

IV. AUSBREITUNG UND DURCHMISCHUNG BEI WARMWASSEREINLEITUNGEN IN GEWÄSSER

von

H. Kobus

1. EINLEITUNG

Die Vorhersage der Temperaturverhältnisse in Gewässern ist im allgemeinen eine schwierige Aufgabe, die bisher noch nicht zufriedenstellend gelöst ist. Andererseits ist die Kenntnis der Temperaturen in natürlichen Gewässern eine unabdingbare Voraussetzung dafür, die Auswirkungen von Warmwassereinleitungen auf die Gewässerqualität beurteilen zu können. Im vorliegenden Beitrag soll daher ein Überblick über die Einflußgrößen gegeben werden, welche die Temperaturverhältnisse in einem natürlichen Gewässer bestimmen, um aus dieser Gesamtsicht heraus die Einsatzmöglichkeiten und Grenzen physikalischer und mathematischer Vorhersagemodelle zu beurteilen. Die verschiedenen Vorhersagemethoden sollen hier nicht im einzelnen diskutiert werden, sondern es sollen lediglich die Gesichtspunkte aufgezeigt werden, nach denen die Entscheidung für die eine oder andere Art von Modell gefällt werden muß. Gleichzeitig soll auch gezeigt werden, inwiefern durch bauliche oder strömungstechnische Maßnahmen Ausbreitungs- und Temperaturverhältnisse aktiv beeinflußt werden können.

2. EINFLUSSGRÖSSEN

Die Temperaturverteilung in einem natürlichen Gewässer wird bestimmt durch die "natürlichen" Gegebenheiten des Wasserkörpers (ohne menschliche Eingriffe) und durch Art, Menge und Ort der Warmwassereinleitungen. Die Antwort auf die Frage, welche Temperatur sich in einem vorgegebenen Gewässer infolge von Warmwassereinleitungen einstellen wird, hängt von einer Vielzahl von Einflußgrößen ab. Neben den Orts- und Zeitkoordinaten und den Stoffeigenschaften sind hier zu berücksichtigen:

(A) Einleitungsparameter:

- Geometrie des Auslasses
- Geometrie des Auslaßbauwerks
- Massenfluß Q_0
- Impulsfluß M_0 nach Größe und Richtung
- Auftrieb B_0 , gegeben durch den Massenfluß Q_0 und die Temperaturdifferenz zwischen eingeleitetem und Empfängerfluid.

(B) Gewässerparameter:

- Gewässertiefe H
- Durchfluß Q_h oder Quergeschwindigkeit U_h

- Vertikale Dichteschichtung oder horizontale Dichtegradienten im Gewässer
- Bodenreibung
- Windeinwirkung
- Wärmeaustauschvorgänge an der Oberfläche und an der Sohle des Gewässers
- Seitliche Begrenzung des Gewässers
- (Coriolisbeschleunigung bei großräumigen Betrachtungen)

Ob und inwiefern die hier aufgezählten Parameter von Bedeutung für das Temperaturfeld sind, hängt wesentlich vom Bezugsmaßstab der Betrachtung ab. Die aufgezählten Parameter verlieren mit zunehmendem Abstand von der Einleitungsstelle an Bedeutung, und zwar in der Reihenfolge ihrer Aufzählung. Dies ermöglicht, folgende Bereiche zu unterscheiden:

- (1) Unmittelbar bauwerksnaher Bereich (Ausdehnung bis ca. 10 D (wobei D die Hauptabmessung des Einleitungsquerschnitts ist). Hier müssen alle Einleitungsparameter berücksichtigt werden, während die Gewässerparameter bedeutungslos sind.
- (2) Nahfeld (Ausdehnung von ca. 10 D bis 100 - 1000 D). Neben den Einleitungsparametern Q_0 , M_0 und B_0 sind hier Wassertiefe, Quergeschwindigkeit und Dichtegradienten von Bedeutung (siehe Bilder 2 und 4).
- (3) Zwischenbereich (Bereich der Wechselwirkungen zwischen Nah- und Fernfeld). In diesem Bereich sind zusätzlich die Bodenreibung, der Wärmeaustausch an der Oberfläche und die Windschubspannung von Bedeutung.
- (4) Fernfeld: Großräumiger Bereich fernab von der Einleitung, in dem die dynamischen Einflüsse der Einleitung auf das Strömungsfeld unberücksichtigt bleiben können. Hier sind die Gewässerparameter ausschließlich maßgebend.

Die wesentlichen Merkmale des Nah- und Fernfeldes sind einander in Bild 1 gegenübergestellt.

NAHFELD	FERNFELD
Einleitungsparameter dominieren	Gewässerparameter dominieren
Starke, aktive Durchmischung	Schwache, passive Durchmischung
Impulsfluß und Auftrieb beeinflussen das Strömungsfeld	Einleitung hat keine dynamischen Auswirkungen auf das Strömungsfeld
Durchmischung infolge Einleitungsbedingungen durch Menschen beeinflussbar	Durchmischung infolge natürlicher Prozesse durch Menschen nicht beeinflussbar

Bild 1: Einflußbereiche bei Einleitungen

3. BEHANDLUNGSMETHODEN

3.1. Nahfelduntersuchungen

Im Nahfeld können im allgemeinen die aktiven Dispersionsvorgänge nicht vernachlässigt werden; eine getrennte Behandlung von Strömungs- und Temperaturfeld ist nicht möglich.

