Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 77 (1985)

Heft: 3-4

Artikel: Der Flutende Hahnenfluss im Rhien (Untersee bis Basel) : eine Übersicht

Autor: Thomas, Eugen

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-940906

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: 13.07.2025

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

Der Flutende Hahnenfuss im Rhein (Untersee bis Basel) Eine Übersicht

Eugen Thomas

Die vorliegende Arbeit entstand auf Wunsch der Kommission Gewässerschutz und Wasserpflanzen des Verbandes Aare-Rheinwerke und möchte eine Übersicht über die von der Kommission angeregten und zum Teil unterstützten Untersuchungen geben. Andere Untersuchungen zum gleichen Problemkreis sind hier nicht in gleicher Weise berücksichtigt.

1. Einleitung

In den Jahren nach dem Zweiten Weltkrieg war der Rhein zwischen Bodensee und Aarezufluss einer der saubersten grossen Flüsse der Schweiz. Verglichen mit den Anforderungen des Gewässerschutzes konnte damals erst eine leichte Verschlechterung der Wasserqualität bestimmt werden. Die günstigen Bedingungen veränderten sich um 1970 und in den folgenden Jahren plötzlich. Vor allem eine untergetauchte Wasserpflanze hatte begonnen, sich in ausgedehnter Weise zu entwickeln, wie bisher nicht bekannt. Ortsansässige Fischer überbrachten uns Proben dieses Wasserkrautes, das ich als *Ranunculus fluitans Lam.* bestimmte; Prof. Dr. *C.D.K. Cook* bestätigte diese Bestimmung.

Alte Untersuchungen des Rheines (*Waser* et al. 1943) gehen zurück auf die Jahre vor dem Ausbruch des Zweiten Weltkrieges. Diese Untersuchungen sind seither weitergeführt worden. Bei Beobachtungen über das Wachstum von *Ranunculus fluitans* im Jahre 1970 wurde mir klar, dass sich der Biotop «Rhein» in einem kurzen Zeitraum stark verändert hatte. Der Charakter der Veränderung war offensichtlich nicht kurzfristig, sondern vielmehr andauernd. Dabei traten sowohl theoretische als auch praktische Probleme der Wasserqualität in den Vordergrund, die nur durch sorgfältige Forschung und Schritt für Schritt gelöst werden können. Über mehr als 40 km Länge durchfliesst der Rhein ganz oder teilweise Hoheitsgebiet des Kantons Zürich. Es schien deshalb angebracht, dass die Hydrobiologisch-limnologische Station der Universität Zürich Studien über wissenschaftliche Aspekte dieses Problems aufgriff.

In *Markus Huber* fand ich 1972 einen Diplomanden, der sich dafür interessierte, die von mir skizzierten ersten Probleme zu bearbeiten. Dem Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung verdanke ich die Bewilligung des Kredites Nr. 3.075.76. Die Arbeit von Dr. *H.-J. Näf* ist bereits abgeschlossen (1982), noch nicht jedoch die Arbeit eines zweiten Doktoranden. Dem Verband Aare-Rheinwerke danke ich auch hier für sein Interesse und für die Übernahme von Spesenentschädigungen sowie für einen Druckkostenbeitrag für Studenten. Durch die Organisation einer Fachtagung «Krautwucherungen im Rhein – Flutender Hahnenfuss» brachte dipl. Ing. ETH *Georg Weber,* Direktor des Schweiz. Wasserwirtschaftsverbandes, das Problem vor eine breite Öffentlichkeit (wasser, energie luft, 68. Jg. Heft 10, 1976).

