

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 70 (1978)  
**Heft:** 8-9

**Artikel:** Ein Färbversuch zur Abklärung des Ausbreitungsvorgangs des gereinigten Abwassers der Kläranlage Bibertal-Hegau im Rhein  
**Autor:** Jäggi, Martin / Paris, Urban / Suter, Kurt  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-941085>

### **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:** 14.01.2026

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

# Ein Färbversuch zur Abklärung des Ausbreitungsvorgangs des gereinigten Abwassers der Kläranlage Bibertal-Hegau im Rhein

Martin Jäggi, Urban Paris mit einem Vorwort von Kurt Suter

## *Problemstellung aus der Sicht des Kantons Schaffhausen*

Die internationale Kläranlage Bibertal-Hegau in Ramsen ist ein bedeutendes Werk im Dienste des Gewässerschutzes für den Bodensee. Die Abwässer des Aachtales und beinahe des ganzen Bibertales werden in ihr gereinigt. Durch die Lage dieser Kläranlage ist es möglich, das gesamte gereinigte Abwasser mit den unvermeidlichen Restverschmutzungen vom Bodensee, genau gesagt vom Zellersee fernzuhalten. Es sind dies zwischen 1,5 m³/s bei Trockenwetter und 10,5 m³/s bei Regenwetter. Sie werden in die fließende Welle des Rheins eingeleitet. Der Rhein, ein Erholungsgebiet ersten Ranges, ist von besonderer Naturschönheit. Schifffahrt, Wassersport und Badesport werden hier intensiv betrieben. Eine besondere Sorgfaltspflicht gebot des-

halb der zuständigen kantonalen Behörde, so genau wie möglich den optimalen Ort der Einleitung und die technisch einwandfreie Ausbildung des Einleitungsbauwerkes abzuklären. Es war uns sehr daran gelegen, eine gute vollständige Durchmischung des Zuflusses mit dem Rheinwasser bei allen Wasserständen zu erreichen, und auch nachzuweisen, dass keine Beeinträchtigung der Badestrände zu befürchten ist.

Der von der Versuchsanstalt für Wasserbau in Zürich (VAW) durchgeführte Versuch konnte uns überzeugen. Wir möchten Prof. D. Vischer und seinen Mitarbeitern bestens danken und wünschen, dass die Resultate einen Beitrag zum allgemein interessierenden Problem der Einschichtung von gereinigtem Abwasser in den Vorfluter leisten können.

Kurt Suter, Kantonsingenieur, Schaffhausen

## *Résumé*

*Au printemps 1976 un essai avec des colorants a été effectué afin de connaître de quelle manière les eaux usées issues de la station d'épuration Bibertal-Hegau se mélangent aux eaux du Rhin. L'essai a été décrit par des observateurs au bord du Rhin et des photographies aériennes, qui permettent d'en tirer des conclusions valables.*

## *Abstract*

*In spring 1976 a dye test has been made to clear up the spreading of the waste water of the purification plant Bibertal-Hegau in the river Rhine. The spreading was photographed from the air and from the banks. The mixing-process is described by these pictures.*

## 1. Einleitung

Am 24. Mai 1976 wurde im Rhein ein Färbversuch durchgeführt, um Aufschlüsse über den Ausbreitungsvorgang des von der Kläranlage Bibertal-Hegau [1] eingeleiteten gereinigten Abwassers zu erhalten. Die Bauleitung (Ingenieurbüro Heierli) plante den Versuch und führte ihn unter Mitwirkung des Kantonalen Tiefbauamtes und der Kantonspolizei Schaffhausen durch. Die Swissair Photo und Vermessungen AG war für die Luftaufnahmen des Versuchs besorgt. Die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich wirkte beim Versuch beratend mit und stellte einen umfassenden Bericht über Ablauf und Interpretation des Versuchs [2] zusammen.

## 2. Die Versuchsvorbereitungen

Ein Versuch, bei dem ein Fluss wie der Rhein während längerer Zeit gefärbt wird, und der somit ziemlich auffällig ist, muss sehr sorgfältig geplant werden. Die Planung umfasst die Wahl des Farbstoffs und der Versuchsdauer, die Bestimmung der massgebenden hydraulischen Parameter, die Vorbereitung der Farbzugabe, die Absicherung der untersuchten Strecke vor störenden Einflüssen (Schiffsverkehr) und die Organisation der Beobachtung.

### 2.1 Die Wahl des Farbstoffs und der Konzentration

Der zu verwendende Farbstoff muss einen guten Kontrast zum Hintergrund aufweisen und sollte trotz starker Verdünnung durch das Flusswasser noch gut sichtbar sein, also eine gute Strahlmarkierung ermöglichen. Die Umweltfolgen der Färbung dürfen nicht zu gross sein. Auch die Kosten des Farbstoffs spielen eine Rolle.

Bei ähnlichen Versuchen wurden als Farbstoffe Fluorescein und Rhodamin B verwendet. Um die Kontrastwirkung dieser Farbmittel in Natur zu testen, wurde am 19. Mai 1976 ein Vorversuch in situ durchgeführt. Dazu wurde aus 1 kg

Fluorescein, bzw. Rhodamin B und 10 l Wasser eine Farblösung hergestellt, die während einer Minute gleichmässig dem Ablaufkanal beigegeben wurde, was einer Farbzugabe von 16,7 g/s entspricht. Die Fluoresceinlösung tauchte als gelbgrüne, das Rhodamin als dunkelrote Farbfahne im Rhein auf.