Kühlwassereinleitungen erfolgen fast ausnahmslos als Auftriebstrahlen in der einen oder anderen Form. Deshalb können die Bewegungsgleichungen im Nahfeld meist vereinfacht werden aufgrund der Tatsache, daß die Geschwindigkeiten in Hauptströmungsrichtung sehr viel größer sind als in anderen Richtungen (Grenzschichtvereinfachungen). Bei einfachen axial- oder plansymmetrischen Strömungsanordnungen lassen sich mit Hilfe von Ähnlichkeitsprofilen geschlossene Lösungen erarbeiten. Für alle dreidimensionalen Strömungsfelder ist es jedoch unerlässlich, die auftretenden Ausbreitungsvorgänge experimentell zu untersuchen. Numerische Lösungen der (vereinfachten) Gleichungen sind zwar möglich, bedürfen jedoch gleichwohl des Experiments zur Ermittlung der turbulenten Austauschkoefizienten (bzw. äquivalenter Beiwerte wie beispielsweise des Einmischkoeffizienten α und des Ausbreitungsverhältnisses λ). Einige typische Einleitungskonfigurationen sind in Bild 2 dargestellt.

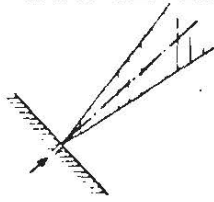

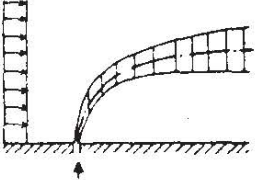
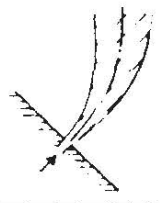
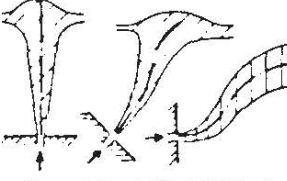
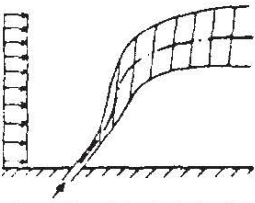

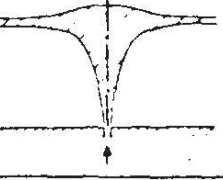
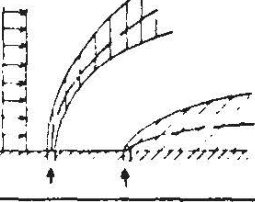
Empfänger-Fluid Strahl	Homogenes, ruhendes Medium	Einfluß einer Dichteschichtung	Einfluß einer Grundströmung
	$\rho_e = \text{const}$ $U_H = 0$	Stabile Schichtung $\rho(z)$ $U_H = 0$	$\rho_e = \text{const}$ $U_H = \text{const}$
Impulsstrahl (M_0 maßgebend)			
Auftriebstrahl mit Impuls (M_0 und W_0 maßgebend)			
Auftriebstrahl (W_0 maßgebend)			

Bild 2

Einteilung von Auftriebstrahlströmungen

Eine wichtige Einschränkung der Aussagekraft solcher "Nahfelduntersuchungen" liegt darin, daß das Fernfeld jenseits des betrachteten Bereichs stets als eine Senke unendlich großer Kapazität für die eingeleiteten Stoffe betrachtet wird (was nicht notwendigerweise den natürlichen Gegebenheiten entspricht).

Ausbreitungsvorgänge im Nahfeld von Kühlwassereinleitungen werden in aller Regel im physikalischen Modell untersucht. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse solcher Modellversuche auf Naturverhältnisse ist dann gewährleistet, wenn nicht nur die Längen und Zeiten, sondern auch alle wirksamen Kräfte im Modell "maßstabsgerecht" - also in einem konstanten Verhältnis zur Natur - nachgebildet werden. Hieraus ergeben sich die Ähnlichkeitsgesetze für solche Modelluntersuchungen, welche in Bild 3 zusammengefaßt sind.

Darzustellende Größe	Kenngroße	Ähnlichkeitsgesetz	Angenäherte Ähnlichkeit	Modellregeln	Modellmaßstäbe
Geometrie Trägheitsreaktionen und Druckkräfte	$l_r = \frac{l_p}{l_m}$ $y_r = \frac{y_p}{y_m}$	$l_r = \text{const}$ $y_r = \text{const}$	—	(Überhöhung) max 1 10	bestimmen Wahl der Längenmaßstäbe
Oberflächen- Spannung	$W = \frac{\bar{u}}{\sqrt{\sigma/\rho l}}$	$W_r = \frac{W_p}{W_m} = 1$	$W_m > W_{\text{krit}}$	$y_m > 2 \div 3 \text{ cm}$	
Zähigkeit	$R = \frac{\bar{u} l}{\mu/\rho}$	$R_r = 1$	$R_m > R_{\text{krit}}$	Strahl: $\frac{u_0 d_0}{\mu/\rho} > 3000$ Gerinne: $\frac{\bar{u} y}{\mu/\rho} > 500$	
Schwerkraft	$F = \frac{\bar{u}}{\sqrt{g y}}$	$F_r = 1$	bei $IF \rightarrow 0$ (Seen, Becken) ohne Bedeutung	$\bar{u}_r = y_r^{1/2}$	diktiert Geschwindigkeits- maßstab \bar{u}_r
Auftrieb	$F_D = \frac{\sigma}{\sqrt{\frac{\Delta \rho}{\rho} g y}}$	$F_{Dr} = 1$	—	$\left(\frac{\Delta \rho}{\rho}\right)_r = u_r^2 y_r^{-1} (=1)$	diktiert Dichtemaßstab $\left(\frac{\Delta \rho}{\rho}\right)_r$
Reibung	Rauigkeit k_r oder $\lambda_r (R_r, \frac{4 R_D}{k})$	$k_r = 1$ oder $\lambda_r = 1$	entsprechend R_m geringere Modellrauigkeit	kann Überhöhung des Modells notwendig machen	diktiert Modellrauigkeit bzw Überhöhungsfaktor(1)
Wärmeabgabe	Exponent des Abkühlgesetzes: $\frac{k l}{(\rho c_p) y \bar{u}}$	$\frac{K_r l_r}{y_r \bar{u}_r} = 1$ (mit $(\rho c_p)_r = 1$)	—	in Froude-Modell $K_r = y_r^{3/2} l_r^{-1}$ $(K_r \approx \frac{4}{3})$	diktiert einen Überhöhungsfaktor (2) (Nachbildung der atmosphärischen Bedingungen)

