

Kapitel 1

ZUR PROBLEMATIK DER ERFASSUNG DES KÜNSTLICHEN SAUERSTOFFEINTRAGS

von H. Kobus

1.1 EINLEITUNG

Die starke Schmutzstoff- und Wärmebelastung der Fließgewässer in dicht besiedelten und hochindustrialisierten Ländern führt häufig zu erheblichen Störungen im Sauerstoffhaushalt. Da sich der Sauerstoffgehalt aus einer Bilanz aus Sauerstoffzufuhr und -verbrauch ergibt, lassen sich die Ursachen für Sauerstoffmangel entsprechend zurückführen auf eine Verminderung der Sauerstoffaufnahme (beispielsweise durch Verringerung der Fließgeschwindigkeit oder Aufwärmung des Gewässers) oder auf eine Erhöhung des Sauerstoffverbrauchs (beispielsweise durch erhöhten aeroben bakteriellen Abbau infolge Abwassereinleitung oder Temperaturerhöhung. Als Folge des Sauerstoffmangels läßt die Selbstreinigung des Gewässers nach, und die aeroben Abbauprozesse können in anaerobe Prozesse umschlagen, was zur Bildung von Faulschlamm und Verödung der Gewässer führt. Derartige Minderungen der Wasserqualität beeinträchtigen jede Art der Wassernutzung und gefährden den Fischbestand. Diese unerwünschten Zustände können vornehmlich bei Niedrigwasser oder bei hohen Wassertemperaturen sowie im Winter bei Eisbildung auftreten.

Es ist daher notwendig, Maßnahmen zur Erhaltung zufriedenstellender Sauerstoffverhältnisse in Oberflächengewässern zu ergreifen. Hierfür kommt in erster Linie eine Verminderung der eingeleiteten Schmutzstoffe durch Abwasserreinigungsmaßnahmen in Frage; allerdings läßt sich eine bestimmte Restbelastung mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand nie ganz vermeiden, so daß oft unter ungünstigen Wasserführungsbedingungen zufriedenstellende Verhältnisse im Gewässer durch Abwasserreinigung allein nicht erzielt werden können. In solchen Fällen haben sich Maßnahmen zur künstlichen Sauerstoffanreicherung als sehr nützlich erwiesen.

Es gibt eine Vielzahl technischer Möglichkeiten zur Sauerstoffanreicherung, welche größtenteils in der Praxis mit

mehr oder weniger großem Erfolg bereits angewendet wurden. Inwieweit hierbei jeweils eine optimale Auslegung der Anlage erreicht wurde, ist häufig unbekannt, da die Strömungsvorgänge an solchen Anlagen komplexer Natur sind und teilweise erst in den letzten Jahren im Labor näher erforscht wurden [1].

Eine umfassende Zusammenstellung des damaligen Standes der Technik der künstlichen Gewässerbelüftung ist in dem im Januar 1971 erschienenen Arbeitsblatt AW 161 des KfK/ATV/DVGW [2] enthalten. In den nahezu 10 Jahren seit dem Erscheinen dieses Arbeitsblatts wurden nun eine Vielzahl von Naturmessungen und Laboruntersuchungen zum künstlichen Sauerstoffeintrag durchgeführt, die neue Einsichten und Erkenntnisse lieferten. Diese Arbeiten sind Gegenstand des vorliegenden Mitteilungsheftes.

Bei der Erforschung des künstlichen Sauerstoffeintrags sind Laborversuche und Naturmessungen gleichermaßen unerlässlich. Einerseits ist man wegen der Vielzahl der Einflußgrößen zwingend auf Modellversuche unter vereinfachten und kontrollierbaren Bedingungen angewiesen, andererseits ist die quantitative Naturmessung ebenso unerlässlich, da eine direkte Übertragbarkeit vom kleinmaßstäblichen Modell auf Naturverhältnisse nicht gegeben ist.

Der Ausschuß "Wasserbauliches Versuchs- und Meßwesen" hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Fachleute auf dem Gebiet des Wasserbaulichen Versuchswesens einerseits und des Naturmeßwesens andererseits zusammenzuführen und die einschlägigen neueren Ergebnisse vorzustellen, um damit den Erfahrungsaustausch und die Entwicklung des Kenntnisstandes zu fördern.