Die Vorversuche mit diesen bekannten Farbstoffen wurden durch einen Versuch mit Bentonit ergänzt. Bentonit ergibt eine hellgraue Suspension, ähnlich wie Zementmilch. Es bestand die Hoffnung, den Ausbreitungsvorgang mit diesem billigen Material markieren zu können. In einem Tank mit eingebautem Rührwerk wurden 50 kg Bentonit mit 1000 l Wasser angerührt und dem Ablaufkanal beigegeben. Dort fand aber offenbar eine Entmischung statt, denn es war keine Markierung des in den Rhein eingeleiteten Strahls sichtbar.

Der Kontrast zum dunkel erscheinenden Rheinwasser war beim Fluorescein wesentlich besser als beim Rhodamin. Die Fluoresceinfahne konnte bis Diessenhofen verfolgt werden, wo sie praktisch ganz mit dem Rheinwasser vermischt war, was einer Konzentration von weniger als 0,06 mg/l entsprach. Die Rhodaminfahne konnte nur etwa halb so weit beobachtet werden. Für den Hauptversuch wurde somit Fluorescein verwendet. Um die Sichtbarkeit der Fahne bei vollständiger Durchmischung mit dem Rheinwasser etwas zu verbessern, wurde die Anfangskonzentration um 50 % erhöht.

### 2.2 Die Wahl des Versuchszeitpunktes

Die hydraulischen Parameter für den Versuch waren der Rheinabfluss und der Abfluss aus der Kläranlage. Der Versuchszeitpunkt musste so gewählt werden, dass die vorhandenen Abflussgrössen möglichst umfassende Schlüsse aus dem Versuch zuliessen. Tabelle 1 gibt für charakteristische Abflusswerte die Rheinwassertiefe an der Mündungsstelle.

Wassertiefe des Rheins an der Mündungsstelle		Tabelle 1
Rheinwasserführung m <sup>3</sup> /s		Wassertiefe m
NQ	108	2,49
MQ	351	3,34
HHQ	1000	5,29

Es war angezeigt, den Versuch bei geringer Rheinwasserführung durchzuführen, da dann die Verdünnung der eingeleiteten Wassermenge am kleinsten ist.

Für die Bemessung der Kläranlage wurde ein Trockenwetterzufluss von 1,5 m<sup>3</sup>/s angenommen. Bei Mischwasserzufluss (Trockenwetterzufluss und Regenwasser) können in der Kläranlage bis zu 10,5 m<sup>3</sup>/s mechanisch gereinigt werden. Die Abflusskapazität der Zu- und Ablaufkanäle entspricht dieser Wassermenge. Für den Versuch wurde eine Einleitungswassermenge von 0,5 m<sup>3</sup>/s gewählt. Der Versuch sollte an den fertigen Anlagen aber noch vor Inbetriebnahme durchgeführt werden. Schliesslich wurde der 24. Mai 1976 gewählt.

### 2.3 Die Wahl des Ortes der Farbzugabe und der Eingabevorrichtung

Der Ablaufkanal der Kläranlage ist 1575 m lang; sein geschlossener Rechteckquerschnitt ist 2,0 m breit und 1,8 m hoch. Er endet in einem Absturzbauwerk bei der Biber-mühle. Dort wird das Wasser auf 3 Rohre verteilt, die einen Durchmesser von 1,3 m aufweisen und parallel unter der Rheinsohle zur Mündung führen. Diese liegt in einem Abstand von 100 m vom Ufer im Talweg des Rheins. Die drei Rohre biegen im Mündungsbereich in Flussrichtung ab; die zugehörigen Mündungsquerschnitte sind in bezug auf diese Flussrichtung leicht gestaffelt. Die Mündungsquerschnitte der 3 Rohre liegen im Talweg praktisch auf der Rheinsohle auf.

Um eine möglichst gute Durchmischung mit dem von der Kläranlage herkommenden Wasser zu erhalten, wurde die Farbe im letzten Schacht, 280 m vor dem Absturzbauwerk, zugegeben. Dies sollte eine gleichmässige Farbkonzentration in allen drei Mündungsrohren gewährleisten.

Die Farbe wurde in 3000 l Wasser in einem Tank eines landwirtschaftlichen Anhängers aufgelöst. Ein Rührwerk hielt die Lösung ständig in Bewegung. Ein geeichter Hahn an der Auslaufleitung regulierte die Zugabe von praktisch konstantem  $Q=1,67$  l/s, d. h. 25 g/s Fluorescein in den Ablaufkanal.

### 2.4 Die Wahl der Färbungsdauer

Über eine kürzere Zeit blieben Rheinwassermenge und eingeleitete Wassermenge praktisch konstant. Der Einleitungsstrahl konnte aus Kostengründen nur über eine kurze Zeit gefärbt werden. Trotzdem musste die Färbung genügend lang dauern, um den stationären Ausbreitungsvorgang zuverlässig zu markieren.