Bild 3

Modellgesetze für Kühlwassereinleitungen

Die Ähnlichkeitsforderungen für physikalische Modelle von Kühlwassereinleitungen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Geometrische Gegebenheiten sowie die Begrenzung bezüglich Oberflächenspannung und Zähigkeitseinfluß bestimmen das größtmögliche Längenverhältnis (im allg. einige Hundert für unverzerrte und ca. 1000 für überhöhte Modelle).
- In Fließgewässern bestimmt die Froudezahl Fr den Geschwindigkeitsmaßstab, und Einhaltung der densimetrischen Froudezahl Fr_D erfordert identische Dichteunterschiede in Modell und Natur. In stehenden oder sehr langsam fließenden Gewässern kann $(\Delta \rho / \rho)_r$ von Eins verschieden gewählt werden: Der Geschwindigkeitsmaßstab wird dann durch die densimetrische Froudezahl bestimmt.

- Korrekte Nachbildung der Bodenreibung erfordert stets kleinere relative Rauigkeiten im Modell und kann häufig nur durch Wahl einer Modellüberhöhung erreicht werden.
- Korrekte Nachbildung der Wärmeabgabe an der Oberfläche erfordert eine Modellüberhöhung, die im allgemeinen nicht mit den Rauigkeitsforderungen übereinstimmt.

Durch die Ähnlichkeitsforderungen einerseits und die maximal realisierbare Modellgröße andererseits sind Grenzen für die Gebietsgrößen gesetzt, die im physikalischen Modell naturgetreu abgebildet werden können. Aufgrund der Wassertiefenverhältnisse (in der Natur einige Meter, im Modell einige Zentimeter, kann der vertikale Längenmaßstab bestenfalls in der Größenordnung (100) gewählt werden, und bei einer Höhenverzerrung der horizontale Längenmaßstab in der Größenordnung (1000). Setzt man als Größenordnung der maximalen Modellausdehnung 100 m an, dann ergeben sich hieraus Anhaltswerte für die maximal darstellbare Gebietsgröße:

im unverzerrten Modell: 0 (10 km)

im überhöhten Modell: 0 (100 km)

Hier ist anzumerken, daß Ausbreitungsvorgänge im überhöhten Modell nur unter stark einschränkenden Bedingungen simuliert werden können und daß insbesondere Einleitungen an Flüssen sich nur im unverzerrten Modell naturgetreu nachbilden lassen.

3.2. Fernfelduntersuchungen

Großräumige Betrachtungen von Gewässern oder Flußsystemen, wie sie beispielsweise zur Erstellung von Wärmelastplänen erforderlich sind, stützen sich in der Regel auf mathematische Modelle, da physikalische Modelle hierfür wegen der oben genannten Einschränkungen nicht geeignet sind.

Mathematische Modelle bauen auf Vereinfachungen der Bewegungsgleichungen auf. Für Flüsse sind querschnittsgemittelte eindimensionale Modelle gebräuchlich, für Seen und Ästuarien kommen horizontal-zweidimensionale (über die Wassertiefe gemittelte) Modelle zur Anwendung. Dreidimensionale Modelle mit entsprechend höherem Speicherbedarf und Rechenaufwand befinden sich zur Zeit noch im Entwicklungsstadium. Allen gebräuchlichen numerischen Wassergütemodellen ist gemeinsam, daß sie erst das reduzierte Gleichungssystem für das Strömungsfeld lösen und dann unter Verwendung der Lösung die Diffusionsgleichung zur Ermittlung des Temperaturfeldes behandeln. Dies bedeutet eine Vernachlässigung der Auftriebseffekte: "aktive" Ausbreitungsvorgänge werden ignoriert. Damit ergibt sich entweder eine Schwierigkeit bei der Formulierung der Randbedingungen an der Einleitungsstelle, oder aber die Notwendigkeit, das "Nahfeld" aus der Betrachtung auszuklammern. In diesem Fall müssen die Nahtstellen zwischen Nah- und Fernfeld festgelegt und die Randbedingungen dort aus der Nahfelduntersuchung bezogen werden.

