Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 67 (1975)

Heft: 1-2

Artikel: Kampf dem zunehmenden Wasserpflanzenbewuchs in unseren Gewässern : Krautwucherungen als schwerwiegendes Gewässerschutzproblem in Fliesswässern

Autor: Thomas, Eugen A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-920898

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: 30.12.2025

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

KAMPF DEM ZUNEHMENDEN WASSERPFLANZENBEWUCHS IN UNSEREN GEWÄSSERN

Krautwucherungen als schwerwiegendes Gewässerschutzproblem in Fliesswässern

DK 581.526.3:632.954

Eugen A. Thomas

1. EINLEITUNG

Die Erkenntnis, dass die in menschlichen Siedelungen anfallenden Abwässer vor ihrer Einleitung in einen Fluss oder See in irgendeiner Weise gereinigt werden müssen, geht weit ins vorige Jahrhundert zurück. Bis zum Zweiten Weltkrieg gab man sich damit zufrieden, die von Giften freien Abwässer weitgehend zu oxydieren und zu mineralisieren. Unter den Gewässern waren es vorerst besonders die Seen, die mit lauter Stimme an das Gewissen der Gewässerschutz-Fachleute appellierten und erkennen liessen, dass dieses Prinzip der mechanisch-biologischen Abwasserreinigung nicht genügt. In dem von Phytoplankton getrübten und verfärbten Oberflächenwasser der Seen zählte man pro Milliliter Tausende von Planktonalgen. Bei warmer und trockener Witterung, besonders im Sommer und Herbst, rahmen diese Algen an windgeschützten Stellen und in Buchten an der Seeoberfläche auf und bilden weit ausgebreitete grüne oder blaugrüne oder schmutzigfarbige Schwimmschichten, bis ein Gewittersturm solche Ansammlungen zerstreut.

Die bei der Abwassermineralisierung frei werdenden Mineralsalze haben für die niederen und höheren Pflanzen der Gewässer die Bedeutung eines stark wachstumstimulierenden Düngers und führen zu einem erneuten Aufbau von organischer Substanz, die im Gewässer unter Sauerstoffverbrauch wieder abgebaut werden muss. Ob also die Abwässer in der Kläranlage mineralisiert werden oder nicht, in beiden Fällen führen sie zur Gewässer-Eutrophierung. Für die Trink- und Brauchwasserversorgungen, die Fischerei, die Seebäder und den Tourismus wirkt sich die See-Eutrophierung, wie aus zahlreichen Beispielen ersichtlich ist, entschieden ungünstig aus. Auf eidgenössischer Ebene sind deshalb mit den Richtlinien über die Beschaffenheit abzuleitender Abwässer (vom 1. September 1966) Bestimmungen erlassen worden, die unter anderem die Bekämpfung der See-Eutrophierung zum Ziel haben (Thomas 1968). In der Sanierung des Zürichsees sind ausgezeichnete Ergebnisse erreicht worden (Thomas 1971 a).

Für die Aufrechterhaltung einer gesunden Biologie der Flüsse ist indessen bis heute zu wenig getan worden. Es ist bekannt, dass eutrophierte, abwasserbelastete Bäche mit dichten Strängen von grünen Fadenalgen (Cladophora, Rhizoclonium und andere) ausgekleidet sind; das Wasser fliesst dann nur in der obersten Zone des Gewässers. Das Licht vermag nicht bis zur Bachsohle durchzudringen, weshalb sich dort eine Reduktionszone mit schwarzem Schwefeleisen und freiem Schwefelwasserstoff bildet. Bringt nun ein Gewitterregen einen erhöhten Wasserstand und eine grössere Fliessgeschwindigkeit, so werden die Algenmassen abgerissen.

Der auf der Bachsohle liegende schwarze Faulschlamm wird aufgewirbelt und mit dem gesamten Bachwasser durchmischt, wobei der Sauerstoffgehalt rasch gegen Null sinkt. Da die Kiemen der Fische zusätzlich mit schwefelwasserstoffhaltigem Schlamm verstopft werden, ist ein Fischsterben unvermeidlich. Bei einem Forellenbach musste bei solchen Vorgängen festgestellt werden, dass durch drei aufeinanderfolgende Gewitterregen der Fischtod zonenweise bachabwärts getragen wurde, nahezu den gesamten Fischbestand vernichtend.

Bei der Abwasserreinigung an Flüssen und Bächen war man bisher zufrieden, wenn die heterotrophen Bakterien- und Pilzmassen im Gewässer verschwanden oder zurücktraten. Um die Sekundärverunreinigungen durch Algen und höhere Pflanzen kümmerte man sich entschieden zu wenig. Die im folgenden Abschnitt zu beschreibenden Wucherungen von Wasserpflanzen im Rhein beleuchten diesen Mangel im Gewässerschutz mit zwingender Deutlichkeit.

2. DER FLUTENDE HAHNENFUSS (Ranunculus fluitans Lam.)

2.1 Botanische Beschreibung

Im Winter 1970/71 begann im Rhein unterhalb von Schaffhausen eine dort seit langem bekannte Wasserpflanze in ungeahnter Weise zu wuchern. Fischermeister J. Rubli machte uns durch Einsenden von Pflanzenproben auf diese eindrückliche Erscheinung aufmerksam. Nach meiner Bestimmung handelte es sich um den flutenden Hahnenfuss oder Ranunculus fluitans Lam. (= früher Batrachium fluitans [Lam.] Wimmer). Prof. Dr. C. D. K. Cook, Direktor des Botanischen Gartens und des Instituts für systematische Botanik der Universität Zürich, einer der besten Kenner der Hahnenfuss-Arten, hatte die Freundlichkeit, diese Pflanze ebenfalls zu prüfen und konnte meinen Befund bestätigen.

Bei der dominierenden Bedeutung, die dieser Pflanze heute im Rhein zukommt, seien vorerst ihre botanischen Merkmale nach der «Flora der Schweiz» (Hess/Landolt/Hirzel 1970, Bd. 2) aufgeführt: «Ausdauernd, bis 6 m lang, flutend, ohne Schwimmblätter. Untergetauchte Blätter schlaff, gross, 10 bis 30 cm lang, jüngere Blätter oft kürzer, stets länger als die Stengelinternodien; untere Blätter lang gestielt (5 bis 20 cm), obere sitzend, alle bis zum Grunde 2- bis 3teilig; Abschnitte noch mehrmals 2- bis 3teilig, so dass bandförmige bis fadenförmige, 0,5 bis 1,5 mm breite, meist parallel laufende Zipfel entstehen. Blüten- und Fruchtstiele kürzer als das gegenüberstehende Blatt. Blüten (weiss) meist gross, im Durchmesser 1,5 bis 3 cm; Kelchblätter $^1/_3$ bis $^1/_2$ so lang wie die Kronblätter. Früchtchen oval, 1,4 bis 2,2 mm lang, 1,3 bis 1,8 mm breit, kahl, mit 8 bis 10 Querrippen. Blütenboden kugelig oder eiförmig, behaart, selten kahl.» Es wird beigefügt, dass R. fluitans selten Früchtchen entwickelt, was für den Rhein zutraf (Bild 1). Als Standort wird angegeben: Kollin. Langsam bis schnell strömende Flüsse und grössere Bäche von 1 bis

Bild 1 Der flutende Hahnenfuss (Ranunculus fluitans Lam.), früher in der Schweiz nicht häufig, seit 1970/71 im Rhein in Massen wuchernd (aus Hess/Landolt/Hirzel 1970).