Bei einem solchen Versuch bildet sich bei Färbungsbeginn eine Farbfahne, die sich wegen der unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten rasch in die Länge zieht. Die Spitze der Fahne bewegt sich mit der grössten Fließgeschwindigkeit des Rheins flussabwärts. Die Fahne wird zunehmend breiter, bis auch der Rand des sich ausbreitenden Strahls markiert ist. Die Markierung der Fahne ist also dann zuverlässig, wenn sich deren Breite zeitlich nicht mehr ändert. Da nun aber das Ende der Fahne als farblose Zunge ebenfalls mit maximaler Fließgeschwindigkeit flussabwärts läuft, holt dieses schliesslich die vorderste Randmarkierung ein. Von diesem Moment an ist die Markierung vom Strahlzentrum her gestört.

Es sei angenommen, dass die äussere Randmarkierung sich ungefähr mit der mittleren Fließgeschwindigkeit flussabwärts bewegt. Diese beträgt etwa  $\frac{2}{3}$  der grössten Fließgeschwindigkeit. Aus den obigen Überlegungen werde nun die Bedingung aufgestellt

$$v_f(t_f - \Delta t) = v_r t_r$$

mit  $v_f$  Geschwindigkeit des vordersten Endes der Markierung

$v_r$  Geschwindigkeit der vordersten Randmarkierung, d. h. Translationsgeschwindigkeit desjenigen Bereichs der Farbfahne, bei dem der seitliche Ausbreitungsvorgang beendet ist

$t$  entsprechende Translationszeit

Beim Vorversuch zur Wahl des Farbstoffs betrug die Translationszeit bis zur Zollbrücke Diessenhofen (4,7 km) etwa 1 h. Entsprechend der verfügbaren Farbstoffmenge konnte beim Hauptversuch während einer halben Stunde Farbe zugegeben werden.

Für

$$\Delta t = \frac{1}{2} h \quad \text{und}$$

$$t_f = 1 h$$

wird  $v_f/v_r = \frac{3}{2}$ , was also der obigen Annahme  $v_r = v_m$  entspricht. Dies heisst also, dass eine zuverlässige Markierung des Ausbreitungsvorganges bis Diessenhofen erwartet werden konnte.

### 2.5 Die Personalplanung und weitere organisatorische Massnahmen

Die am Versuch beteiligten Personen können in folgende Gruppen eingeteilt werden: Vorbereitungsgruppe, Markierungspersonal, Beobachter und Sicherungsdienst.

Die Vorbereitungsgruppe untersuchte vor dem Versuch die unter 2.1 bis 2.4 behandelten Punkte und stellte dann ein genaues Versuchsprogramm zusammen. Seine Hauptpunkte sind in Tabelle 2 wiedergegeben.

Zeitplan	Tabelle 2
10.05	Öffnen des Regulierschiebers im Zulaufkanal bei Ramsen
10.30	Erste Flugaufnahmen (Nullserie)
11.08	Beginn Farbzugabe in den Ablaufkanal
11.15	Sperrung der Schifffahrt auf der Rheinstrecke Biber-mühle—Schaffhausen
11.38	Ende der Farbzugabe in den Ablaufkanal
13.20	Letzte Flugaufnahme
13.30	Beobachter verlassen ihre Beobachtungsposten

Zum Beobachten des Versuchs wurden einer Anzahl Personen bestimmte Standorte zugewiesen. Ihre Eindrücke sollten dann in einem Protokoll zusammengefasst werden. Weitere Versuchsteilnehmer und interessierte Gäste sollten der Farbfahne nachfahren und nach Möglichkeit einzelne Versuchszustände vom Ufer aus fotografieren. Vorgesehen war auch eine Dokumentation des Versuchs durch Luftbilder gemäss einem zeitlich genau festgelegten Flugplan.

Um störende Einflüsse durch den Schifffahrtsverkehr zu verhindern, musste ein Sicherungsdienst organisiert werden.

### 3. Der Versuchsablauf

Die in den Rhein geleitete Wassermenge bestand aus Grundwasser, welches vorerst im Zulaufkanal 4 km oberhalb der Einleitungsstelle gespeichert wurde. Es stand ein Volumen von 8000 m<sup>3</sup> zur Verfügung. Mit einem Schieber konnte der Durchfluss von 0,5 m<sup>3</sup>/s eingestellt werden. Somit war garantiert, dass während der Farbzugabe sowie auch während einer genügend langen Zeit vor und nach der Einfärbung diese Wassermenge im Ablaufkanal kon-

stant blieb. Die Wassertemperatur wurde im Ablaufkanal beim letzten Schacht vor dem Absturzbauwerk gemessen, wo die Farbe zugegeben wurde. Sie betrug bei Färbungsbeginn 14,2 °C und bei Färbungsende 15 °C.

Gefärbt wurde mit Fluorescein. Davon wurden 45 kg in einem 3300-l-Tank angerührt und während 30 Minuten kontinuierlich in den Ablauf geleitet (siehe 2.3). Somit ergab sich eine Fluoresceinzugabe von 25 g/s. Im Ablaufkanal mit anschließendem Absturzbauwerk vermischte sich diese Farbe vollständig mit dem anfallenden Abfluss von 0,5 m³/s, so dass der Austrittsstrahl eine Fluoresceinkonzentration von 50 mg/l aufwies.