1.2 ARTEN DER KÜNSTLICHEN SAUERSTOFFANREICHERUNG

Es gibt eine Vielzahl technischer Verfahren zur Erzielung einer örtlichen Sauerstoffanreicherung. Im Gegensatz zum natürlichen Sauerstoffeintrag, der durch die Oberfläche entlang des gesamten Gewässers erfolgt, ist die Eintragungswirkung hier stets auf den Standort der Anlage beschränkt [3]. Anlagen zur künstlichen Sauerstoffanreicherung dienen zur örtlichen Erhöhung des Sauerstoffgehalts in Bedarfssituationen und werden deshalb meist nur kurzfristig in den Zeiten betrieben, in denen der Sauerstoffgehalt des Flusses dies erfordert. Insofern stellen sie Notmaßnahmen zur Unterstützung der Selbstreinigung des Flusses dar, deren Einsatzhäufigkeit wesentlich durch die Abwasserbelastung des Flusses bestimmt wird.

"Künstlicher" (örtlicher) Sauerstoffeintrag in Flüsse		"Natürlicher" Sauerstoffeintrag in Flüsse durch die Oberfläche
Erzwungener Luft- u. Sauerstoffeintrag:	Bauwerksbedingter Lufteintrag:	
zusätzlicher Energieaufwand erforderlich z.B.: Druckluftanlagen Sauerstoffbegasung Oberflächenbelüfter Strahldüsen etc.	(Selbstbelüftung) z.B. Wehrüberfälle Verschlüsse Tosbecken Kaskaden etc.	

Bild 1.1: Arten des Sauerstoffeintrags

Anlagen zur künstlichen Sauerstoffanreicherung in Flüssen lassen sich prinzipiell in zwei verschiedene Kategorien einordnen (Bild 1.1). Während beim "erzwungenen Lufteintrag" ein beträchtlicher Energieaufwand zum Einblasen oder Eintragen der Luft in das Wasser erforderlich ist, wird beim "bauwerksbedingten Lufteintrag" die Energie des Flusses ausgenutzt. Dem steht gegenüber, daß für den erzwungenen Luft- und Sauerstoffeintrag der Standort der Anlage entlang des Flusses frei wählbar ist und somit an den Ort des größten Bedarfes bzw. der größten Eintragungswirkung gelegt werden kann, wohingegen beim bauwerksbedingten Lufteintrag der Standort durch das Bauwerk (z.B. Wehr) vorgegeben ist [4].

Im Zuge der intensiven Bemühungen um die Abwasserreinigung ist zu hoffen, daß die Belastung der Oberflächengewässer in Zukunft abnehmen wird und somit auch die Notwendigkeit zur künstlichen Sauerstoffanreicherung weniger gegeben sein wird. Im Lichte dieser Entwicklung erscheint es sinnvoll, durch entsprechende Gestaltung von Wehren, Verschlüssen und Tosbecken den jeweiligen bauwerksbedingten Sauerstoffeintrag so weit wie möglich zu steigern, da dies in der Regel durch einfache bauliche Maßnahmen erreicht werden kann und keinerlei Betriebs- und Energiekosten verursacht. Aus dieser Weise sollte es möglich werden, den mit Betriebskosten verbundenen Einsatz von Anlagen des erzwungenen Luft- oder Sauerstoffeintrages auf wenige Notsituationen und Ausnahmefälle zu beschränken.

1.3 DER VORGANG DES SAUERSTOFFEINTRAGS

Der Prozeß des künstlichen Sauerstoffeintrags ist deshalb äußerst komplex, weil er sowohl von den Strömungsbedingungen als auch von der Wasserbeschaffenheit sowie von den Sättigungsverhältnissen der Anströmung abhängt.

$$\text{Sauerstoffeintrag} = f \left\{ \begin{array}{l} \text{Hydromechanik der Anlage} \\ \text{Wasserbeschaffenheit} \\ \text{Sauerstoffsättigungswert} \\ \text{und -defizit} \end{array} \right\} \quad (1.1)$$

Der Sauerstoffeintrag vollzieht sich in zwei Schritten [5]: Zunächst wird durch Einsatz von Energie (Fremdenergie beim erzwungenen Eintrag, Energie des Gewässers beim bauwerksbedingten Eintrag) Luft bzw. Gas hydromechanisch dem Gewässer zugeführt. Beim Einblasen von Druckluft oder Sauerstoff entstehen Gasblasen, und auch beim Aufprallen von Wasserstrahlen auf die Wasseroberfläche oder auf Wände wird Luft mitgerissen und in Form von Blasen im Wasser verteilt. Während die Größe des zugeführten Luftvolumenstroms von der Druckluftanlage bzw. von der Hydromechanik der Strahlströmung allein bestimmt wird, hängt die Verteilung der Luft im Gewässer und die Größe der entstehenden Blasen nicht nur von der Turbulenz des Strömungsfeldes ab, sondern auch von der chemischen Beschaffenheit des Wassers.