2. Makrophyten (Blütenpflanzen) im Rhein und die wachsende Bedeutung des Flutenden Hahnenfusses (Ranunculus fluitans)

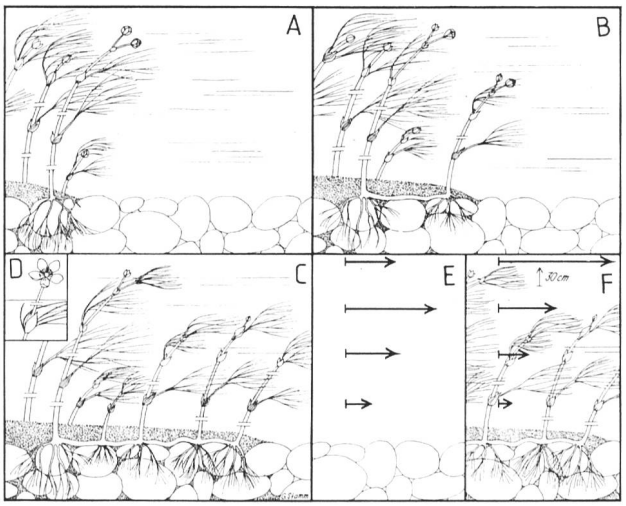
Eine interessante historische Übersicht über das Vorkommen des Flutenden Hahnenfusses im Rhein gab *M. Huber* (1976; S. 26–60) im Kapitel «Biologische Charakterisierung». Die heute im Hochrhein vorkommenden Wasserpflanzen sind bereits erwähnt in der «Flora Badensis» von *Gmelin* (1806). *Ranunculus fluitans* wurde allerdings noch nicht als eigene Art erkannt, sondern als Varietät untergeordnet zu *Ranunculus aquatilis* und *R. peucedanifolius.* Von Apotheker *Johann Conrad Laffon* (1847; 1848), dem Gründer des naturhistorischen Museums in Schaffhausen, stammt die erste «Flora des Kantons Schaffhausen», in der erstmals *Ranunculus fluitans* für den Rhein bei Schaffhausen erwähnt ist. In den Jahren 1835–1840 beobachtete *Höfle* (1850) *Ranunculus fluitans* bei Basel, nicht aber im Alpen- oder Seerhein.

Huber (1976, S. 28) weist darauf hin, dass die Vegetationsforschung in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in der Region des Hochrheins einen Aufschwung erfuhr; vier von fünf Autoren beobachteten zu dieser Zeit *Ranunculus fluitans* im Rhein, gaben allerdings nicht immer die genauen Fundstellen an. Bis 1920 galt der Flutende Hahnenfuss im Rhein noch als selten (*Huber,* 1976, S. 31). Als dominierende Art ist bei *Lauterborn* (1916) und bei *Kummer* (1937–1946) *Myriophyllum spicatum* hervorgehoben. Nach *Jaag* (1968) trat *R. fluitans* im Gebiet Stein–Schaffhausen bereits im Jahre 1967 «regelmässig, aber nur vereinzelt» auf, stellenweise allerdings schon mit «gehäuftem Vorkommen» (aus *Huber* 1976, Seiten 39 und 42). Meines Wissens hat sich *R. fluitans* 1970 im Rhein erstmals zu Massenwucherungen entfaltet. Die Pflanze vermehrte sich also zwischen Stein und Schaffhausen im Zeitraum zwischen 1967 und 1970 auffallend stark.

Sodann haben sich fünf Vertreter der Gattung *Potamogeton* (Laichkräuter) etwas ausgebreitet: *P. perfoliatus, P. crispus, P. lucens, P. pectinatus* und *P. helveticus.* Letztere Art ist wintergrün und dann leicht erkennbar. Diese Arten gediehen im Rhein oft neben *R. fluitans* (vergl. auch *Cook* 1966).

