffe aus dem Abwasser erreichbar sein wird.

Dem Gewässerschutz mittels Abwasserklärung muss daher die Gewässersanierung zur Seite treten, um den bereits gestörten chemisch-biologischen Haushalt eines stehenden oder fliessenden Gewässers so zu beeinflussen, dass der krankhafte Zustand wieder verschwindet und das vorherige Gleichgewicht von neuem zu funktionieren beginnt.

Einen wichtigen Anteil in diesem Kampf um die Gewässersanierung beansprucht die künstliche Belüftung von verschmutzten Oberflächengewässern, da dadurch eine zum mindesten lokale Verbesserung der Verhältnisse in einem See oder Fluss erreicht werden kann, wenn dadurch auch die Ursachen des Uebelstandes

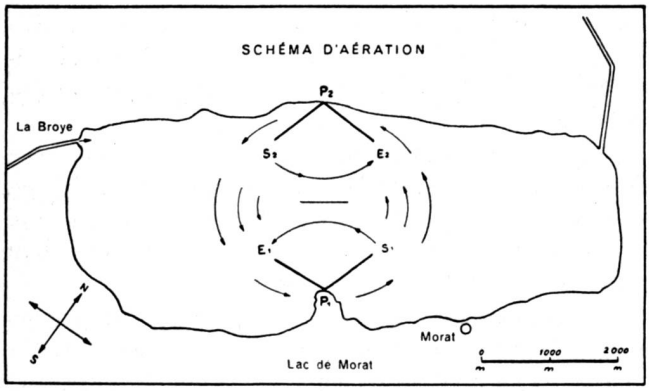

Abb. 2. Wasserbelüftung des Murtensees nach P. Mercier.

nicht beseitigt werden. Auf welche Weise von verschiedenen Fachleuten der Problemkomplex einer Lösung entgegengeführt wurde oder angestrebt wird, sei im folgenden dargestellt.

Künstliche Seenbelüftung nach P. Mercier

Seit ungefähr 80 Jahren beziehen die Stadt Lausanne und ein Teil ihrer Industrie das Trink- und Brauchwasser aus dem *Lac de Bret*, einem über dem Genfersee, in einer Mulde zwischen La Tour-de-Gourze und dem Mont-Pélerin gelegenen natürlichen Seelein von max. 1,6 km Länge, 380 m Breite, 20 m Tiefe und einem Wasservolumen von 5 000 000 m^3.

Infolge fortschreitender Eutrophierung sank der Sauerstoffgehalt des Tiefenwassers dieses Sees auf 0, wobei Eisen in Form von Ferrobikarbonat ausgefällt wurde. Mit dem Höhersteigen der sauerstofffreien Schicht erreichte schliesslich das eisenhaltige Wasser das Niveau der Wasserfassung, gelangte somit ins Wasserverteilungsnetz und trat an den Zapfhähnen der Verbraucher als braunes Eisenoxydhydrat in Erscheinung, wodurch es für Trink- und Brauchzwecke unverwendbar wurde.

Die Eliminierung von eisenhaltigen Stoffen aus dem Wasser ist bekannt, setzt jedoch die Einrichtung umfangreicher und kostspieliger Anlagen voraus. Es erschien daher viel vorteilhafter, das Problem näher an der Wurzel anzufassen und dem Sauerstoffmangel in den tieferen Seeschichten, der ja die eigentliche Ursache des eisenhaltigen Wassers war, abzuhelfen durch Zufuhr von sauerstoffhaltigem Wasser in die sauerstoffarme Tiefenschicht des Hypolimnion, und zwar während der Periode der Sommerstagnation, die wohl eine Verteilung in horizontaler, jedoch nicht in vertikaler Richtung gestattet.

Im Jahre 1947 wurde daher der Lausanner Physiker Dr. ès Sciences P. Mercier beauftragt, nach den Plänen des Ingenieurs J. Perret und in Zusammenarbeit mit dem Chemiker S. Gay am westlichen Ufer des Lac de Bret eine Belüftungsstation zu errichten, die zum erstenmal am 23. Juni 1947 zu funktionieren begann. Sie beruht auf dem Prinzip, mittels einer Rohrleitung sauerstoffarmes Wasser aus einer Tiefe von 13,5 m zu entnehmen, dieses an den Innenwänden der Anlage zu verspritzen und so mit Sauerstoff anzureichern, um es dann in gleicher Tiefe, jedoch in 200 m Entfernung, wieder dem See zu übergeben. Der Betrieb der Station wird immer während der Sommermonate aufrechterhalten; im Jahre 1951 wurden dabei vom 15. Mai bis 4. Oktober 9,5 Tonnen Sauerstoff absorbiert und 8,4 Tonnen CO_2 ausgeschieden.