2 m Wassertiefe. Potameto perfoliati-Ranunculus fluitantis W. Koch 1926. Diese Gesellschaft ist besonders gut entwickelt in Rhein, Limmat, Reuss und Aare (Koch 1926).

2.2 Heutiges Auftreten im Rhein

Dass die Pflanze ausdauernd ist, spielt wohl im Rhein eine erhebliche Rolle, wächst sie doch auch im Winter, und sie vermochte ihr Areal in der kalten Jahreszeit (1970/71) weiter auszudehnen. Die ausserordentliche Länge der einzelnen Pflanzen konnte ich im Rhein bestätigen; es muss sich um sehr zähe, zugfeste Stengel handeln, die der mächtigen Strömung des Rheines standhalten.

Der «Tages-Anzeiger» (8. Juni 1974, S. 19) berichtet in einem Artikel «Der Rhein ist schon wieder katastrophal verkrautet» eingehend über die Ueberwucherung durch den schlingpflanzenartigen Wasserhahnenfuss: «Die verkrauteten Uferpartien des Rheins bieten ein tristes Bild. Der Wasserhahnenfuss ist bereits so stark gewachsen, dass er an verschiedenen Stellen zwischen Rheinau und Rüdlingen einen dichten Teppich auf der Wasseroberfläche bildet, auf dem sich vergnüglich die Wasservögel tummeln. In diesen Zonen fliesst der Rhein praktisch nicht mehr, wodurch sich der Schmutz ansammelt.» ... «Alarmierend ist vor allem die Tatsache, dass diese Wasserpflanze vor vier Jahren kein Problem darstellte, seither jedoch rasend schnell wächst.»

Auf meinen Vorschlag hin übernahm Markus Huber, Biologie-Diplomand der Universität Zürich, die Aufgabe, in speziellen Untersuchungen die ökologischen und limnologischen Bedingungen zu ergründen, unter denen Ranunculus fluitans im Rhein zur Massenentwicklung gelangt. Bei diesen Untersuchungen stellte er dichte und ausgedehnte Bestände dieser Pflanze auch oberhalb von Schaffhausen an geeigneten Stellen fest; über Einzelheiten wird später berichtet werden.

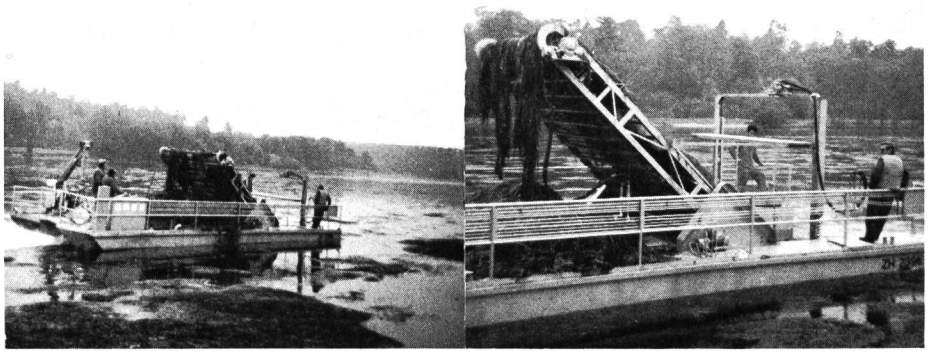
Durch eigene Besichtigung konnte ich mich davon überzeugen, dass der flutende Hahnenfuss im Rhein zahlreiche Standorte ganz erobert hat und allein bewohnt; so ist der früher bei Ellikon von pflanzenlosem Kies bedeckte Strom heute (vor dem Ausmähen) in seiner vollen Breite von dieser Pflanze dicht durchsetzt. Die mehrere Meter lang flutenden Pflanzen erreichen mit ihren blühenden Enden die Wasseroberfläche. Dort verfängt sich abgeschwemmter Schmutz jeder Art, wobei sich hässliche und zum Teil übelriechende braune Inseln von verwesendem Material bilden, die durch die reichlich vorhandenen Stengel der Wasserkräuter fest verankert sind. Tatsächlich bewegen sich sogar Schwäne auf diesen oft etliche Quadratmeter grossen Inseln. In Bild 2 erkennt man eine derartige schwimmende Insel im Vordergrund, weitere dichtgestreut über die ganze Breite des Rheins verteilt. Abgesehen von Algen lässt Ranunculus hier keine anderen Wasserpflanzen zu.

An Stromstellen mit turbulenter Strömung kommt das wellenartige Fluten und Schlängeln der langen, zähen Stengel des Ranunculus fluitans besonders eindrücklich zur Geltung.

2.3 Einige Literaturangaben über das Vorkommen des flutenden Hahnenfusses

Ueber die Verbreitung finden wir bei Hess/Landolt/Hirzel (1970) folgende Angaben: «Westeuropäische Pflanze: Nordwärts bis Irland, Nordengland, Südschweden, südwärts bis Südfrankreich, Norditalien, ostwärts bis in die Tschechoslowakei. Verbreitungskarte von Cook (1966). Im Gebiet ziemlich verbreitet, nicht häufig, kommt im Alpeninnern nicht vor.» Die Angabe «nicht häufig» dieser Autoren ist offensichtlich durch die neueste Entwicklung im Rhein vollständig überrollt worden.

Gleiches gilt für andere und ältere Angaben: Nach Binz (1970) «nicht häufig»; nach Schinz und Keller (1923) «hin und wieder, nicht häufig; im Tessin (Bellinzona, im Ticino?; la Tresa?), Neuenburg, Berner Mittelland, Solo-



Bilder 2 und 3
Im Rhein bei Ellikon war die ganze Strombreite dicht durchsetzt vom flutenden Hahnenfuss. Mit stacheligem Fliessband reisst die «Seekuh» das Kraut ins Boot herein.

thurn, Basel, Zürich, Aargau, Thurgau, Appenzell, St. Gallen, Glarus, Schwyz».

Interessant für unsere Vergleiche sind die Angaben von Lang (1973, S. 102). Danach besiedelte der flutende Hahnenfuss den Ober- und Mittellauf der Radolfzeller Aach bis unterhalb Bohlingen: «Nur in diesen Bereichen ist neben Potamogeton nodosus auch Ranunculus fluitans vorhanden, und zwar so massenhaft, dass in jedem Sommer riesige Mengen abgeschnittener Pflanzen in den Zeller See eingeschwemmt werden.»

Dass der flutende Hahnenfuss seit langem im Rhein bei Schaffhausen vorkommt, geht aus den Untersuchungen von W. Koch (1926) hervor (cf. auch Kummer, 1934). Er war aber damals eine nicht häufige Pflanze neben vielen anderen, während er heute dominiert oder überwuchert.