Diese 0,5 m³/s traten, sofern sie sich auf die 3 Mündungsrohre gleichmässig verteilt hatten, mit einer mittleren Geschwindigkeit von 0,13 m/s in den Rhein aus. Die Fließgeschwindigkeit des Rheins betrug im Stromstrich 1,57 m/s, im Mittel über das Querprofil 1,06 m/s. Das Rheinwasser wies während des ganzen Versuchs eine Temperatur von 15 °C auf.

Die Beobachter längs des Rheins konnten in ihrem Protokoll folgende Wahrnehmungen festhalten. Unterhalb der Austrittsstelle der Mündung war eine schmale Farbfahne sichtbar. Nach 1,7 km bei Schupfen hatte sich diese Fahne stark ausgebreitet, berührte vorerst aber weder das linke noch das rechte Ufer. Die Spitze der Fahne unterquerte die Zollbrücke Diessenhofen (km 4,7) 55 Minuten nach Auftauchen der Strahlspitze im Rhein. Die Farbfront strich links dem Ufer entlang, die Fahne selbst nahm später die ganze Rheinbreite ein. Bei Büsingen (km 9,5) war die Färbung noch deutlich zu erkennen, hingegen waren die Grenzen zwischen gefärbtem und ungefärbtem Rheinwasser praktisch nicht mehr auszumachen. Die Färbung als solche liess sich noch bis zum Kraftwerk Schaffhausen wahrnehmen.

Flussabwärts davon bis zum Rheinfluss war dann nur noch eine äusserst schwache Farbtönung zu beobachten.

Ein Vermessungsflugzeug überflog das Gebiet des Rheins in 800 m Höhe und hielt die verschiedenen Zustände mit Hilfe einer Wild-RC-8-Aviogon-Kamera (Brennweite 152 mm) auf einem Farbpositivfilm fest (Bild 1).

## 4. Diskussion

### 4.1 Mischvorgang, einfache Mischrechnung

Stellt man die Flugaufnahmen, die ungefähr zur gleichen Zeit längs der gefärbten Rheinstrecke gemacht wurden, zu Serien zusammen, so kann der Ausbreitungsvorgang gut verfolgt werden. Aus diesen Serien können einzelne Ausbreitungszustände rekonstruiert werden. Bild 2 zeigt acht solcher Zustände für die ersten 1¼ Stunden nach der Einfärbung auf der Rheinstrecke von der Bibernmühle bis nach Diessenhofen. Daraus wird die zeitliche und räumliche Ausbreitung ersichtlich. So sieht man beispielsweise, dass die Translationsgeschwindigkeit der Strahlfront etwas kleiner als die grösste Fließgeschwindigkeit des Rheins ist.

Den Flugaufnahmen können die folgenden weiteren Aussagen über die Ausbreitung entnommen werden. Der Strahl erreicht 160 m flussabwärts der Austrittsstelle eine Breite von rund 40 m. Dies ergibt einen Ausbreitungswinkel von etwa 14 °.

In der anschliessenden S-Kurve wurde der Strahl wieder etwas schmaler. Dies lässt sich anhand der Querprofile erklären (siehe Bild 3). Der Farbstrahl verliess zuerst den Flussstrich und trieb gegen das rechte Ufer hin. Am Ort der Rückkehr des Farbstrahls in den Flussstrich, welcher dort

nahe am rechten Ufer liegt, wurde dieser wegen der plötzlich zunehmenden Tiefe wieder schmaler, obwohl er eine grössere Teilfläche färbte.

Bei Schupfen, 1,6 km flussabwärts der Austrittsstelle, erreichte der Strahl eine Breite von 110 m. Der zugehörige Ausbreitungswinkel kann zu 4 ° errechnet werden. Betrachtet man nur die letzten 600 m oberhalb Schupfen, so beträgt der Ausbreitungswinkel 6 °. Die Mischstrecke — das ist jene Strecke, auf der sich eingeleitetes Wasser vollständig mit dem Flusswasser vermischt — betrug rund 3 km. Flussabwärts davon war der Strahl als solcher folglich nicht mehr vorhanden, weil praktisch vollständig im Rhein aufgelöst.

Es liessen sich somit drei charakteristische Strecken unterscheiden. Vorerst betrug der Ausbreitungswinkel 14 °. Nachher wurde die Strahlbreite momentan wegen der erwähnten topographischen Verhältnisse sogar geringer. Darauf folgte eine Strecke mit einem Ausbreitungswinkel von 4 bis 6 °.

Dem Ausbreitungswinkel von 14 ° entspricht ein intensiver Mischvorgang. Beim Austritt aus dem Mündungsquerschnitt traf der Strahl auf ein rund zehnmal schneller fließendes Rheinwasser. Diese Geschwindigkeitsdifferenz erhöht die Turbulenz am Strahlrand und förderte den Massenaustausch zwischen Strahl- und Rheinwasser. Sobald diese Geschwindigkeitsdifferenz ausgeglichen war, wurde der Mischprozess nur mehr durch die im Fluss vorhandene normale Turbulenz angeregt, was sich im bedeutend geringeren Ausbreitungswinkel auswirkte.