Seit der Inbetriebnahme der Belüfungsanlage erfolgt die Ausfällung des Eisens nicht mehr am Zapfhahn des Konsumenten, sondern im See selbst. Im übrigen haben Untersuchungen der Seesedimente gezeigt, dass im Gegensatz zu früher der See wieder fähig ist, die absterbenden Organismen zu mineralisieren, dass auch kein Schwefelwasserstoff mehr festgestellt werden konnte.

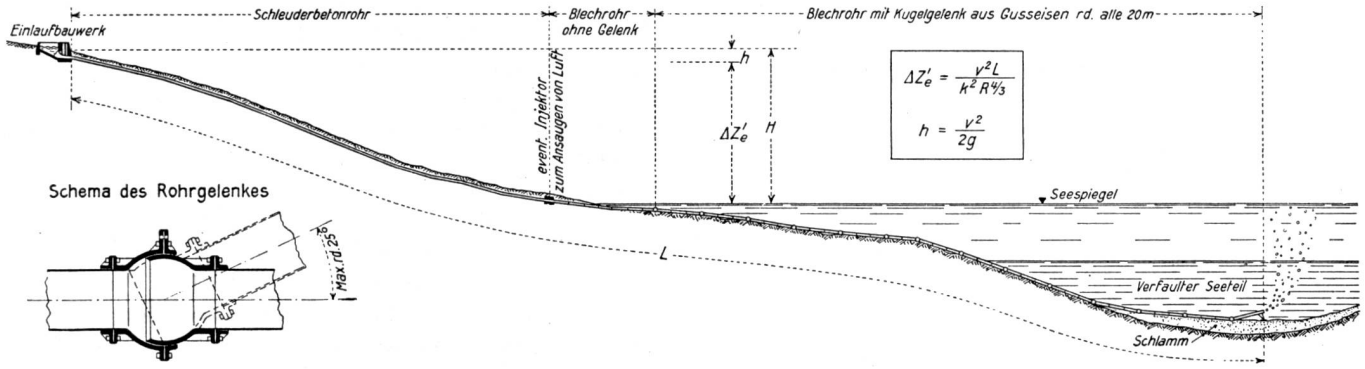

Abb. 3. Frischwassereinführung in verschmutzte Seen nach Fehlmann/Gruner (Abb. aus SBZ, Bd. 123, Nr. 1).

Halten wir fest, dass durch diesen Eingriff in den gestörten Wasserhaushalt eines kleinen Sees das vorher nicht mehr verwertbare Wasser heute sowohl für Trink- wie für Industriezwecke wieder voll und ganz Verwendung finden kann.

Dr. Mercier steht nun im Begriff, sein System künstlicher Wasserbelüftung in grösserem Rahmen zur Anwendung zu bringen. Er wählte dafür das Beispiel des *Murtensees*, der mit seinen 22,9 km² Oberfläche, 580 Mio m³ Wasservolumen, einer Tiefe von 25 m im Mittel, von 45 m im Maximum eine Zwischenstellung zwischen den kleinen und den grossen Seen der Schweiz einnimmt.

Der Murtensee ist dadurch gekennzeichnet, dass die berüchtigte Burgunderalge, die «Oscillatoria rubescens», deren Auftreten immer ein sicheres Anzeichen für zunehmende Verschmutzung und Eutrophierung eines Sees ist, erstmals in der Schweiz im Jahre 1826 an seinen Ufern festgestellt wurde.

Heute gehört der Murtensee zu den typischen eutrophierten Seen; sein Sauerstoffvorrat erschöpft sich im Laufe des Sommers in den tieferen Wasserschichten und fällt gegen Ende des Jahres in 40 m Tiefe auf 0. Nach Einsetzen der Vollumwälzung im Monat Januar wird das Sauerstoffgleichgewicht wieder hergestellt.

Das Projekt Mercier sieht nun vor, zwei am Nordufer zwischen Môtier und Guévaux bzw. am Südufer, westlich Murten, einander gegenüberliegende Belüftungsstationen einzurichten, die jährlich während 6½ Monaten, von Ende Mai bis anfangs Dezember, in Betrieb zu halten wären. Die Gesamtmenge des während dieses Zeitraumes in den Zerstäubungskammern der Anlagen aufzunehmenden Sauerstoffes müsste zirka 500 Tonnen betragen, um tatsächlich die gewünschten Auswirkungen im Hypolimnion hervorzurufen; gleichzeitig würden dabei zirka 400 Tonnen CO_2 ausgeschieden.