Während die Vermehrung unserer Pflanze durch Früchtchen für Massenentwicklungen kaum eine Rolle spielen dürfte, ist die vegetative Vermehrung um so leichter, sei es durch Stengelausläufer vom Wurzelstock aus, sei es durch abgerissene Stengelteile. Im Herbst habe ich beobachtet, dass flutende Stengel oft bereits mit der Wurzelbildung beginnen, bevor sie abgerissen sind; werden sie frei, so können sie sich an einem neuen Standort schnellstens festhalten und dann mit ihrem kräftigen Wurzelwerk gut verankern.

3. NUTZEN VON HÖHEREN WASSERPFLANZEN IN FLIESSWÄSSERN

Bevor wir auf die schädlichen Wirkungen einer Massenentwicklung von Wasserpflanzen zu sprechen kommen, sei an den Wert und den Nutzen eines normalen Pflanzenbewuchses in einem Fliesswasser erinnert. Während die Algen bei Flüssen nur die Zone des Flussbettes direkt beeinflussen, durchwachsen die höheren Pflanzen vereinzelt die ganze fliessende Wassermasse; dadurch wird die Aktivität im Gewässer stark erhöht. Viele Pflanzen sind in der Lage, dem Flusswasser unerwünschte Stoffe wie Ammonium zu entziehen, aber auch viele organische Stoffe, zum Beispiel Phenol; solche Stoffe werden nicht nur mit den Wurzeln aufgenommen, sondern auch durch Stengel oder Blätter, die oft mit einer feinen Fiederung und grossen Oberfläche mit dem Wasser in engstem Kontakt sind. Dies gilt auch für die Aufbaustoffe der Pflanzen. Die untergetauchten Wasserpflanzen können deshalb wesentlich zur «Feinreinigung» des Fliesswassers beitragen. In nur kleiner Menge entwickelt, kann das Pflanzenmaterial nach dem Absterben in Nahrungsketten von tierischen Organismen verwendet werden, zum Beispiel über Schnecken, Würmer, Fische bis zum Menschen, oder über Insektenlarven und Insekten «aus dem Wasser hinausfliegen».

Darüber hinaus bedeuten die Wasserpflanzen für zahlreiche Fischarten die unerlässliche «Möblierung» ihres Lebensraumes und die Schaffung der nötigen Futterbasis. Hier finden manche Fischarten ihre Laichplätze und ungezählte Jungfische ihre Aufwuchsstätten. Von verschiedenen Pflanzenarten zusammengesetzte Bestände erwiesen sich in mancher Hinsicht als günstiger, verglichen mit Monokulturen.

4. SCHÄDEN DURCH WASSERPFLANZENWUCHERUNGEN IN FLIESSWÄSSERN

Die Schäden eutrophiebedingter Wucherungen höherer Wasserpflanzen in Fliesswässern sind sehr vielgestaltiger Art und limnologisch bisher noch zu wenig eingehend untersucht worden. Je nach der Beschaffenheit des fliessenden Gewässers sind die Probleme immer wieder etwas modifiziert. Die folgende Aufzählung möchte deshalb als Uebersicht gewertet werden, von der viele Punkte für konkrete Fälle einzelner Gewässer eingehend bearbeitet werden sollten.

4.1 Störung des Wasserabflusses

In seinen hervorragenden Forschungen über die Bedeutung der Strömung als ökologischer Faktor hat Ambühl (1959) vor allem auf den Einfluss der Strömung auf die Biologie hingewiesen. Man hätte es damals noch kaum für möglich halten können, dass anderseits die Biologie (zum Beispiel Ranunculus fluitans) durch die Eutrophierung die Strömung in derart ausgeprägter Weise beeinflussen könnte wie im Rhein. Während normalerweise die maximale Fliessgeschwindigkeit eines Flusses etwas über der mittleren Tiefe liegt (cf. Wisler and Brater, 1949; Wechmann, 1964, S. 103), können Pflanzenwucherungen ganz allgemein die Fliessgeschwindigkeit herabsetzen und damit zu einem aufstauenden Steigen des Wasserspiegels und einer Erhöhung des Flussquerschnittes führen. Laut Angaben des Wasser- und Schiffahrtsamtes Freiburg i. Br. erhöht sich zeitweise der Wasserspiegel des Rheins als Folge der Verkrautung um bis zu 30 cm. Das bedeutet, dass die heute gemessenen Pegelstände nicht mehr mit den langjährig gemessenen verglichen werden können, wenn man den Wasserabfluss des Stromes berechnen will. Die unberechenbare Wirkung des wechselnden Pflanzenbewuchses verunmöglicht genaue Angaben über den Wasserabfluss. Die Hemmung des Abflusses im Unterwasser führt bei einem Kraftwerk z. B. zu Gefälls-, d. h. Energieverlusten von etwa 80 000 Franken jährlich.

4.2 Störung der Gross- und Kleinschifffahrt und der Fähren

Die langgezogenen, zähen Stengel des flutenden Hahnenfusses verfangen und verknäueln sich in den Schrauben und Steuerrudern der Schiffe, wo sie nur schwierig zu entfernen sind. Die Fähre in Ellikon, früher dank dem auf das Steuerruder wirkenden Strömungsdruck ohne zusätzliche Energie elegant über den Strom segelnd, wurde durch die dichten Massen von Wasserpflanzen völlig lahmgelegt, bis die Wasserpflanzen erstmals durch Militär und später durch das Kantonale Amt für Gewässerschutz und Wasserbau in mühsamer Arbeit aus dem Strom geräumt wurden. Das heute verwendete Räumboot wird durch zwei Düsenaggregate angetrieben, die gleichzeitig zum Steuern dienen (Bilder 2 bis 5).

4.3 Störung der Fischhege und des Fischfangs

In Bächen und Flüssen, die übermässig durchwuchert sind von höheren Wasserpflanzen oder Algen oder beiderlei Pflanzen, ist jede systematische fischereiliche Bewirtschaftung sehr erschwert. Die Pflanzen verhängen sich mit Netzen oder Angeln und verhindern allzu oft den Fang. Da dies auch für den Laichfischfang gilt, ist die Beschaffung genügender Laichmengen für Fischbrutanstalten nicht gesichert. Anderseits ist die natürliche Fortpflanzung durch Veralgung und Verschlammung erschwert; ein hoher Prozentsatz der auf fauligem Schlamm liegenden Fischeier geht wegen Verpilzung zugrunde.

Bilder 4 und 5
Ein im Boot eingebauter Greifer befördert das nasse Kraut ans Ufer.

4.4 Fischsterben durch Hyperphotosynthese

Durch übermässige Photosynthesetätigkeit (Assimilation) untergetauchter Wasserpflanzen und Algen kann der pH-Wert in stark eutrophen fliessenden Gewässern auf 10,5 und mehr ansteigen, wenn die Besonnung intensiv ist. Dadurch können die Kiemen der Fische so stark geschädigt werden, dass sie Infektionen anheim fallen. Wie Versuche zeigten, können so hohe pH-Werte, die durch Photosynthese bedingt sind, auch direkt zum Fischtod führen, während in Parallelversuchen eine Salzsäurezugabe die Fische rettete (Thomas, 1972).