Jedes mathematische Modell einer turbulenten Strömung muß notwendigerweise einen Ansatz für die Wirbelviskosität (oder die Reynolds'schen Scheinspannungen) enthalten, welcher die Qualität des Modells insgesamt bestimmt. Es ist meist

schwierig, für die turbulenten Diffusionskoeffizienten realistische Annahmen zu treffen - insbesondere in den vereinfachten ein- oder zweidimensionalen Gleichungssystemen, in denen diese Koeffizienten zu einem Sammelbecken für eine Reihe nicht erfaßter physikalischer Einflüsse werden. Andererseits hängt die Aussagekraft des numerischen Modells unmittelbar von der Güte dieser Annahmen ab: Voraussagen aus solchen Rechnungen sind daher grundsätzlich nur dann als zuverlässig zu betrachten, wenn die empirischen Beiwerte anhand von Naturmessungen oder physikalischen Modellversuchen bestätigt und überprüft worden sind. Dies sei anhand von Bild 4 illustriert, wo vier verschiedene mathematische Modelle für Oberflächeneinleitungen in Fließgewässer dargestellt sind. Mangels geeigneter Naturmeßdaten werden diese Modelle lediglich untereinander verglichen. Es zeigt sich, daß bei geeigneter Wahl der empirischen Beiwerte alle diese Modelle gegebene Naturbedingungen gleich gut beschreiben können. Dies macht deutlich, daß diese Modelle für Simulationszwecke so gut oder so schlecht wie die hierfür gewählten Beiwerte sind, und daß sie als echte Vorhersagemodelle noch nicht eingesetzt werden können.

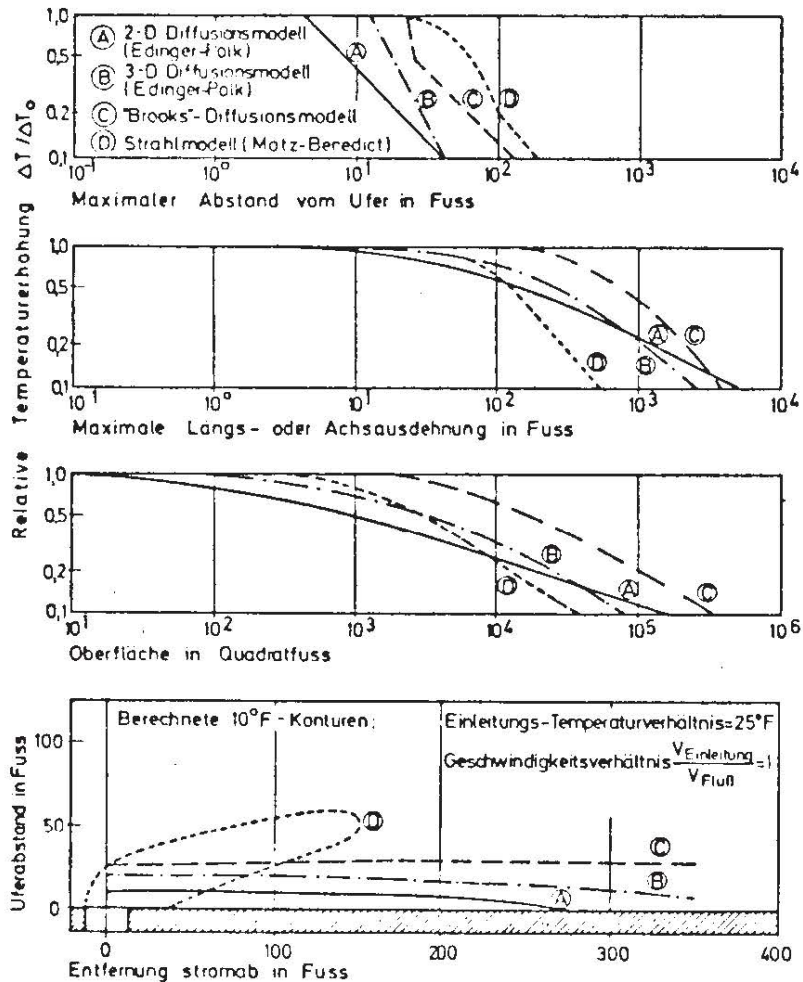


Bild 4

Vergleich mathematischer Modelle für Oberflächeneinleitungen in Flüsse (nach [6])

Eine Schwierigkeit besonderer Art stellt in numerischen Modellen die "numerische

Dispersion" dar, die sich aufgrund der gewählten Maschenweite für die Differenzenform der Gleichungen aus numerischen Gründen ergibt und mit der physikalischen, echten Dispersion nichts zu tun hat.

3.3. Wechselwirkungen zwischen Nah- und Fernfeld

Ausbreitungsvorgänge lassen sich nicht immer aufteilen in Nah- und Fernfeld, wobei die Untersuchung des ersteren die Randbedingungen für das zweite liefert. Es gibt eine Reihe von Einleitungskonfigurationen, bei denen Einleitungs- und Gewässerparameter in direkte Wechselwirkung treten und deshalb gleichzeitig berücksichtigt werden müssen. Dies trifft beispielsweise auf Einleitungen in flache Gewässer zu, wo die Einflüsse der Bodenreibung und der Wärmeabgabe an der Oberfläche das Nahfeld drastisch verändern können. Diese Fälle sind deshalb besonders schwierig zu handhaben, weil sie einerseits für die Formulierung eines realistischen numerischen Modells meist zu kompliziert sind, und andererseits in einem physikalischen Modell nicht alle relevanten Einflußgrößen modellgerecht dargestellt werden können.