Die Biomasse von *R. fluitans* hat sich in dieser Zeit um ein Vielfaches stärker vermehrt als diejenige der anderen untergetauchten Wasserpflanzen. Seit 1971 wurden ausgewählte Rheinstrecken im Anschluss an das Programm der Internationalen Bodenseekommission kartiert (*H. Bührer* 1976). Ferner verarbeitete *M. Huber* (1976) seine eigenen Kartierungen aus den Jahren 1972–1976. Da aus früheren Jahren keine genauen Aufzeichnungen vorliegen, kann

Bild 1. Der Flutende Hahnenfuss (*Ranunculus fluitans*) ist durch ein reichverzweigtes Wurzelwerk fest im Gewässerboden verankert (A). Bei Überdüngung durch Phosphate treibt er reichlich Ausläufer; diese dringen in schlammfreie Geröllgebiete vor (B). Im Gewirr von Stengeln sinkt die Fliessgeschwindigkeit über der Gewässersohle gegen Null, weshalb sich jetzt Schlamm ablagert und ein noch üppigeres Wachstum ermöglicht (C). Blüten über der Wasseroberfläche (D). Die bremsende Wirkung der Wasserpflanzen verändert die Fliessgeschwindigkeit im Flussquerschnitt und erhöht den Wasserspiegel (E und F). (Schematisiert.)



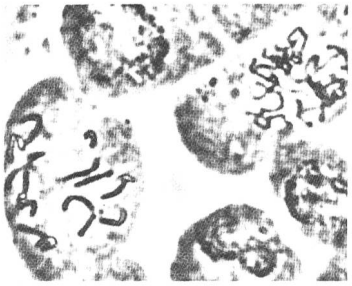
nicht immer mit Sicherheit gesagt werden, welche heutigen Bestände von *R. fluitans* sich durch Verdrängen von anderen Wasserpflanzen ansiedeln konnten.

Kein Zweifel besteht darüber, dass weite Flächen des Rheinbettes, die früher mit nacktem Kies überdeckt waren, von dichten Rasen von *R. fluitans* besiedelt wurden (Bild 1). Dies gilt zum Beispiel für das Gebiet von Ellikon am Rhein und oberhalb von Ellikon. Der Rhein ist dort nicht gestaut und weist somit eine kräftige Strömung auf; indessen fand man 1970 plötzlich dichte Felder von *R. fluitans.* Das Wachstum der Pflanze war derart intensiv, dass das Steuerruder der dortigen Fähre sich vollständig mit den 6 bis 8 m langen Stengeln von *R. fluitans* verwickelte; der Betrieb der Fähre musste deshalb eingestellt werden, bis eine freie Bahn herausgemäht war.

3. Gibt es im Rhein verschiedene Formen von Ranunculus fluitans?

Wie erwähnt, wurde der Flutende Hahnenfuss bereits vor 1850 von verschiedenen Autoren im Rhein gefunden. Handelt es sich aber um die genau gleiche Pflanze, die heute im Rhein wuchert? Bei vielen Blütenpflanzen sind spontane Veränderungen der Chromosomenzahlen zu ganzzahligen Vielfachen des haploiden Satzes, sogenannte Polyploidisierungen, bekannt. Die Auswirkungen solcher Mutationen reichen je nach Pflanzenart von Letalität über Indifferenz bis zu erhöhter Vitalität. Viele grosswüchsige Kulturpflanzen sind polyploid. Bei *R. fluitans* im Ausland wurde der diploide (2n = 16), der triploide (2n = 24) und der tetraploide (2n = 32) Karyotyp nachgewiesen (*Cook* 1966, *Turala* 1977). Somit stellt sich die Frage, ob die heutigen, übermässigen Wucherungen von *R. fluitans* im Rhein darauf zurückzuführen sind, dass hier eine besonders wachstumsfreudige und kräftige Rasse eingewandert oder spontan entstanden ist. Falls dies nicht zutrifft, müssen die Wucherungen auf andere Ursachen zurückgeführt werden, wie zum Beispiel grösseres Nährstoffangebot.