Nimmt man an, dass die auf den Luftbildern sichtbare Färbung für den ganzen Wassertiefenbereich repräsentativ sei, was wegen des grossen Verhältnisses von Breite zu Tiefe zulässig ist, so lässt sich anhand von Bild 2 die Abnahme der mittleren Farbstoffkonzentration auf der Länge der Mischstrecke bestimmen. Es ist

$$c_m = f/Q' = f/(v' B' T')$$

mit  $c_m$  mittlere Farbkonzentration des Strahls

$f$  eingeleitete Farbmenge (25 g/s)

$Q$  Rheinwassermenge (313 m³/s)

$Q'$  Strahlwassermenge (0,5 m³/s <  $Q' < 313$  m³/s)

$v'$  mittlere Strahlgeschwindigkeit

$B'$  Strahlbreite

$T'$  mittlere Strahltiefe

Die Strahlbreite  $B'$  an einem bestimmten Ort kann der Breite der dort beobachteten Fahne gleichgesetzt werden; die zugehörige mittlere Tiefe  $T'$  wurde aus dem entsprechenden Rheinquerprofil bestimmt. Die mittlere Strahlgeschwindigkeit  $v'$  wurde aufgrund von Geschwindigkeits-Messprofilen beim Pegel Rhein-Rheinklingen (1,3 km oberhalb der Einleitungsstelle) geschätzt.

Die Anfangskonzentration war

$$c_A = f/Q' = 50 \text{ mg/l}$$

Die Endkonzentration nach vollständiger Durchmischung im Rhein betrug

$$c_E = f/Q = 0,08 \text{ mg/l}$$

Das mit dieser Konzentration gefärbte Flusswasser war auf den Luftbildern noch gut wahrnehmbar.

Die Funktion der mittleren Farbkonzentration im Strahl längs der Mischstrecke sowie das Verdünnungsverhältnis

$$K_m = c_m/c_A$$

sind in Bild 4 aufgetragen. Es zeigt, dass die Verdünnung längs der Strahlbahn vorerst rasch zunimmt und nachher langsam gegen ihren Endwert ( $K_E = 1,6 \text{ }^0/\text{oo}$ ) tendiert, der etwa 3 km flussabwärts der Austrittsstelle erreicht ist.





Bild 1. Farbfahne um 11.24.53 h, ca. 7 Minuten nach Erscheinen der Strahlspitze im Rhein. Am rechten Bildrand Bibernmühle (oben) und Rheinklingen (unten).

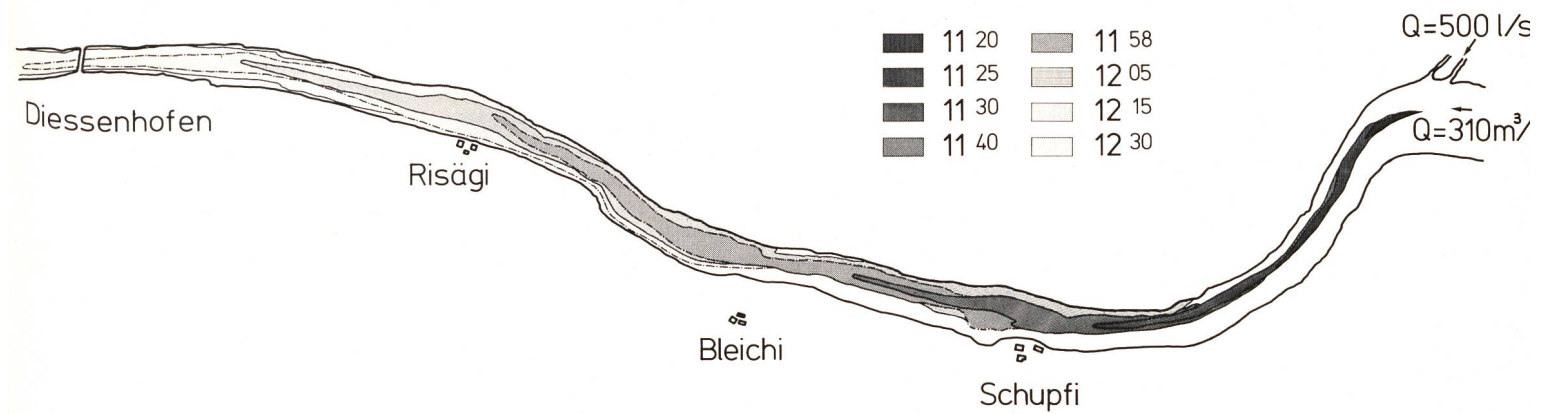


Bild 2. Ausbreitung der Farbfahne zu verschiedenen Zeitpunkten. Länge der abgebildeten Rheinstrecke etwa 5 km.

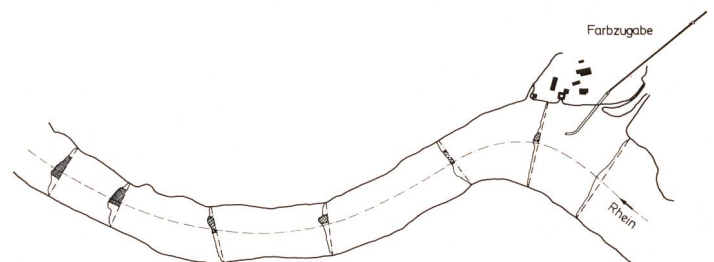


Bild 3. Ausbreitung der Farbfahne auf den ersten 1,3 km, dargestellt durch die teilgefärbten Flussquerprofile.