An den so hydromechanisch erzeugten Grenzflächen zwischen Luft- bzw. Sauerstoffblasen und Wasser muß nun im zweiten Schritt der Stoffübergang von der Blase in das Wasser erfolgen. Dieser hängt in erster Linie vom Konzentrationsgradienten zwischen Blase und Wasser ab. Dieser ist proportional dem jeweiligen Sauerstoffdefizit (Differenz zwischen dem Sättigungswert und der Sauerstoffkonzentration). Bei gleichem Defizit wird der Stoffübergang zusätzlich beeinflusst durch die chemische Beschaffenheit der Grenzfläche; er ändert sich demnach mit der Beschaffenheit des Wassers und liegt bei stark verunreinigtem Wasser erheblich niedriger als bei Reinwasser.

Die Sättigungskonzentration für Sauerstoff im Wasser ist stark abhängig vom Druck, von der Temperatur und vom Salzgehalt des Wassers. Der Ausgangssauerstoffgehalt vor der Anlage wiederum wird durch die Vorbelastung und die Umgebungsbedingungen bestimmt, so daß das jeweilige Sauerstoffdefizit von Anlage zu Anlage sehr stark variieren kann und zudem an jedem Standort erheblichen zeitlichen Schwankungen unterliegt.

Diese komplexen Zusammenhänge erschweren einen objektiven Vergleich der Sauerstoffeintragungswirkung verschiedener Anlagen erheblich. Aus gemessenen Werten müssen zunächst vergleichbare Werte unter "Standardbedingungen" ermittelt werden, (z.B. 100% Defizit, 20° C). Nach wie vor nicht erfaßbar bzw. nur grob abschätzbar ist der Einfluß der Wasserbeschaffenheit.

Aus diesen Ausführungen wird ersichtlich, daß Anlagen zur Sauerstoffanreicherung nur interdisziplinär unter Heranziehung verschiedener Fachgebiete näher erforscht und verstanden werden können (Bild 1.2). Da jedes dieser Fachgebiete seine eigene Betrachtungsweise und auch meist seine eigene Terminologie entwickelt hat, ist es wenig verwunderlich, wenn auf diesem Gebiet noch zahlreiche Widersprüchlichkeiten und offene Fragen auftreten.