Das Projekt verfolgt noch einen weiteren Zweck: Durch die Wahl von zwei einander an entgegengesetzten Ufern gegenüberliegenden Stationen soll in der für Wasserentnahme und -rückgabe gewählten Tiefenschicht von zirka 30 m eine kreislaufförmige Wasserströmung quer über den See hervorgerufen werden, die dank der durch die Erdrotation hervorgerufenen Streuung in horizontaler Richtung auch weiteren Seebereichen zugute käme.

Frischwassereinführung in untere Seeschichten nach W. Fehlmann und G. Gruner

Prof. Dr. W. Fehlmann (Schaffhausen) und dipl. Ing. G. Gruner (Basel) sehen die Lösung des Problems der künstlichen Belüftung von Seen darin, mittels einer Rohrleitung sauerstoffreiches Frischwasser an die tiefste Stelle des Seegrundes hinabzuführen und es dort frei ausfliessen zu lassen. Um für die Erzeugung des erforderlichen Ueberdruckes keine Pumpen benützen zu müssen, soll ein Gewässer in entsprechender Höhe über dem Seespiegel gefasst werden; die Anlage würde vollkommen selbsttätig arbeiten und geringe Betriebskosten verursachen.

Das Projekt sieht vor, in einem zufliessenden Bach eine einfache Wasserfassung, aus einem Staukörper und einem Streichwehr mit Einlauf bestehend, zu erstellen, wobei beim Ueberfall des Wassers in den tiefen Einlaufkanal möglichst viel Luft mit dem Wasser vermischt wird. Unmittelbar unterhalb des Streichwehres beginnt die Druckleitung, die bis zur Seeoberfläche in Betonrohren unter dem Boden verlegt und unter Wasser dem Uferabfall aufliegend bis zur tiefsten Stelle des Seegrundes hinunter geführt wird; der Ausfluss erfolgt aus dem letzten Rohr, das zum Schutz gegen Verschlammung auf einem Bock montiert wird.

Das spezifisch leichtere Frischwasser steigt an die Seeoberfläche empor; von den Projektverfassern wird angenommen, dass dadurch auch fauliges Tiefenwasser in möglichst weitem Umkreis in die vertikale Zirkulationsströmung miteinbezogen, somit eine Umwälzung aller Tiefenschichten des Sees in die Wege geleitet und die Durchoxidierung des Tiefenschlammes durch in die Tiefe gezogenes sauerstoffreiches Oberflächenwasser beschleunigt werde.

Würde bei einem kleinen See mit günstiger Beckenform schon eine einzige derartige Anlage genügen, so müssten bei mittleren und grösseren Seen mit mehreren Tiefenbecken verschiedene Anlagen erstellt werden. Ihr Betrieb würde während des ganzen Jahres aufrechterhalten und könnte dank der ununterbrochenen

Sauerstoffzufuhr den natürlichen, chemisch-biologischen Umwandlungsprozess des Sees auch in kalten Wintern, bei zugefrorener Seeoberfläche, gewährleisten.

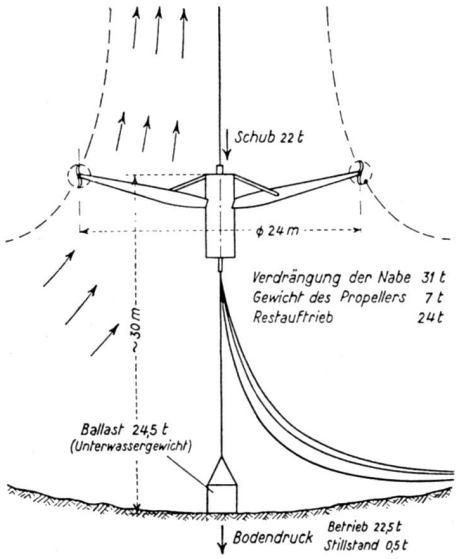

Abb. 4. Umwälzpumpe mittels Propellers nach C. Caille (Abb. aus SBZ, Bd. 128, Nr. 16).