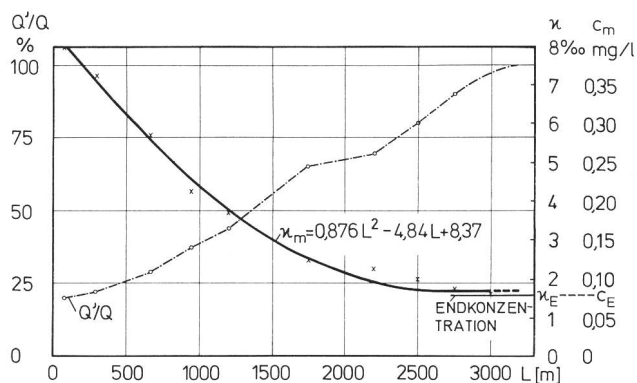


Bild 4. Durchmischung in Abhängigkeit der Entfernung von der Einleitungsstelle.  
 $Q$  Wassermenge des Rheins;  $L$  Entfernung vom Einleitungsbauwerk;  
 $Q'$  Wassermenge durch gefärbte Querschnittsfläche;  $K' = Q'_A/Q'$  (Verdünnung);  $c_m$  Mittlere Fluoresceinkonzentration;  $Q'_A$  Eingeleitete Wassermenge.

Diese groben Mischrechnungen sind deshalb von Interesse, weil sie auch über die Verdünnung des gereinigten Abwassers längs der Mischstrecke Auskunft geben. Denn so wie beim Versuch das Fluorescein von seiner Anfangskonzentration  $c_A = 50 \text{ mg/l}$  auf die errechnete mittlere Konzentration  $c_m = 0,08 \text{ mg/l}$  verdünnt wurde, wird unter gleichen Bedingungen das bereits grösstenteils gereinigte Abwasser entsprechend noch weiter verdünnt.

#### 4.2 Die Zuverlässigkeit der Strahlmarkierung

Es stellt sich die Frage, ob sich der Strahl stärker ausgebreitet haben könnte als er auf den Luftbildern sichtbar ist. Eine nicht mehr sichtbare Farbstoffkonzentration ausserhalb des gefärbten Strahls müsste nun wesentlich geringer sein als die noch deutlich wahrnehmbare Endkonzentration nach vollständiger Durchmischung. Bei einer Anfangskonzentration des Eintrittsstrahls von  $c_A = 50 \text{ mg/l}$  beträgt die Endkonzentration bei den am Versuchstag wirksamen Parametern

$$c_E = 0,08 \text{ mg/l}$$

$$\text{beziehungsweise } c_E/c_A = 1,6 \text{ ‰}$$

Allenfalls unsichtbare Strahlpartien weisen somit eine unbedeutende Konzentration auf.

Entsprechend dem unter 2.4 Gesagten soll nun festgestellt werden, wie weit die Ausbreitung wegen der beschränkten Dauer der Farbzugabe noch zuverlässig markiert worden ist. Aus Bild 3 lässt sich feststellen, zu welchen Zeiten an welchen Orten sich die Farbfahne nicht mehr weiter ausgebreitet hat, also ein stationärer Zustand der Markierung erreicht worden ist. Diese Werte lassen sich nun vergleichen mit den Translationszeiten des vordersten Endes der Markierung, d. h. den Translationszeiten der Farbspitze, erhöht um die Färbungsdauer. Wie aus den Luftbildern ersichtlich, erschien der gefärbte Strahl während etwa 40 Minuten unterhalb des Mündungsbauwerks im Rhein, da sich wahrscheinlich im Absturzbauwerk eine Farbretentionswirkung ergeben hatte. Der Vergleich ist in Tabelle 3 wiedergegeben.

Man sieht, dass die Strahlmarkierung am rechten Ufer zuverlässig war. Die Farbfahne erreichte dieses 3 Minuten bevor das Ende der Fahne im gleichen Querprofil in Flussmitte eintraf. Auf der linken Seite diffundierte zwischen Kilometer 1,7 und 2,3 die Farbfahne in unterbrochenen Farbwolken gegen das Ufer hin. Der stationäre Zustand war gerade am Ende des zuverlässigen Markierungsvorganges erreicht. Weiter flussabwärts bis Diessenhofen war

die Farbausbreitung — auf die ganze Flussbreite — wegen des schmälern Gerinnes früher abgeschlossen, so dass dort keine diskutablen Zustände mehr auftraten.

#### 4.3 Die Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse

Der Versuch wurde, wie einlässlich beschrieben, mit einer eingeleiteten Wassermenge von  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  bei einer Rheinwasserführung von  $313 \text{ m}^3/\text{s}$  durchgeführt. Die eingeleitete Wassermenge wies dabei etwa die gleiche Temperatur wie der Rhein auf und deshalb auch etwa die gleiche Dichte. Es fragt sich somit, ob die Versuchsergebnisse auch dann noch Gültigkeit besitzen, wenn das gereinigte Abwasser unter anderen Bedingungen als den Versuchsbedingungen in den Rhein austritt. Diese Bedingungen sind ja grundsätzlich anders, wenn

- das Abwasser und das Rheinwasser verschiedene Dichten aufweisen,
- der Abwasseranfall grösser oder kleiner  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  ist,
- die Rheinwasserführung andere Werte als  $313 \text{ m}^3/\text{s}$  aufweist.