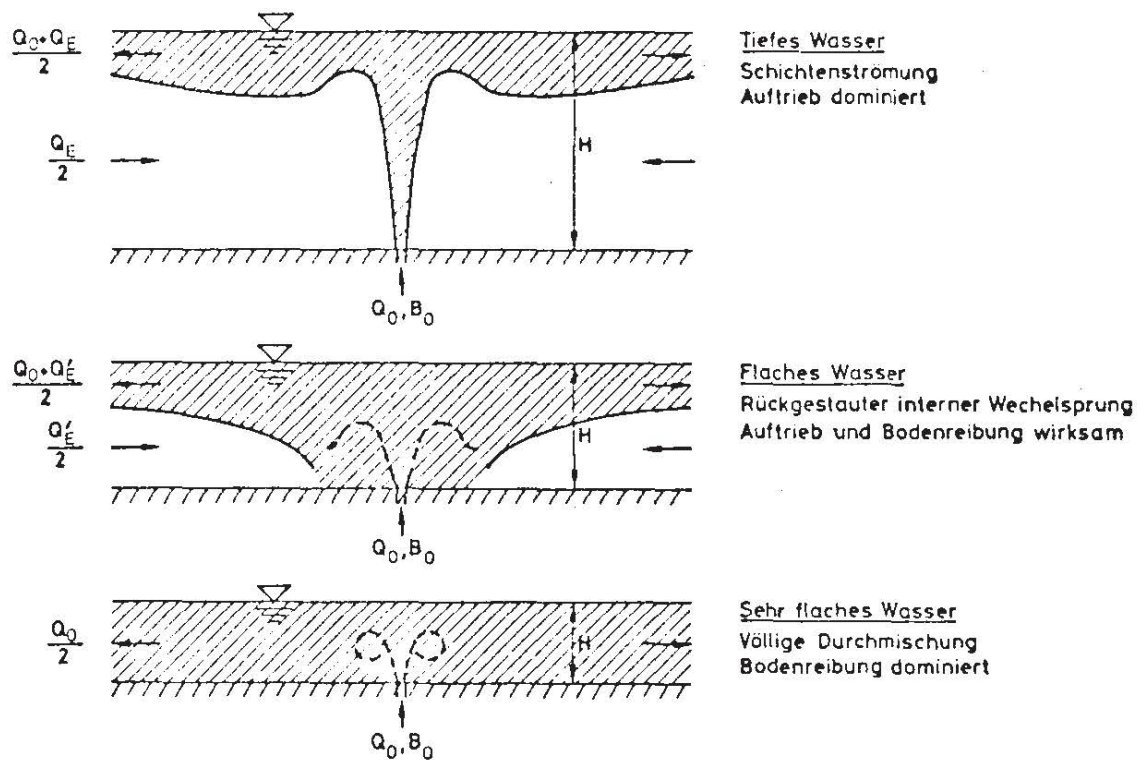


Bild 5

Einfluß der Wassertiefe auf das Strömungsfeld (vertikale Einleitung in ruhendes Medium, nach [5])

Am Beispiel einer senkrechten Einleitung in ein Gewässer großer seitlicher Ausdehnung sei unter Hinweis auf Bild 5 illustriert, daß der Bereich von Wechselwirkungen zwischen Nah- und Fernfeld in erster Linie durch die Wassertiefe bestimmt wird. Bei sehr großen Wassertiefen ist das Nahfeld von den Fernfeldbedingungen

weitgehend unabhängig, da das Fernfeld im wesentlichen als Senke funktioniert; bei extrem kleinen Wassertiefen tritt eine sofortige vollständige Durchmischung ein, so daß kein Nahfeld im eigentlichen Sinne mehr existiert und die Fernfeld-Randbedingungen direkt an der Einleitungsstelle erfüllt sind. Dazwischen liegt ein Bereich von Wassertiefen, bei denen intensive Wechselwirkungen auftreten können.

Ein vergleichender Überblick über die beiden Methoden, die zur Behandlung von Ausbreitungsvorgängen zur Verfügung stehen (Bild 6) macht deutlich, daß physikalische und mathematische Modelle sehr vieles gemeinsam haben. Dem Aufwand für die Konstruktion eines physikalischen Modells steht der Aufwand zur Ausarbeitung eines Lösungsschemas für das mathematische Modell gegenüber. Beide Methoden müssen sich gewisser Vereinfachungen und Näherungen bedienen und müssen auf die tatsächlichen Naturgegebenheiten erst "eingespielt" werden - im einen Fall durch Anpassen der empirischen Beiwerte, im anderen durch Änderung der Modellrauhigkeit.

SCHRITT	MATHEMATISCHES MODELL	PHYSIKALISCHES MODELL
1	Definition der Aufgabenstellung	
2	Identifizierung der wesentlichen wirksamen Kräfte	
3	Aufstellung des Gleichungssystems	Aufstellung der Ähnlichkeitsforderungen
4	Formulierung der Randbedingungen	
5	Entwicklung eines numerischen Lösungsverfahrens	Bau eines Modells
6	"Einspielen": Eichen des Modells (Variation der Beiwerte)	(Variation der Rauigkeit o.a.)
7	Rechnung → Lösung	Messung → Lösung
8	Optimierung der Lösung gemäß Aufgabenstellung (Variation der Eingabedaten)	(Modellumbauten)
9	Umrechnung auf Naturverhältnisse und Überprüfung	

Bild 6

Einsatz mathematischer und physikalischer Modelle zur Lösung von Ingenieurproblemen

Der wesentliche und prinzipielle Unterschied zwischen den beiden Verfahren besteht darin, daß ein mathematisches Modell die Formulierung der Gleichungen erfordert, die das Strömungsfeld beschreiben - was immer nur dann zuverlässig geschehen kann, wenn ein klares physikalisches Verständnis der zu untersuchenden Strömungsvorgänge vorliegt. Im Gegensatz hierzu erfordert ein physikalisches