Schliesslich sei beigefügt, dass derart hohe pH-Werte besonders dann fischschädigend wirken, wenn im Gewässer eine gewisse Ammonium-Menge vorhanden ist, die dann fast restlos zum giftigen Ammoniak umgewandelt wird.

4.5 Aesthetische Schädigung der Erholungslandschaft

Fliessende Gewässer mit dichten Beständen von Algen oder höheren Pflanzen wirken unansehnlich, wenn sich in diesen Beständen Schmutzstoffe ansammeln und die Pflanzen absterben. Der Erholungsuchende sähe gerne klares Wasser, das über saubere Steine rinnt. Statt dessen sind die Steine als Folge der Eutrophierung mit buschigen Algenpelzen überzogen, und vielerorts verwehren dichte Wasserkrautbestände den Blick ins Wasser.

4.6 Beeinträchtigung der Bademöglichkeit

Das Baden im Fliesswasser ist für den Kenner ein besonderer Genuss. Wo aber «Schlingpflanzen» oder Fadenalgen wuchern, sind Badende gefährdet, auch wenn sie sich nicht erschrecken lassen. In dichtes Kraut geraten, schwimme ich flach an der Wasseroberfläche, eventuell auf dem Rükken, mit blossem Fächeln mit den Händen. So kann man einer pflanzenarmen Stelle zusteuern. Vom Baden in solchen Gewässern ist im allgemeinen abzuraten.

4.7 Störung des Kraftwerkbetriebes

Würde man die untergetauchten Wasserpflanzen der Flüsse sich selbst überlassen, so wären es vor allem die Hochwässer, die sie in riesigen Mengen talwärts verfrachten. Aber auch beim Ausräumen der Pflanzen mit Spezialbooten lässt sich nicht vermeiden, dass ein Teil der Pflanzen talwärts getrieben wird und sich bei den Rechen der Kraftwerke ansammelt, die Schädigung der Turbinen vermeidend. Früher wurde das Rechengut auf kürzestem Wege dem Unterlauf des Flusses übergeben, gewissermassen als «freundnachbarlicher Gruss» an das unterliegende Kraftwerk. Dieses Vorgehen ist nicht mehr statthaft und wird nur noch zeitlich begrenzt zugelassen, bis die notwendigen baulichen Massnahmen getroffen sind.

Die Entnahme und «trockene» Beseitigung der angeschwemmten Wasserkräuter bei den Kraftwerken bedeutet für diese grosse zusätzliche Aufwendungen an technischen Massnahmen, Arbeitszeit und Geld. Sie haben deshalb alles Interesse daran, den Krautbewuchs der Fliesswässer wieder in einen normalen und nützlichen Umfang zurückzuführen.

4.8 Eutrophiebedingte Abdichtung und Kolmatierung des Flussbettes

Nach sorgfältiger Besprechung der Grenzschicht-Verhältnisse im Fliesswasser erläutert Ambühl (1959, S. 163/168) auf Grund von Experimenten die Totwasser-Zone; sie ist nach seinen Ausführungen «ein biologisch besonders wichtiger Teil des ganzen Biotops».

Die Eutrophierung des Fliesswassers ist gerade für solche Totwasser-Räume von grosser Bedeutung. Je dichter der Algenpelz auf den Steinen ausgebildet ist, je länger die Moos- und Algenbüschel, um so wesentlich voluminöser werden die Totwasser-Räume. In diesen sammelt sich mehr und mehr Sand, Schlamm und Sediment an. Die Ausläufer der Wasserpflanzen, auf der Suche nach neuem Lebensraum, setzen sich im neuen Schlammdepot des Totwassers fest und vergrössern damit den Raum des Totwassers sowie die Schlammablagerung noch zusätzlich. Durch die Verschlammung werden der für Wasserpflanzen bewohnbare Flussraum grösser, die Fliessgeschwindigkeit über dem Flussbett kleiner und damit die Möglichkeit geschaffen für die Ansiedelung auch anderer Pflanzenarten (Sekundärverkrautung).

Die Verschlammung verhindert das Rollen der Steine, indem weite frühere Kiesgebiete aufgelandet werden. Die Kolmatierung verunmöglicht an diesen Stellen den Wasser-

Bild 6 Wasserpflanzenbewuchs zwischen Ellikon und Rheinau.

austausch zwischen Fluss- und Grundwasser; lediglich bei der zwischen Nieder- und Hochwasserlinie liegenden Flussbettzone dringt bei höheren Wasserständen reichlich Oberflächenwasser ins Grundwasser. Der verminderte Wasseraustausch kann im Grundwasser zu Sauerstoffzehrungen führen und damit bei Grundwasserfassungen zu schwerwiegenden Schädigungen. Sodann ist daran zu denken, dass eine Kolmatierung der Flusssohle auch aus wasserbaulichen Gründen sehr unerwünscht ist.

4.9 Die Tertiärverschmutzung fliessender Gewässer

Während die mechanisch-biologische Abwasserreinigung an unseren Gewässern die Primärverunreinigung weitgehend zum Verschwinden bringt, führen die in den so gereinigten Abwässern verbleibenden Düngstoffe auch in Flüssen und Bächen zu Massenentwicklungen von Algen und höheren Wasserpflanzen und entsprechenden erhöhten Beständen tierischer Organismen. Bei ihrem Absterben führen diese Organismen zu empfindlichen Sauerstoffzehrungen, aber auch zur Abgabe von schwer abbaubaren Stoffen an das Wasser, wie sie z. B. mit Bestimmungen wie dem totalen organischen Kohlenstoff oder dem gelösten organischen Kohlenstoff erfasst werden. Dies beeinträchtigt den Wert dieser für die Forschung interessanten, jedoch in der Praxis kostspieligen Methoden bei der Beurteilung von fliessenden Gewässern.

4.10 Der Sauerstoffausstoss aus Fliesswässern als Folge der Eutrophie

In stehenden und in fliessenden Gewässern hat die Eutrophierung zur Folge, dass während der hellen Tageszeit (vor allem bei warmem Wasser) eine überaus rege Photosynthesetätigkeit von höheren Wasserpflanzen und Algen stattfindet. Das Oberflächenwasser wird dadurch stark übersättigt an Sauerstoff, was zur Folge hat, dass aus dem Wasser viel Sauerstoff in die Luft ausgestossen wird, während sich höhere Kohlenstoffverbindungen in Form von Pflanzensubstanz im Wasser anreichern. Dem Frass durch Insektenlarven sind deutliche Grenzen gesetzt, so dass von den durch Eutrophierung zusätzlich erzeugten Pflanzenmassen nur ein sehr kleiner Substanzteil später das Wasser in Form von Insekten verlässt. Nach dem Absterben der Pflanzen würde das Wasser den vorher bei Uebersättigung ausgestossenen Sauerstoff dringend brauchen; die Aufnahme von Sauerstoff von der Oberfläche her ist dort erschwert, wo die Oberfläche ruhig liegt oder mit einer feinen Oelhaut überzogen ist, was heute häufig vorkommt. Zwangsmässig entstehen also in den ruhig fliessenden Gewässern flacher Länder ausgedehnte Sauerstoffzehrungen, für welche die Oberlieger verantwortlich sind. Starke Sauerstoffzehrungen sind in solchen Fällen auch in Fluss-Stauen jeder Art zu erwarten, aber auch in Totwasser-Räumen von Gewässern mit grösserer Fliessgeschwindigkeit. Weil die Feinuntersuchung solcher Totwasserstellen in Fliesswässern von der Probenahme her aufwendig ist (Tauchereinsatz), werden sie bei Flussuntersuchungen oft ausser acht gelassen.