Hinsichtlich der Temperaturen des gereinigten Abwassers ist zu erwarten, dass dieses insbesondere im Winter wärmer und damit trotz der Restbelastung leichter ist als das umgebende Rheinwasser. Es unterliegt dann einem Auftrieb, der den Austrittsstrahl beeinflusst. Die Dichteunterschiede sind aber kaum derart, dass dieser Einfluss den Mischprozess und Ausbreitungsvorgang gegenüber den Versuchsergebnissen wesentlich verändern könnte.

Die für den Mischprozess und Ausbreitungsvorgang massgebenden Parameter sind — abgesehen von Temperatur- und damit zusammenhängenden Dichteunterschieden — von zwei Verhältniszahlen abhängig, nämlich vom Verhältnis  $Q'_A/Q$  zwischen der eingeleiteten Wassermenge und der Rheinwasserführung sowie vom Verhältnis  $v'_A/v$  zwischen der Austrittsgeschwindigkeit des Abwassers und der Fliessgeschwindigkeit des umgebenden Rheinwassers. Diese Verhältniszahlen dürften den Ausbreitungswinkel wesentlich beeinflussen. Ist nun beispielsweise das Verhältnis  $v'_A/v = 1$ , so fällt die oben beschriebene Teilstrecke mit intensiver Durchmischung weg. Je mehr die hydraulischen Parameter von denjenigen des Versuchs abweichen, um so weniger kann der aus dem Versuch resultierende Ausbreitungswinkel verallgemeinert werden. Der Färbversuch ist aber besonders aussagekräftig, weil er bei niedriger Rheinwasserführung — und damit für den hinsichtlich des Mischprozesses wichtigsten Zustand — durchgeführt wurde.

#### 5. Zusammenfassung

Am 24. Mai 1976 wurde ein Färbversuch durchgeführt, um abzuklären, wie sich das aus der Kläranlage Bibertal-Hegau in den Rhein geleitete gereinigte Abwasser dort ausbreitet.

Durch den bereits fertiggestellten Ablaufkanal der Kläranlage wurde eine konstante Wassermenge von  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  geleitet und während 30 Minuten mit  $25 \text{ g/s}$  Fluorescein ge-

Auswertung der Luftbilder		Tabelle 3
Translationsstrecke ab Bibermühle	Zeit bis zum Erreichen des stationären Zustandes	Einführungszeit [t=40 min] plus Translationszeit der Farbspitze
km	min	min
0,5	13	45
1,0 links	23	51
1,0 rechts	48	51
1,7 links	55	54
2,3 links	65	66
3,5	58	80
4,7 Diessenhofen	72	95

färbt. Diese Wassermenge tauchte beim Mündungsbauwerk im Rhein als deutlich sichtbarer Strahl auf und vermischte sich mit dem umgebenden Rheinwasser. Dadurch wurde dieser Strahl mit zunehmender Fließstrecke breiter und nahm 2,7 km flussabwärts des Mündungsbauwerks die gesamte Rheinbreite ein. Der Ausbreitungsvorgang konnte von Beobachtern und insbesondere durch fotografische Aufnahmen vom Land und vom Flugzeug aus festgehalten werden. Aufgrund einer einfachen Auswertung lässt sich der Mischprozess beschreiben, insbesondere erlauben es einige einfache Rechnungen, die Verdünnung des Fluoresceins längs der Mischstrecke anzugeben.

Aus diesem Färbversuch können unter Berücksichtigung der massgebenden Parameter gültige Schlüsse hinsichtlich der Ausbreitung des gereinigten Abwassers im Rhein gezogen werden.

#### Literatur

- [1] K. Suter, R. Heierli: Abwassersanierung Bibertal-Hegau, Idee und Verwirklichung eines internationalen Grossprojektes im Bodensee-Raum. «Wasser- und Energiewirtschaft» Nr. 1/2 1975.
- [2] VAW-Bericht Nr. 698: Kläranlage Bibertal-Hegau, Ablauf und Interpretation des Farbversuches, Dez. 1976 (unveröffentlichter Bericht für das Tiefbauamt des Kantons Schaffhausen).

Adresse der Verfasser: Martin Jäggi, dipl. Ing. ETH, und Urban Paris, dipl. Ing. ETH, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich, Gloriastrasse 37/39, 8006 Zürich.

## Naturschutzgebiet Gippinger Grien am Stausee Klingnau

Richard Maurer

Das Bild zeigt eine Stelle wenig berührter Landschaft im Bereich der Wasserspiegelschwankungen der Aare, unterhalb des Kraftwerkes Koblenz (Gippinger Grien, Gemeinde Leuggern AG). Der silbergraue Mantel der Weichholzaue mit ihren verschiedenen Weidenarten kontrastiert mit dem etwas höher gelegenen Eschenwald. Damit wird bereits die feingegliederte Anpassung der Pflanzengesellschaften an Wasserstände und Boden dokumentiert. Davor breitet sich der Röhrichtgürtel mit dem dominierenden Schilf aus, der in abgeschlossenen Altarmen zusammen mit der Steifsegge durch die grosse Produktion von organischer Masse die Verlandung vorantreibt. Aber nicht nur die Topografie, auch Chemismus und Temperatur des Wassers strukturieren die Lebensgemeinschaft: Im Vordergrund erkennt man einen Wasseraufstoss, in dem die Wasserfeder gedeiht, eine seltene Unterwasserpflanze, die mit unserer Schlüsselblume verwandt ist — sie kommt im Aargau nur noch hier vor!