Modell nur die ungleich einfachere Identifizierung der wesentlichen wirksamen Kräfte und hieraus die Formulierung von Ähnlichkeitsparametern. Für nicht eindeutig geklärte Strömungskonfigurationen stellt daher das physikalische Modell stets den zuverlässigeren Weg dar. Ein illustrierendes Beispiel hierzu zeigt Bild 7,

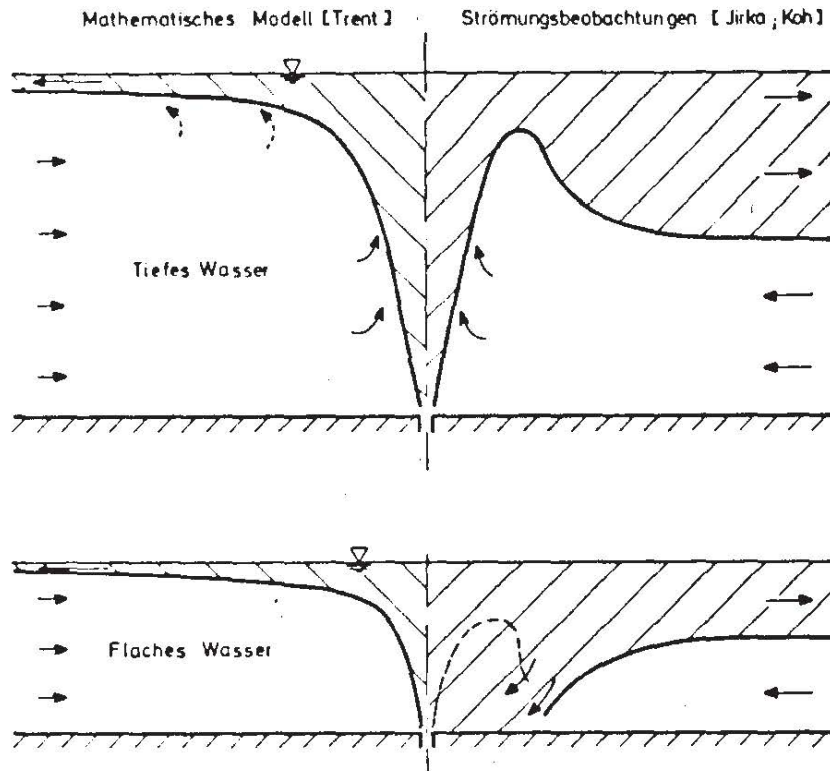


Bild 7

Vergleich eines mathematischen Modells mit Strömungsbeobachtungen

in dem die Ergebnisse eines numerischen Modells zur Berechnung von Auftriebsstrahlen in flachem Wasser Beobachtungen am physikalischen Modell gegenübergestellt sind. In Wirklichkeit tritt ein innerer Wechsellagerungsprozess auf, den das mathematische Modell deshalb nicht vorhersagen kann, weil es hierfür nicht programmiert ist.

4. MÖGLICHKEITEN DER BEEINFLUSSUNG VON AUSBREITUNGSVORGÄNGEN

4.1. Vor- und Nachteile vollständiger Durchmischung

Wenn sich Ausbreitungsvorgänge in Gewässern durch Ingenieurmaßnahmen beeinflussen lassen, dann ist zunächst zu klären, welches Ziel für solche Maßnahmen erstrebenswert erscheint.

Betrachtet man den Gewässerkörper lediglich als Zwischenspeicher für die Wärmeenergie auf deren Transport vom Kraftwerk in die Atmosphäre, dann scheint zunächst geboten, bei möglichst geringer Durchmischung eine möglichst rasche Abkühlung des Gewässers zu erreichen. Allerdings ergibt sich, daß es in vertikal wohldurchmischten Fließgewässern von untergeordneter Bedeutung ist, ob die

Warmwasserströmung lediglich einen Anteil des Querschnitts einnimmt oder gleichmäßig über diesen verteilt ist. Die hieraus sich ergebenden Unterschiede in der Wärmeabgabe an die Atmosphäre könnten, da in erster Näherung die Wärmeabgabe proportional der Temperaturdifferenz und der Gewässeroberfläche ist, nur in der tatsächlichen Nichtlinearität der Wärmeabgabe als Funktion der Temperaturdifferenz gesucht werden: eine Überschlagsbetrachtung des resultierenden Fehlers bei denkbaren Temperaturdifferenzen bestätigt jedoch, daß die so erzielbaren Unterschiede in der Wärmeabgabe von untergeordneter Bedeutung sind (Bild 8).