Durchlüftung des Tiefenwassers nach C. Caille

Dipl. Ing. C. Caille (Winterthur) befürwortet die Durchlüftung des Tiefenwassers mittels eines am Seegrund installierten zweiflügligen Propellers, mit einem Durchmesser von etwa einem Zehntel der Seetiefe, der durch einen wasserdicht gekapselten Elektromotor angetrieben würde.

Das Verfahren erlaubt, mit kleinster Motorenleistung eine grosse Wassermasse zu erfassen und in langsame Bewegung zu versetzen. Zur Zeit der Sommerstagnation breitet sich das durch den Treibstrahl des Propellers an die Seeoberfläche getriebene Tiefenwasser kreisförmig in einem Bereich aus, der etwa der zehnfachen Seetiefe entspricht, wird dabei durch Mischen und Erwärmen leichter als das Tiefenwasser, bleibt aber schwerer als das Oberflächenwasser, sinkt wieder unter und fliesst im Bereich der Sprungschicht nach allen Seiten auseinander. Am Seeboden strömt Tiefenwasser zum Propeller nach.

Im Gegensatz zur natürlichen Vollzirkulation, bei der die ganze Seeoberfläche für die Sauerstoffaufnahme zur Verfügung steht, kommt bei diesem System künstlicher Belüftung das Tiefenwasser nur in einem relativ kleinen Bereich mit der Luft in Berührung, wird dafür im Jahr bis zu zehnmal umgewälzt.

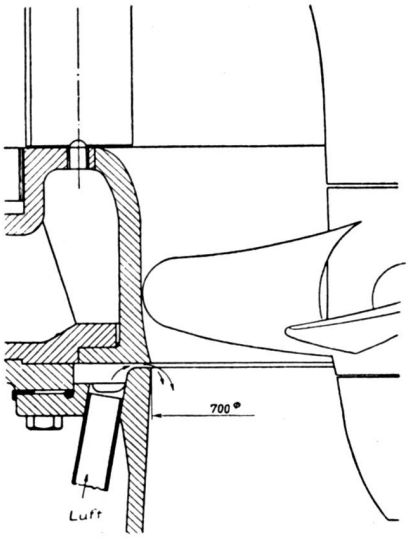

Abb. 5. Turbine mit Luftzuführungsspalt nach H. Wagner.

Belüftung kanalisierter Flüsse mittels Turbinen nach H. Wagner

Wurden in der Schweiz besonders Systeme künstlicher Seenbelüftung entwickelt, so spezialisierten sich deutsche Erfinder in der Belüftung kanalisierter Flüsse. Oberregierungsbaurat H. Wagner (Koblenz) studierte ein Verfahren, bei dem durch Turbinen von Wasserkraftwerken Sauerstoff ins Wasser eingeführt wird, wobei der unmittelbar hinter dem Turbinenlaufrad herrschende starke Unterdruck dazu benutzt wird, Luft durch einen Ringspalt anzusaugen und fein zu verteilen. Die hohe Eintrittsgeschwindigkeit der Luft, die gleichmässige Luftverteilung über den ganzen Umfang des Saugrohres, die intensive Durchwirbelung von Luft und Wasser und die verhältnismässig lange Kontaktzeit beim Durchströmen des Saugrohres befördern die Sauerstoffanreicherung; die Betriebskosten der ganzen Anlage halten sich in bescheidenen Grenzen.

Die Ergebnisse der Versuche, die anfangs des Jahres 1955 in der Versuchsanstalt Hermaringen an der Brenz durchgeführt wurden, sind erfolgversprechend: Die Sauerstoffanreicherung lag schon bei diesem ziemlich sauerstoffgesättigten Gewässer (Sättigungsgrad 80 %) bei bis zu 2 mg/l und kann voraussichtlich bei sauerstoffärmeren Flußstrecken noch beträchtlich gesteigert werden.

*

Die besprochenen Belüftungsverfahren von stehenden und fliessenden Gewässern wurden in dem eingangs erwähnten Kolloquium an der ETH vom 22. Februar 1957 diskutiert. Die Projektverfasser waren in der Folge so freundlich, uns ihre Unterlagen zur Verfügung zu stellen, wofür ihnen hiermit bestens gedankt sei.

Das Prinzip der künstlichen Belüftung von Seen und Flüssen wurde auch noch durch andere Persönlichkeiten, und andernorts, so z. B. in den USA, entwickelt. Es steht zu hoffen, dass die vermehrte Anwendung derartiger künstlicher Belüftungsprojekte zur Gewässersanierung in erheblichem Ausmass beitragen wird.