Wenn an dieser Stelle von bewahrendem Naturschutz gesprochen werden kann, so wäre im unmittelbar anschliessenden Klingnauer Stausee das Schlagwort vom gestalten den Naturschutz am Platze. Wie kommt man dazu, in einer völlig umgestalteten Landschaft, wie es ein Stauraum darstellt, von «Naturschutz» zu sprechen?

Es hat sich gezeigt, dass in einzelnen Stauhaltungen wie Klingnau oder Bremgarten-Zufikon, günstige Bedingungen für ziehende Wasservögel entstehen können, die in ihrer Gesamtheit durch den Rückgang entsprechender Biotope international gefährdet sind. Durch gezielte Gestaltung wurde beispielsweise im Flachsee Unterlunkhofen erreicht, dass sich der seltene Flussregenpfeifer (Brutbestand in der Schweiz: 15 bis 20 Paare) bereits im ersten Winter des Aufstaus (1975) mit zwei Brutpaaren eingestellt hat! Am gleichen Gewässer konnten seit 1975 mehr als 150 Vogelarten gesehen werden! Ohne Zweifel ein Erfolg. Und die Leistungen verschiedener Kraftwerke im Hinblick auf den Natur- und Landschaftsschutz sind denn auch entsprechend zu würdigen.

Dass wir aber der Problematik nur zu einem kleinen Teil gerecht werden — darüber dürfen wir uns angesichts dieser hoffnungsvollen Zahlen nicht hinwegtäuschen. Anerkennen wir nämlich, dass unsere Naturschutzbestrebungen zum Ziel haben, die Vielfalt unserer lebendigen Umwelt und Kulturlandschaft möglichst ungeschmälert unseren nächsten Generationen weiterzugeben, dann ist noch auf andere Zusammenhänge hinzuweisen.

Auch die Naturlandschaft ist einer Entwicklung unterworfen. Pionierarten treten am Anfang einer Besiedlung auf;

sie werden von Arten abgelöst, die sich erst später in der Entwicklungsreihe (auch Sukzession genannt) einstellen. Zwischen den beiden Typen gibt es fundamentale biologische Unterschiede: Pionierarten sind darauf selektioniert, einen neuen Lebensraum möglichst rasch in Beschlag zu nehmen und sich rasch darauf auszubreiten. Typische Beispiele sind etwa Unkräuter oder auch viele der oben erwähnten Wasservögel. In dynamischer Umwelt, wie es die Flussauen immer waren, sind sie zu Hause. Hier kann der gestaltende Naturschutz ein echter Beitrag zur Erhaltung der Arten sein.

Anders ist es bei Arten, welche erst spät in einer Entwicklungsreihe erscheinen. Sie sind nicht so anpassungsfähig. Sie besiedeln ein Gebiet langsam und haben häufig kleine Reproduktionsraten. Ihr Lebensraum ist die gleichbleibende oder nur langsam sich verändernde Umwelt. In unserer Landschaftsdynamik sind sie eindeutig benachteiligt. Für sie brauchen wir mehr denn je den konservierenden Naturschutz. Bei wirbellosen Tieren hat man denn auch in England herausgefunden, dass jahrhundertealte Biotope viel artenreicher sind als vergleichbare Gebiete, die in den vergangenen vierziger Jahren entstanden sind.

Ist ein Gebiet einmal geschützt, so heisst das nun noch lange nicht, dass sein Inhalt die kommenden Jahre überdauern kann. Insofern täuscht das kommentierte Bild: Die grosse Verschmutzung der Aare etwa trägt zur Entwicklung von Faulschlamm ein ihres bei, die eutrophierten Tümpel erlauben eine ungehemmte Entwicklung von Mückenschwärmen, was zu Klagen bei der umliegenden Bevölkerung führt, fremdländische Pflanzen verdrängen einheimische Kostbarkeiten usw. — die Folgen nicht erfasster sozialer Kosten lassen sich in Form von biologischen Veränderungen nur allzu deutlich ablesen.

Diese Wirkungen objektiv aufzuzeigen, muss unter anderem ein Ziel der Grundlagenbeschaffung im Natur- und Landschaftsschutz sein, denn die Fähigkeit zur Gewöhnung kann nicht als Gradmesser für die Tolerierbarkeit von Umweltveränderungen herhalten. Dass der Lachs in Rhein und Aare während Jahrhunderten die wichtigste Fischart war, ist in unserem Erfahrungsschatz längst durch die importierte Konservenbüchse ersetzt — wir haben uns daran gewöhnt.

Alle sind mitschuldig, was übersetzt bedeutet: Niemand kann etwas dafür. Wie lange wohl bleibt die Wasserfeder im Vordergrund des Bildes?

Dr. Richard Maurer, Sektion Natur- und Landschaftsschutz, Baudepartement des Kantons Aargau, 5000 Aarau