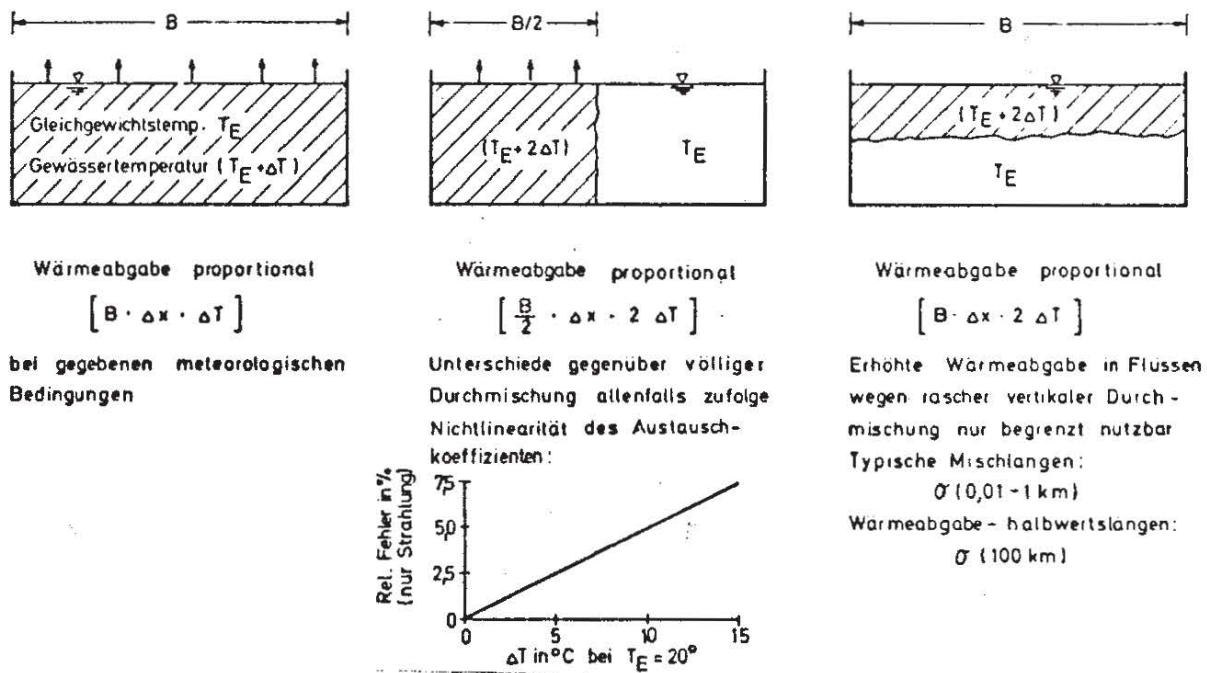


Bild 8

Der Einfluß unvollständiger Durchmischung auf die Wärmeabgabe

Anders verhält es sich, wenn es gelingt, eine vertikale Schichtung im Gewässer zu erzielen. Hierdurch kann tatsächlich die Wärmeabgabe an der Oberfläche bedeutend erhöht werden. Allerdings sorgt in rasch fließenden Gewässern die Bodenreibung und die hierdurch bedingte Turbulenz dafür, daß derartige Dichteschichtungen nach relativ kurzer Entfernung zerstört werden. In Seen und langsam fließenden (gestauten) Gewässern läßt sich ein derartiger Dichteschichtungseffekt zwar erzielen, aber hieraus ergeben sich andererseits neue Probleme hinsichtlich der Wasserqualität in den tieferen Schichten (Hypolimnion), da eine stabile Dichteschichtung den vertikalen Stoffaustausch und damit auch den Sauerstoffeintrag in das Hypolimnion effektiv verhindert.

Wie rasch an den jeweiligen Einleitungsstellen eine vollständige Durchmischung erreicht wird, ist demnach für die Wärmebilanz eines ungestauten Flusses im allgemeinen unerheblich. Dennoch kommt dieser Frage auch hier große Bedeutung zu, vor allem bei lokalen Problemstellungen wie der optimalen Anordnung von Einleitungs- und Entnahmbauwerken oder von Brunnengruppen zur Wasserversorgung aus Uferfiltrat.

4.2. Einleitungsbestimmungen

Welches Durchmischungsverhalten bei der Gestaltung des Einleitungsbauwerkes angestrebt wird, hängt entscheidend von den jeweils gültigen Einleitungsbestimmungen ab. In den U.S.A. wird beispielsweise außer einer Beschränkung der Gesamtwärmemenge, die eingeleitet werden darf, auch noch eine bestimmte Wasseroberfläche im Nahfeldbereich definiert, außerhalb der gewisse Temperaturgrenzwerte nicht überschritten werden dürfen. Dies ist gleichbedeutend mit der Forderung nach einer möglichst raschen vollständigen Durchmischung über den Flußquerschnitt, was wiederum dazu führt, daß in den U.S.A. auch an schiffbaren Flüssen Einleitungen mit Hilfe von Diffusoren sehr beliebt - wenn nicht gar von den Bestimmungen her erforderlich - sind. Es sei hier angemerkt, daß solche Diffusoren Probleme in schiffbaren Gewässern schaffen können.

In der Bundesrepublik Deutschland hingegen bestehen derzeit keinerlei Bestimmungen bezüglich der Durchmischung des eingeleiteten Warmwassers über den Querschnitt. Neben der Festlegung der Gesamtwärmemenge, die eingeleitet werden darf (in Abhängigkeit vom Abfluß und der Gewässertemperatur), bestehen lediglich Vorschriften bezüglich der Schifffahrt, welche besagen, daß die Quergeschwindigkeit in der Schifffahrtsrinne stets unter 30 cm/s bleiben muß, und daß keine Verbauung der Fahrrinne erfolgen darf. Hieraus ergibt sich, daß in deutschen Gewässern vornehmlich Einleitungskanäle mit freier Oberfläche oder Einleitungsbauwerke am Flußufer Anwendung finden.

4.3. Möglichkeiten der aktiven Einflußnahme

Bei Kühlwassereinleitungen sind der Durchfluß Q_0 und die Temperaturdifferenz ΔT_0 (somit auch der Auftrieb B_0) durch die Betriebsbedingungen vorgegeben. Die Technischen Möglichkeiten zur Beeinflussung des Ausbreitungsverhaltens beschränken sich daher auf den Impulsfluß M_0 , dessen Größe und Richtung durch geeignete Ausbildung des Auslaßquerschnitts und des Bauwerks variiert werden kann. Hiermit läßt sich die anfängliche Ausbreitung und Verdünnung steuern, aber die Auswirkungen solcher Ingenieurmaßnahmen bleiben auf das Nahfeld beschränkt.