In dieser Arbeit treten wir nicht näher auf weitere Schäden ein, die durch Abwasserphosphate erzeugt werden: wir denken an die Produktion von Algenmassen in Bächen und Flüssen, auf deren Sohle sich Faulschlamm bildet, ferner an den Bosset-Effekt (Stimulierung des Bakterienwachstums durch Phosphate in Flusswasser, Grundwasser oder Leitungswasser; Bosset 1965).

5. URSACHEN DER KRAUTWUCHERUNGEN IN FLIESSWÄSSERN

5.1 Die Bedeutung genetisch verschiedener Formen des flutenden Hahnenfusses

Eingehende Untersuchungen von Cook (1966) und anderen zeigten, dass beim flutenden Hahnenfuss in der Natur der volle Chromosomensatz 2n=16 (England, Südschweden, Deutschland, Polen) oder 24 (Deutschland, Polen) oder 32 (England) sein kann. Diese Pflanzen mit verschiedenen Polyploidiestufen können nicht nach äusseren Merkmalen von einander unterschieden werden.

Nach Erfahrungen mit anderen Pflanzen besteht aber mindestens theoretisch die Möglichkeit, dass derartige Polyploidiestufen einer Pflanze doch in ökologischer Hinsicht verschiedene Ansprüche stellen. Beispielsweise wäre denkbar, dass der Rhein vor dem Jahre 1970 nur von einer Hahnenfussform «16» bewohnt war und dass dann plötzlich eine Form «32» in das Gewässer eingeschleppt wurde, die bei gleichen Lebensbedingungen viel üppiger wuchert. Für eine Stützung dieser These wären eingehende genetische und auch limnologische Untersuchungen nötig. Anderseits ist aber zu bedenken, dass die Lebensbedingungen im Rhein sich im vergangenen Jahrzehnt ausserordentlich stark verändert haben, wie im folgenden Abschnitt geschildert.

5.2 Die Phosphor- und Stickstoff-Düngung in Fliesswässern

Beim Vergleich dieser wichtigen Düngstoff-Komponenten muss man sich vor Augen halten, dass natürliche Flüsse sehr wenig Phosphat-Ion enthalten, sofern sie nicht durch menschlichen Einfluss verunreinigt sind, aber grössere Mengen von Nitrat. Den festsitzenden Algen, Moosen und höheren Pflanzen werden die im Wasser gelösten Düngstoffe in Fliesswässern viel intensiver durch Strömungen zugetragen als in stehenden Gewässern. Die Beziehungen zwischen minimal benötigter Nährstoffkonzentration des Wassers und Strömungsintensität sind nicht bei allen Pflanzenarten gleich.

Manche Fliesswässer enthielten in früheren Zeiten weder Algenwucherungen, noch unerwünschte Verkrautungen. Die Steine waren blank oder höchstens von einem schwachen Algenflaum überzogen, sogar an Stellen, wo man heute dichte Wucherungen von Wasserkraut findet. Eine Veränderung der Strömungsgeschwindigkeit durch Stau oder Rückstau lässt im Fluss zweifellos eine Veränderung des pflanzlichen Bewuchses erwarten. Bei vielen Fliesswässern fanden jedoch Veralgungen und Verkrautungen statt, die offensichtlich auf eine vermehrte Düngstoffzufuhr zurückzuführen sind (vergleiche Mörgeli 1974, S. 90 ff.).

Als Beispiel für die Zunahme des Düngstoffgehaltes sei hier der Rhein erwähnt, bei dem vor allem der Gehalt an gelösten Phosphaten im Verlauf eines Jahrzehntes sprunghaft angestiegen ist. Die im folgenden aufgeführten Ergebnisse von Susanne Demmerle (1966) stammen von Proben, die bei Rheinau entnommen wurden, diejenigen von H. Rai (1970) bei Rüdlingen; in beiden Fällen handelt es sich um Jahresmittelwerte aus 12 Untersuchungen, bei der Probe des Kantonalen Laboratoriums Zürich um eine am 5. Mai 1971 erhobene Probe.

Tabelle 1: Zunahme des Phosphatgehaltes im Rheinwasser (Rheinau/Rüdlingen). Angaben in mg PO_4^{3-} pro Liter.

Untersuchungsjahr	1963/64 (S. Demmerle)	1967/68 (H. Rai)	1971 Kant. Lab.
gelöste Phosphate	0,03	0,11	0,21
gesamte P-Verbindungen	0,12	0,21	0,34

Für die Stickstoffverbindungen waren die Veränderungen im gleichen Zeitraum viel kleiner; ein Anstieg der Nitrate war nicht nachweisbar.

Die Wucherungen höherer Wasserpflanzen traten auf, als der Phosphatgehalt des Wassers die Schwelle von etwa 0,2 mg/l PO_4^{3-} überschritten hatte. Für das Auftreten von Algenwucherungen liegt diese Schwelle vermutlich etwas tiefer; man weiss, dass Algen aus vorübergehend höheren Konzentrationen Phosphat hamstern können für Zeiten geringer Konzentrationen. In jedem Fall bewirkt die Zufuhr von Phosphat in ein Gewässer eine umfassende Mobilisierung und Intensivierung biologischer Tätigkeiten; beim Rhein wie bei den meisten Fliesswässern des schweizerischen Tieflandes überschreiten diese Aktivitäten heute das ursprüngliche und sogar das zulässige Mass weitgehend.

6. DIE BEKÄMPFUNG DES ÜBERBORDENDEN KRAUTWUCHSES IN FLIESSWÄSSERN UND STAUHALTUNGEN

Die gigantische Wasserkrautproduktion im Rhein macht auf ein Gewässerschutzproblem aufmerksam, das zwar bei zahlreichen Fliesswässern vorkommt, beim Rhein aber ein besonders schwerwiegendes Ausmass annimmt und ungewöhnlich viele Schadwirkungen mit sich bringt. Im folgenden seien für den flutenden Hahnenfuss vier Bekämpfungsmöglichkeiten besprochen, die für den Rhein vorwiegend zur Diskussion stehen:

6.1 Bekämpfung durch Chemikalien

Bei der grossen Wassermenge und Fliessgeschwindigkeit des Rheines würde sich die Frage stellen, wie man Chemikalien in den Strom einbringen kann, so dass auf der ganzen Breite eine genügende Wirkung erzielt wird. Nicht nur die flutenden Stengel und Blätter müssten erfasst werden, sondern auch die im Boden verankerten Wurzelstöcke. Es scheint unmöglich, dass ein chemischer Stoff nur den flutenden Hahnenfuss vernichtet, die erwünschten Wasserpflanzen aber schadlos lässt. Wenn schon Pflanzen vernichtet werden, ist auch zu befürchten, dass irgendwelche Wassertiere geschädigt werden, oder via Grundwasser oder Fischfleischgenuss der Mensch. Es ist zurzeit nicht zu erkennen, dass die Krautbekämpfung in unseren Fliesswässern durch Chemikalien zulässig wäre.