In einer Arbeit von *Stünzi, Cook* und *Thomas* (1979) wurden die Chromosomenzahlen bei *Ranunculus fluitans* von 14 Fundstellen im Nordosten der Schweiz und in der Wutach (Baden-Württemberg, BRD) untersucht. Im Rhein (6 Standorte) und in der Wutach (1) waren die Pflanzen diploid (2n=16), in der Limmat (3), dem Linthkanal (4) und dem Rautibach (1) triploid (2n=24). Diese ersten Untersuchungen über die Chromosomenzahlen des Flutenden Hahnenfusses in der Schweiz erweitern die Kenntnisse über die Verbreitung der verschiedenen Karyotypen in Europa. Vor allem aber lassen sich der kräftige Wuchs und die starke Ausbreitung von *R. fluitans* im Rhein nach unseren Befunden nicht auf die Entstehung oder Einwanderung einer polyploiden Pflanze zurückführen (Bild 2).



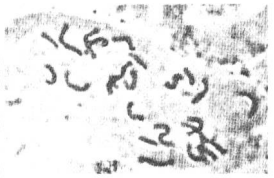


Bild 2, links. Chromosomensatz von *Ranunculus fluitans* aus dem Rhein bei Ellikon, Juni 1978. Die Phasenkontrast-Mikrophotographie zeigt die 16 Chromosomen des diploiden Satzes in ca. 2200facher Vergrösserung; Feulgen-gefärbtes Quetschpräparat einer Wurzelspitze.

Bild 2, rechts. Triploider Chromosomensatz von *Ranunculus fluitans* mit (2n=) 24 Chromosomen aus der Limmat bei Höngg, Juli 1978. Feulgen-gefärbtes Quetschpräparat einer Wurzelspitze, Phasenkontrast-Mikrophotographie bei ca. 2200facher Vergrösserung (*Stünzi* et al. 1979).

4. Toxizität des Flutenden Hahnenfusses

Schädigung von tierischen Organismen

Es ist seit langem bekannt, dass manche Arten der Gattung *Ranunculus* toxische Substanzen produzieren. Über das bei Hahnenfuss gefundene Protoanemonin liegen zahlreiche Angaben vor (*Horber,* 1971, s. 57 ff.). *Ruijgrok* (1963) gelang es, Anemonin auch aus *Ranunculus fluitans* zu isolieren. In einer umfangreichen Studie über *Ranunculus* hatte *M. Bergmann* (1944) unter anderem über das Saponinvorkommen bei einigen Hahnenfussarten berichtet (exklusive *R. fluitans*). *H. Näf* (1982, S. 34 und 95) konnte bei *R. fluitans* kein Saponin nachweisen. Bei unseren im folgenden geschilderten Versuchen kommt die toxische Wirkung nicht für einen besonderen Stoff zum Ausdruck, da vorerst nicht mit chemisch reinen Substanzen, sondern nur direkt mit Kraut gearbeitet wurde (*Thomas* 1975 a). Wo nichts anderes erwähnt wird, nehmen wir im folgenden auf diese Publikation Bezug.

Für Toxizitätsteste verwendete ich zur Ermittlung der Verursacher von Fischsterben seit 1945 Elritzen und seit 1959 auch *Daphnia magna* aus einer Salzlacke (Gansellacke) in der Umgebung des Neusiedlersees (Burgenland). Die natürlichen Biotope der beiden Organismen sind stark voneinander verschieden: *Daphnia magna* lebt in Teichen und Tümpeln; sie lässt sich leicht im Laboratorium halten. Wir pflegen denselben Stamm seit 25 Jahren in litergrossen Gläsern. Anspruchslos im Laboratorium ist auch die Elritze, ein Fisch, der nur 7 bis 10 cm gross wird und den man während Monaten oder Jahren im Aquarium halten kann, doch versuchten wir noch nie, ihn zu züchten. In der Schweiz findet man die Elritze in Bächen und Flüssen bis über 2000 m, aber auch in Seen und Teichen, vorwiegend in kleineren Gewässern.