Wesentlich läßt sich die Nahfeld-Ausbreitung auch durch die Wahl des Einleitungsortes beeinflussen, wie beispielsweise durch Anordnung am Innen- oder Außenufer einer Flußkrümmung oder in einem Ablösungsgebiet wie hinter einer Buhne etc.

Eine Möglichkeit der aktiven Einflußnahme bieten sogenannte Luftschleier, mit deren Hilfe an langsam fließenden Gewässern (z.B. an rückgestauten Flüssen oder im Tidebereich) in kritischen Zeiten die Ausbildung von Kurzschlußströmungen zwischen Einleitungs- und Entnahmebauwerk verhindert werden kann.

Hierdurch wird die eingangs getroffene Feststellung nochmals verdeutlicht, daß die Möglichkeiten der aktiven Einflußnahme auf den Nahfeldbereich beschränkt sind, während sich die Vorgänge im Fernfeld allenfalls örtlich verändern lassen.

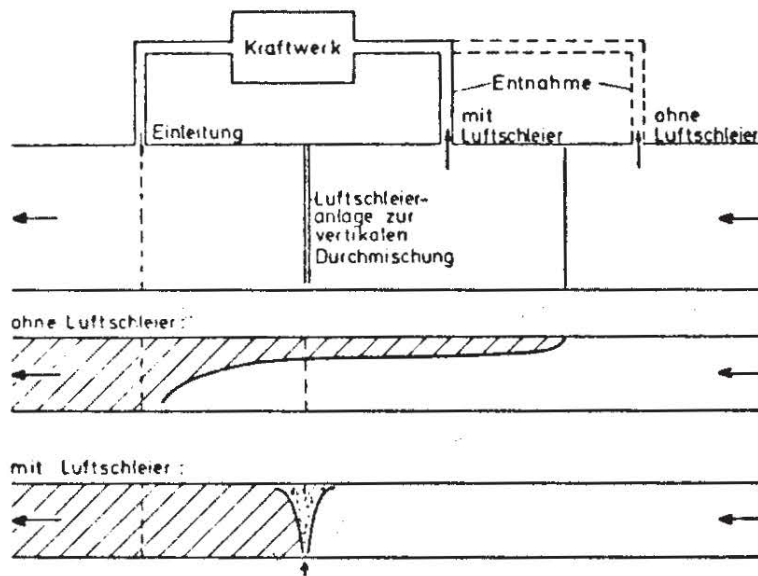


Bild 9

Einsatz von Luftschieieranlagen zur Vermeidung von Kurzschlußströmungen

5. SCHRIFTTUM

- 1 Brooks, N.H. : "Dispersion in Hydrologic and Coastal Environments"
Report No. KH-R-29, W.M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, California Institute of Technology
Dezember 1972.
- 2 Brooks, N.H., Roberts, P. : "Experiments on Line Diffusers of Finite Length in Shallow Water"
(unpublished).
- 3 Bøgh, P., Zünd, H. : "THEDY - ein Programm zur digitalen Simulation des instationären Wärmehaushalts von Flußsystemen"
Neue Technik (12), Nr. 81, Februar 1970.
- 4 Harleman, D.R.F. : "Longitudinal Temperature Distribution in Rivers and Estuaries: One-dimensional Mathematical Models"
Chapter 8, MIT Short Course on Engineering Aspects of Heat Disposal from Power Generation
Juli 1971.
- 5 Jirka, G., Harleman, D.R.F. : "The Mechanics of Submerged Multiport Diffusers for Buoyant Discharges in Shallow Water"
Ralph M. Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics, MIT, März 1973.

- 6 Jones, L.,
Benedict, B. : "Predictive Models for Surface Discharges in Rivers" (to be published in ASCE HY: 1974).
- 7 Kobus, H. : "Bemessungsgrundlagen und Anwendungen für Luftschleier im Wasserbau"
Heft 7, Wasser und Abwasser in Forschung und Praxis, Erich Schmidt Verlag, Berlin 1973.
- 8 Koh, R.C.Y.,
Brooks, N.H.,
List, E.J.,
Wolanski, E.J. : "Hydraulic Modeling of Thermal Outfall Diffusers for the San Onofre Nuclear Power Plant"
W.M. Keck Laboratory Report No. KH-R-30
Cal. Inst. of Technology, Januar 1974.
- 9 Schiller, E.,
Sayre, W.W. : "Vertical Mixing of Heated Effluents in Open Channel Flow"
Iowa Institute of Hydraulic Research, Rpt. 148,
September 1973.
- 10 Shirazi, M.A.,
Davis, L.R. : "Workbook of Thermal Plume Prediction;
Volume I: Submerged Discharge"
EPA-R2-72-005, 005a, August 1972.
- 11 Stolzenbach, K.,
Harleman, D.R.F. : "Physical Modeling of Heated Discharges"
Chapter 11, MIT Short Course on Engineering
Aspects of Heat Disposal from Power Generation,
1971.
- 12 Trent, D.S. : "A Numerical Model for Predicting Energy Dispersion in Thermal Plumes Issuing from Large, Vertical Outfalls in Shallow Coastal Water"
Ph.D. Dissertation, Oregon State University,
Januar 1973.