6.2 Bekämpfung durch chinesische Graskarpfen

In China gibt es einzelne endemische Fischarten (sog. Graskarpfen), die sich von untergetauchten Wasserpflanzen ernähren können, daneben aber auch Schilf, Fischeier, Kleintiere usw. fressen. In Persien habe ich vom schmackhaften Fleisch solcher Fische gegessen, die dort aufgezogen wurden. Es wäre also ideal, wenn man solche Fische in den Rhein einsetzen könnte, damit sie uns den verwünschten flutenden Hahnenfuss herausfressen.

Aus dem Buch von Antalfi und Tölg (1971, S. 39/40) geht jedoch leider hervor, dass in Experimenten die Graskarpfen zwar die meisten der auftretenden Pflanzengruppen fressen, aber gerade die «Hahnenfussarten» nicht: «Wahrscheinlich wegen ihrer giftigen Eigenschaft». Im Experiment wird Ranunculus trichophyllus Chaix (nicht R. trichophilus), der schlaffe Hahnenfuss erwähnt, aber allgemein von Hahnenfussarten gesprochen.

Dies würde also bedeuten, dass die Graskarpfen zwar die vom Ueberwuchern durch Hahnenfuss bedrohten Wasserpflanzen herausfressen und solche vielleicht erwünschte Pflanzen reduzieren, das wirkliche Unkraut aber nicht anrühren. Ein im Kanton Aargau durchgeführtes Experiment wird vielleicht weitere Klarheit schaffen; jedenfalls sind die Aussichten auf einen Erfolg sehr gering.

6.3 Entfernung des flutenden Hahnenfusses mit Räumungsboot (Seekuh)

Das Kantonale Amt für Gewässerschutz und Wasserbau Zürich hat rasch erkannt, dass die übermässige eutrophiebedingte Verkrautung des Rheines zu absolut unzulässigen Zuständen der Gewässerverschmutzung führt. Ein Wasserpflanzen- und Algenräumungsboot («Seekuh») wurde deshalb vom Zürichsee auf den Rhein disloziert. Das Wasserkraut kann damit bis zu einer Tiefe von 2,5 m entfernt werden. Nach Angabe des «Tages-Anzeigers» vom 8. Juni 1974, S. 19, wurden innerhalb von vier Wochen 1000 Tonnen Wasserkraut zwischen Ellikon und dem Kraftwerk Rheinau aus dem Rhein gezogen und auf dem Land deponiert. Als Sofortmassnahme ist somit diese Krautentfernung wirksam und erfolgreich (Bilder 2 bis 5).

Für den Biologen ist es allerdings selbstverständlich, dass die Wasserkräuter, im Rhein also der flutende Hahnenfuss, in wenigen (6 bis 8) Wochen wieder nachwachsen; die im Flussbett verankerten Wurzelstöcke bleiben selbstverständlich lebenskräftig, wenn das Kraut lediglich abgemäht oder abgerissen wird. Die Zukunft wird also zeigen, ob ein zweimaliges Ausmähen des Wasserkrautes im Rhein genügen wird.

Die in Abschnitt 4.1 bis 4.10 aufgeführten Schäden durch Wasserpflanzenwucherungen in Fliesswässern können somit durch das Ausmähen und Herausziehen des Wasserkrautes nur teilweise beseitigt werden. Vor allem erlauben die noch über der Flusssohle vorhandenen Reste von Wasserkräutern ein weiteres Ablagern von Schlammbestandteilen (Kolmatierung) im Flussbett und damit die Verschlechterung des Austausches zwischen Oberflächen- und Grundwasser.

6.4 Reduzierung des Krautwuchses auf den ursprünglichen Bestand durch Aushungern

Erfahrungen mit Vertretern der Gattung Hahnenfuss (Ranunculus), die auf dem Land leben, zeigen, dass solche Arten bei reichlicher Zufuhr von Düngstoffen sehr üppig wachsen und wuchern. Diese Eigenschaft gilt vermutlich auch für die im Wasser lebenden Arten der Gattung Hahnenfuss. Im Bodensee und Rhein waren bisher während des ganzen Jahres freie Nitrate verfügbar, die jedoch von den Algen und höheren Pflanzen wegen Phosphatmangels nicht verwendet werden konnten. Erst durch die heutige «Phosphatschwemme» ist eine zunehmende Verwertung der reichlich vorhandenen Stickstoffverbindungen möglich. Ein teilweises «Aushungern» der zu üppig wuchernden Wasserkräuter ist jedoch nur durch eine Reduktion der Phosphatzufuhr zum Gewässer möglich. Dies bedeutet,