Für die Versuche mit *Daphnia* und Elritzen wurde das Hahnenfussmaterial mit Mixer fein verteilt und darauf durch Filtration durch entfettete Watte von gröberen Feststoffen befreit. Erste Versuche sind nicht berücksichtigt worden, weil ohne Belüftung der Sauerstoffgehalt rasch absank und möglicherweise das Ergebnis beeinträchtigte. Versuche mit belüftetem Wasser und genügendem Sauerstoffgehalt (*Thomas,* 1975 a, S. 276/277) zeigten, dass bereits 1 g fein verteiltes Frischmaterial pro Liter nach weniger als einem Tag zum Tod oder zu einer starken Schädigung der Versuchstiere führte. Auch tiefgefrorenes Hahnenfussmaterial erwies sich fast unvermindert als toxisch. Material, das während 8 Wochen anaerob bei 20° C gelagert war, hatte einen Teil der Toxizität verloren. Während 8 Wochen aerob verrottetes Material (20° C) war in Konzentrationen von 10 bis 40 g pro Liter für Elritzen während eines Tages unschädlich.

In seiner Dissertation «Limnologische und toxikologische Untersuchungen betreffend Wucherungen von *Ranunculus fluitans*» beschreibt *Hans-Jörg Näf* (1982) die Ergebnisse seiner Toxizitätsteste, die er mit Bakterien, Algen und folgenden Tieren durchgeführt hat: *Paramaecium caudatum, Asplanchna, Chaos diffluens, Heterocypris incongruens, Macrocyclops albidus, Daphnia magna, Asellus aquaticus,*

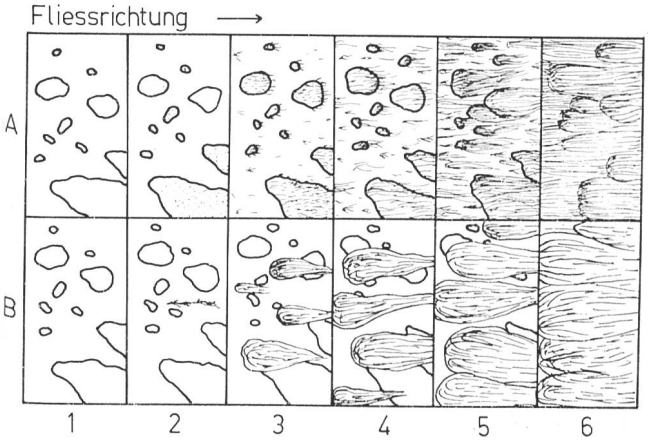


Bild 3. Skala für die visuelle Beurteilung der Primärprodukte in fliessenden Gewässern.
A = Algen und kurzstenglige Moose (kürzer als 10 cm); Mikrophyten.
B = Blütenpflanzen und langstenglige Moose; Makrophyten (länger als 10 cm) (*Thomas* und *Schanz* 1976).

Piona, Tubifex, Simulium, Chironomus, Lymnaea, Planorbis, Phoxinus phoxinus und *Gobio gobio.* Unter diesen Tieren nannte *Näf* als ausgesprochen empfindlich gegen Ranunculusgifte: *Paramaecium caudatum, Daphnia magna* und *Phoxinus phoxinus.*

Schädigung der menschlichen Haut durch Gifte des Flutenden Hahnenfusses

Dass Vertreter der Gattung *Ranunculus* Gifte produzieren, die auch für den Menschen gefährlich sind, geht schon aus jahrhundertealten Literaturangaben hervor. Auf eine Anzahl alter Angaben haben wir bereits hingewiesen (*Thomas* 1975a). Über toxische Wirkungen von Hahnenfusssaft liegen wissenschaftlich durchgeführte Hautteste von *Marie Bergmann* (1944, S. 512 ff.) vor. Die Autorin hat eine grössere Zahl von Hahnenfussarten in Hautreaktionen geprüft, nicht aber den damals noch wenig häufigen *R. fluitans.* Dass auch diese Art für den Menschen giftig ist, habe ich am 9. April 1973 im Selbstversuch geprüft: 2 g frisches, nasses Blatt- und Stengelmaterial von Ellikon am Rhein wurden im Achatmörser fein zerrieben und einschliesslich Saft als Häufchen von 3 cm Durchmesser auf den Unterarm gelegt und mit wenig Gaze von 4 × 5 cm bedeckt. Die Gaze wurde mit Leukoplast vollständig abgeschlossen und so auf dem Arm befestigt, dass das Material möglichst wenig eintrocknete. Nach einer Einwirkungsdauer von 9 Stunden (21 bis 6 Uhr) entfernte ich das immer noch feuchte Material, ebenso das parallel geführte Pflaster ohne *Ranunculus.* Der Nullversuch ergab weder eine Reizung noch eine Veränderung der Haut.