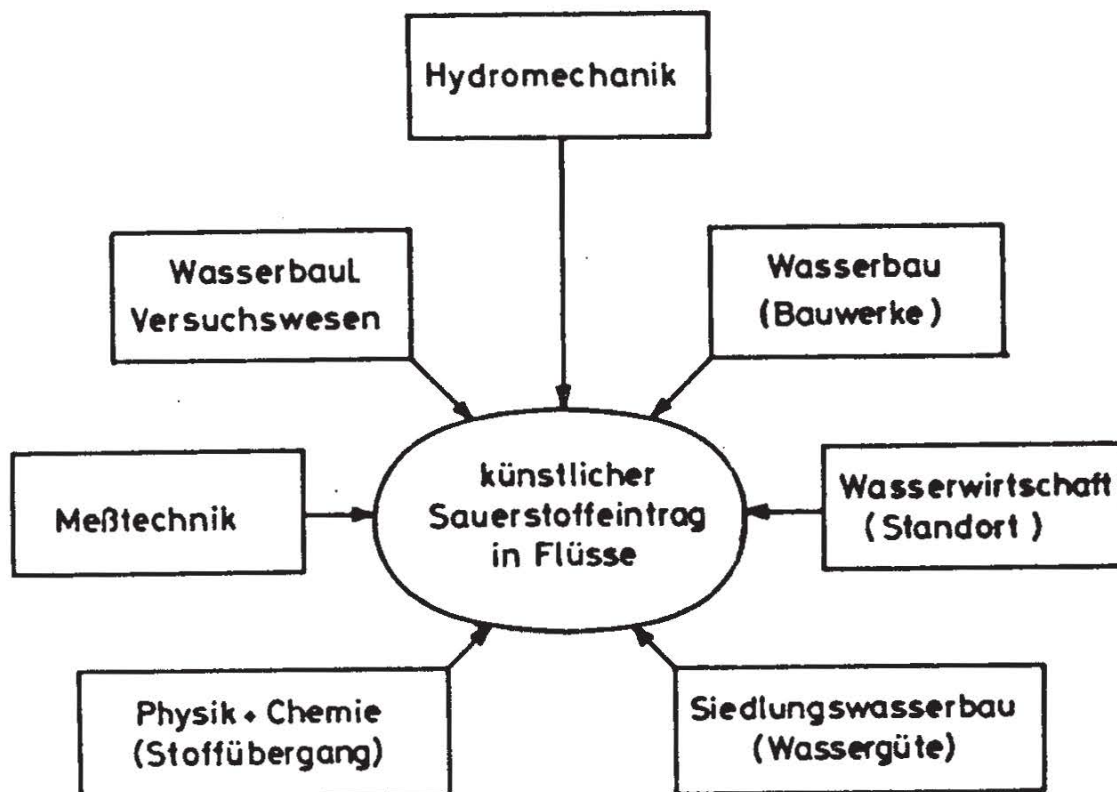


Bild 1.2: Betroffene Fachgebiete

1.4 PROBLEME

Das Verständnis und die quantitative Erfassung des Sauerstoffeintrags durch technische Maßnahmen erfordert Fortschritte bei der Lösung folgender Probleme:

- (1) Entwicklung zuverlässiger und vergleichbarer Meßverfahren für Natur- und Laborbedingungen.
- (2) Entwicklung bzw. Erweiterung von Übertragungskriterien vom Modellversuch im Labor auf Naturverhältnisse. Hier gilt es in erster Linie, den Einfluß der Wasserbeschaffenheit quantitativ zu erfassen.
- (3) Anwendung vergleichbarer Maßstäbe für die Eintragswirkung von Anlagen zur Sauerstoffanreicherung. Hierfür sind derzeit noch eine Vielzahl von Maßstäben in Gebrauch, die je nachdem Anwendung finden, ob die Betrachtungsweise mehr auf energiewirtschaftliche und Kostenaspekte, auf physikalische Aspekte oder auf siedlungswasserwirtschaftliche Aspekte ausgerichtet ist. Neben anderen in den nachfolgenden Beiträgen gegebenen Definitionen seien hier stellvertretend genannt:

$$E_1 = \frac{\text{kg O}_2\text{-Eintrag}}{\text{kWh aufgebrauchte Leistung}} \quad (1.2)$$

$$E_2 = \frac{\text{kg O}_2\text{-Eintrag}}{\text{kg Lufteintrag durch Maßnahme}} \quad (1.3)$$

$$E_3 = \frac{\text{Erhöhung der Sauerstoffkonzentration}}{\text{Ausgangsdefizit (oberstrom)}} \quad (1.4)$$

Während der Maßstab E_1 für Anlagen mit erzwungenem Lufteintrag mit Hinblick auf den anfallenden Energiebedarf von großem Interesse ist, bleibt er im Falle des bauwerksbedingten Lufteintrags bedeutungslos. Der Maßstab E_2 wiederum ist nur sinnvoll, wenn die zugeführte Luftmenge bekannt ist (z.B. bei Druckluftanlagen, Sauerstoffbegasung).

Diese Fragen mögen genügen, um die Notwendigkeit aufzuzeigen für eine einheitliche Betrachtungs- und Vorgehensweise, welche den direkten Bezug und Vergleich der verschiedenen Untersuchungen erlaubt. Sinn dieser Einführung war es, die Problematik aufzuzeigen, zu der die nachfolgenden Beiträge dieses Mitteilungsheftes neuere Untersuchungsergebnisse aus Labor und Natur vorstellen werden. Ein verbessertes Verständnis der quantitativen Zusammenhänge trägt dazu bei, die angesprochenen Probleme schließlich einer befriedigenden Lösung zuzuführen.

1.5 LITERATURHINWEISE

- [1] Kobus, H.: "Bemessungsgrundlagen und Anwendungen für Luftschleier im Wasserbau", Heft 7, Wasser und Abwasser in Forschung und Praxis, E. Schmidt-Verlag, 1973.

- [2] KfK-ATV-DVGW Arbeitsblatt AW 161: "Die künstliche Belüftung von Oberflächengewässern", Januar 1971.

- [3] Rao, N.L.S. und Kobus, H., Herausgeber: "Self-Aerated Free Surface Flows", Heft 10, Wasser und Abwasser in Forschung und Praxis, E. Schmidt-Verlag, 1975.

- [4] Kobus, H.: "Möglichkeiten der Gewässerbelüftung", Kapitel XIII in: "Wärmeeinleitung in Strömungen", Technischer Verlag Resch KG, Gräfelfing bei München, 1975.

- [5] Kobus, H. und Markofsky, M.: "A Unified Presentation of Weir-Aeration Data", ASCE Journal of the Hydraulics Division, April 1978.