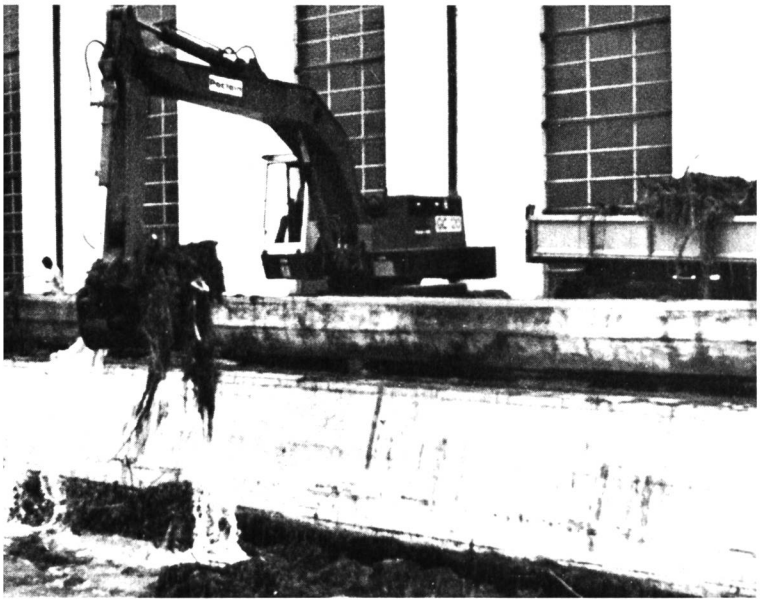


Bild 7

Bild 8

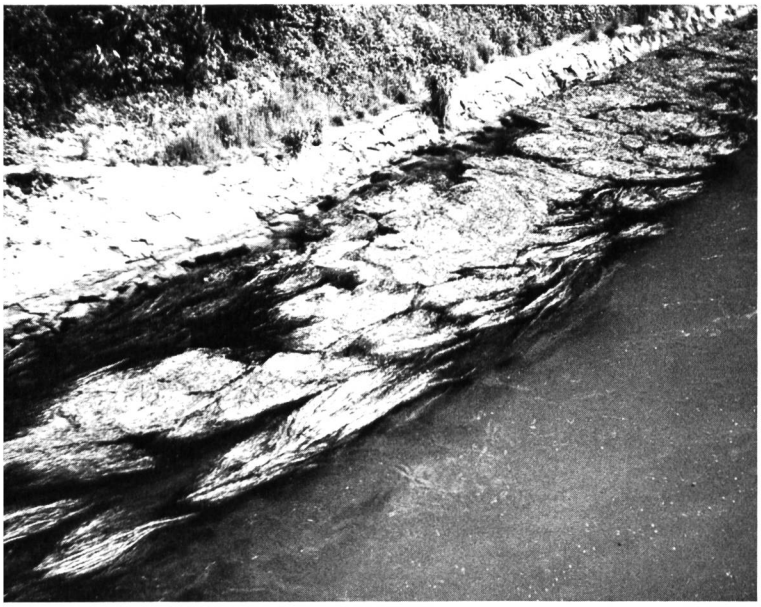


Bild 9

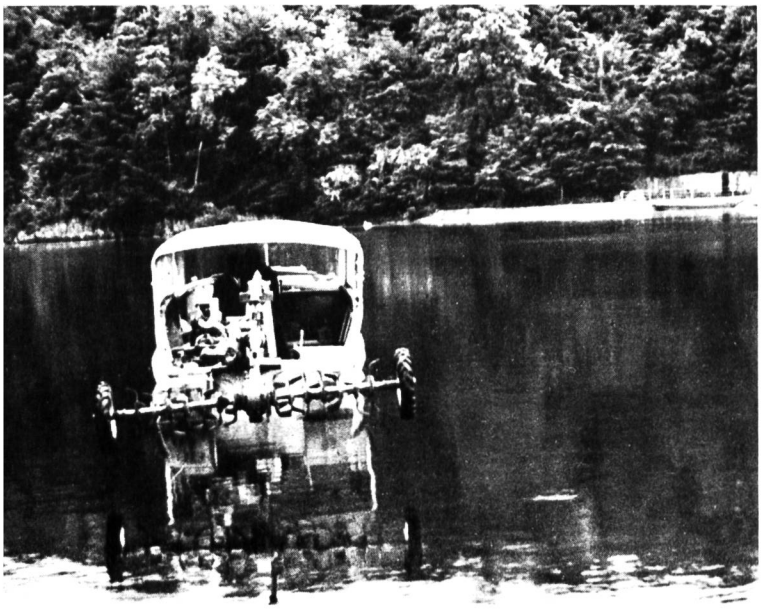


Bild 7 Einsatz eines hydraulischen Baggers bei Wasserpflanzen-Anfall am Rechen des Rheinkraftwerkes Albbruck-Dogern.

Bild 8 Fortschreitender Bewuchs im Staugebiet des Rheinkraftwerkes Albbruck-Dogern.

Bild 9 Unterwasserspatenegge im Kraftwerk Rheinau.

dass in erster Linie die Phosphate aus den in Fliesswässer einzuleitenden Abwässern entfernt werden müssen. Das ist in mechanisch-biologischen Anlagen zu einem durchaus tragbaren Kostensatz (etwa Fr. 3.— bis 5.— pro Kopf und Jahr) möglich (T h o m a s 1971 b).

Vor wenigen Jahren ist von einigen Gewässerschutzvertretern des grünen Tisches empfohlen worden, man solle für alle abzuleitenden Abwässer ein sog. «advanced treatment» in Anwendung bringen; das Abwasser würde dabei fast zu Trinkwasser aufbereitet und irgendwelche Gewässerschädigungen wären viel kleiner. Natürlich würden gleichzeitig auch die Phosphate aus dem Abwasser entfernt. Es ist sehr erwünscht, dass die Forschung sich mit solchen Fragen befasst; für die Praxis sind derartig ausgedehnte Reinigungsvorgänge gegenwärtig und wohl auf lange Sicht viel zu kostspielig. Unseren Gewässern rasch zu helfen durch mechanisch-biologische Abwasserreinigung mit Phosphatfällung, dürfte auf weite Sicht realistischer und zweckmässiger sein, als Methoden zu empfehlen, die energieverschlingend, kostspielig und zu wenig erprobt sind. Solange die Phosphatzufuhr zum Bodensee nicht gründlicher bekämpft wird, empfiehlt es sich, bei den in den Rhein abzuleitenden Abwässern die Phosphate wenigstens in der Zeit vom 1. März bis 30. November in den Kläranlagen auszufällen.

Für eine Reduktion des Krautbestandes durch Aushungern ist aber auch notwendig, dass in der Landwirtschaft und im Gartenbau mit phosphathaltigem Dünger sparsam und sorgfältig umgegangen wird. Ferner sollen möglichst wenig phosphathaltige Wasch- und Reinigungswässer zum Abfluss gelangen.

Nur unablässige Anstrengungen der Fachleute und ausführenden Organe, die vom guten Willen zum Erfolg beseelt sind, können auch bei fliessenden Gewässern zum Erfolg des Gewässerschutzes führen. Da die Fluss- und Bachbette bereits stark verschlammt und «phosphatiert» sind, ist für die Regenerierung mit einer mehrjährigen Dauer zu rechnen.

LITERATURVERZEICHNIS

Ambühl Heinz, 1959. Die Bedeutung der Strömung als ökologischer Faktor. Schweiz. Z. f. Hydrol. 21, 133—264.

Antalfi A. u. Tölg I., 1971. Graskarpfen, pflanzenfressende Fische. 207 S., Donau-Verlag Günzburg.

Binz A./Becherer A., 1970. Schul- und Exkursionsflora für die Schweiz, 421 S., Schwabe & Co. Verlag, Basel.

Bosset E., 1965. Incidences hygiéniques de la vaccination des eaux de boisson au moyen de polyphosphates. Monatsbull. Schweiz. Ver. Gas- und Wasserfachm. 45, 146—148.

Cook C. D. K., 1966. A Monograph study of Ranunculus L. subgenus Batrachium (DC.) A. Gray. Mitt. Bot. Staatssammlg. München 6, 47 bis 237.

Demmerle Susanne D., 1966. Ueber die Verschmutzung des Rheines von Schaffhausen bis Kaiserstuhl. Vjsschr. Natf. Ges. Zürich 111, 155—224.

Hess H. E., Landolt E., Hirzel R., 1970. Flora der Schweiz, Bd. 2, 956 S.; Birkhäuser Verlag Basel.

Koch W., 1926. Die Vegetationseinheiten der Linthebene. Jb. St. Gall. Natf. Ges. 61, 144 S.

Kummer G., 1934. Die Flora des Rheinfallgebietes. Mitt. Natf. Ges. Schaffhausen, 11.

Lang Gerhard, 1973. Die Vegetation des westlichen Bodenseegebietes. Pflanzensoziologie 17, 451 S., Gust. Fischer Verlag Jena.

Mörgeli B., 1974. Limnologische und morphologische Beziehungen zwischen Wasser und Gerinnebett im Unterlauf der Thur. Vjsschr. Natf. Ges. Zürich 119, 23—123.

Rai H., 1970. Improvement of the Sewage Treatment of the City of Winterthur and its Influence on the River Töss and its Underground Water Stream. Vjsschr. Natf. Ges. Zürich 115, 1—100.
Schinz H. und Keller R., 1923. Flora der Schweiz, 792 S.; Verlag Albert Raustein, Zürich.
Thomas E. A., 1968. Der Eutrophierungsvorgang bei Seen Zentraleuropas. Wasser- und Energiewirtschaft 4/5, 115—125.
Thomas E. A., 1971 a. Oligotrophierung des Zürichsees, Vjsschr. Natf. Ges. Zürich 116, 165—179.
Thomas E. A., 1971 b. Behandlung von Gemeindeabwässern mit 3. Reinigungsstufe vor Einleitung in Seen (Zürichsee). Gewässerschutz, Wasser, Abwasser 4, Aachen, 339—349.
Thomas E. A. 1972. Fischsterben in Seeabflüssen durch Hyperphotosynthese. Verh. Internat. Ver. Limnol. 18, 454—460.
Wechmann A., 1964. Hydrologie, 535 S.; Verlag R. Oldenbourg München-Wien.
Wisler C. O. and Brater E. F., 1949. Hydrology, 419 p.; John Wiley & Sons, Inc. N. Y.
Eidg. Richtlinien über die Beschaffenheit abzuleitender Abwässer (vom 1. September 1966), 8 S.; Eidg. Departement des Innern, Bern.
Tages-Anzeiger, Zürich; 8. Juni 1974. S. 19: «Der Rhein ist schon wieder katastrophal verkrautet».

Bildernachweis:

Bilder Nr. 2/5, Fotos Dipl. Ing. H. Frei, Kant. Amt für Gewässerschutz und Wasserbau, Zürich; Nr. 6/9 gehören zum Bericht L. Kranich.

Adresse des Verfassers:
Prof. Dr. E. A. Thomas,
Kilchbergstrasse 113,
CH - 8038 Zürich

Das Problem des Wasserpflanzenbewuchses im Bereich der Kraftwerke des Verbandes Aare-Rheinwerke und Bemühungen zu dessen Lösung

DK 582.26:632.954

Lothar Kranich

1. Feststellungen des Bewuchses und Ursachen

In den vergangenen Jahren wurde der Bewuchs von Wasserpflanzen im Gebiet des Verbandes Aare-Rheinwerke, insbesondere auf der Hochrhein-Strecke vom Bodensee bis zur Aaremündung, immer stärker. Dabei kommt der grosse Anfall an Wasserpflanzen, insbesondere der flutende Hahnenfuss, sowohl in den Stauhaltungen der Verbandswerke als auch gleichermassen in ungestauten Flussstrecken vor. Viele solcher gestauter und ungestauter Flussstrecken sind bei entsprechender Witterung in den Sommermonaten vollkommen und manche teilweise zugewachsen. Bevorzugtes Wachstum erfolgt in geringen Tiefen. Dabei wachsen die Pflanzen bis zu einer Tiefe von etwa 4 bis 5 Metern. Die Pflanzen selbst erreichen eine Länge von ebenfalls 4 bis 5 Metern; sie legen sich in Strömungsrichtung.

Der immer stärker werdende Bewuchs der Wasserpflanzen kann nur in Bereichen erfolgen, in denen eine verhältnismässig hohe Eutrophierung vorhanden ist und das Wasser noch einen Reinheitsgrad aufweist, der eine gewisse Lichtdurchlässigkeit gewährleistet. In Verbindung mit

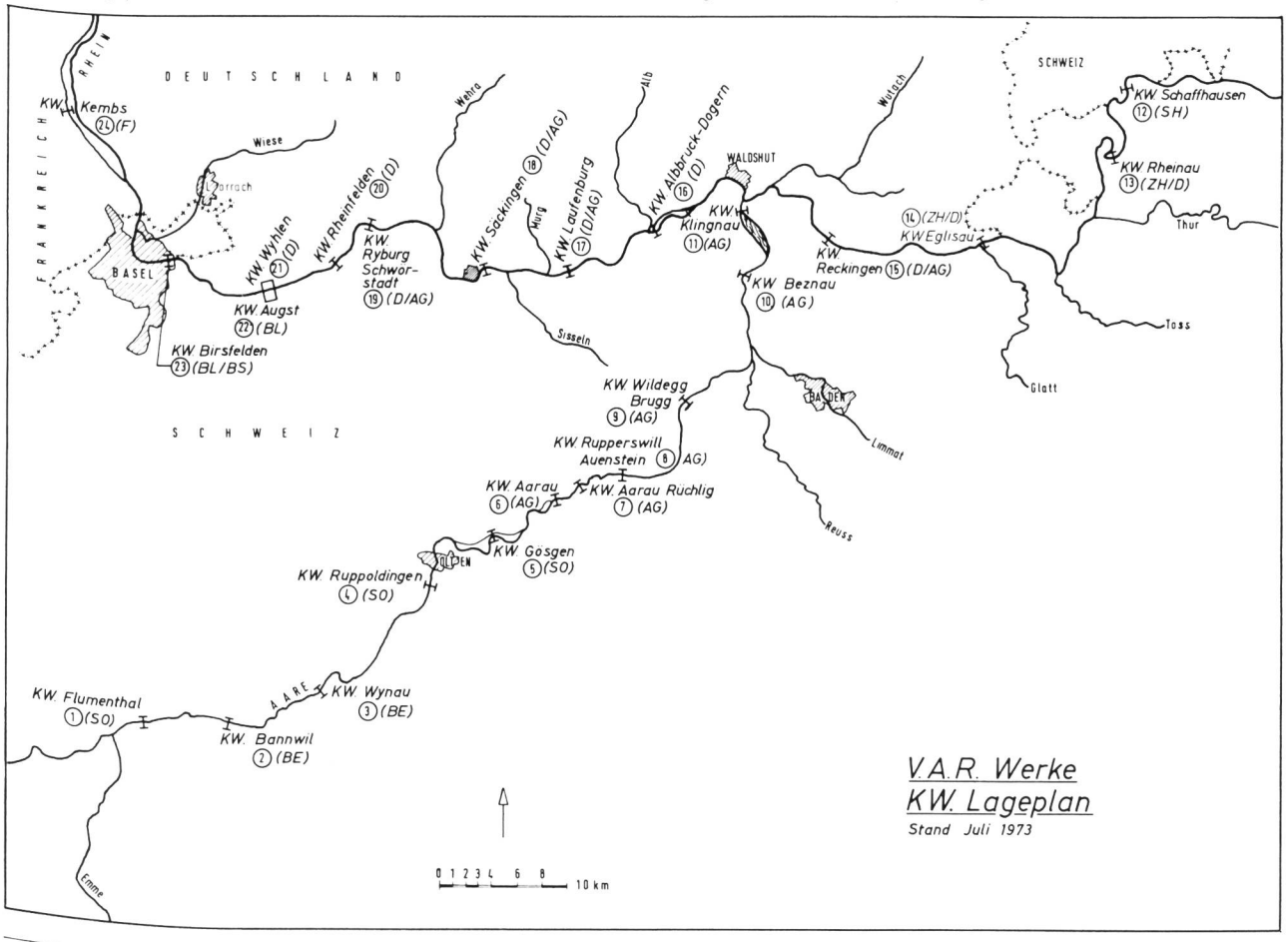



Bild 10 Lageplan mit Uebersicht über die dem Verband Aare-Rheinwerke angeschlossenen Wasserkraftanlagen.