Beim Ranunculuspflaster trat nach 2 Stunden ein leichtes Jucken auf; beim Entfernen zeigte sich, dass das feste Pflanzenmaterial beisammen blieb, der Saft sich aber über die ganze Gaze verbreitet hatte. Die von Gaze bedeckte Hautfläche von 20 cm² war stark gerötet und leicht geschwollen. Nach dem Abdecken des Pflasters war die Haut gegen Berühren empfindlich und brannte leicht; wenige Blasen von 1 mm Durchmesser traten auf. Die starke Rötung hielt an. Nach 24 Stunden bildeten sich besonders in den vom Pflanzensaft stark beeinflussten Gaze-Randzonen (Saugwirkung; rund zwei Drittel der Gesamtfläche) ausgedehnte Brandblasen, die mit Lymphe gefüllt waren. Es dauerte gut 6 Wochen bis zum Abheilen der Wunde; aus diesem Grunde verkleinerte ich später die «Versuchsfläche» auf 250 mm² (*Thomas* 1975 a). Hautversuche erwiesen sich als praktisch für qualitative Feststellungen:

– Wirkung von getrocknetem Material: Fein zerriebenes, gefriergetrocknetes oder bei 20° C getrocknetes Material wurde vor Versuchsbeginn durch Wasserzugabe auf das ursprüngliche Gewicht gebracht. Die Hautversuche bewiesen für beide Fälle, dass die toxischen Eigenschaften nicht verloren gingen, jedoch etwas abgeschwächt waren.

– Wirkung von aerob verrottetem Material: Der anfänglich üble Geruch machte nach mehr als 4 Wochen einem Geruch nach trockenem Kraut oder Heu Platz. Dieses Material wirkte auf die Haut nicht mehr toxisch.

– Wirkung von anaerob gelagertem Material: Nach 8 Wochen sahen die Stengel- und Blatteile noch nahezu unzersetzt aus. Im Hautversuch wirkte das Material deutlich positiv (Rötung, dann Blase von 1 mm Durchmesser).

– Bei Behandlung mit Salzsäure schlug die grüne Farbe des zermörserten Krautes zu olivbraun um, nicht aber bei Behandlung mit Natronlauge. Das in beiden Fällen vor dem Hautversuch neutralisierte Material gab keine Hautreaktion. Säure oder Lauge entgiften also den im Flutenden Hahnenfuss enthaltenen Wirkstoff.

5. Zur quantitativen Erfassung von Primärprodukten in Fliesswässern

Unter Primärproduktion in Fliesswässern verstehen wir den Aufbau von organischen Stoffen durch Algen, Wassermoose und höhere Wasserpflanzen aus vorwiegend anorganischen Stoffen. Für diesen als Photosynthese bezeichneten Vorgang benötigen die Pflanzen unter anderem Wasser, Kohlensäure, Licht und Chlorophyll (Blattgrün). Zu bestimmen, wie gross auf einer begrenzten Flussstrecke während eines Tages die Primärproduktion ist, bleibt mit vielerlei Schwierigkeiten verbunden. Hingegen kann in einem Fliessgewässer die Menge der jeweils vorhandenen Primärprodukte (pflanzliche Biomasse) durch visuelle Beurteilung mit brauchbarer Genauigkeit festgehalten werden, mindestens in Bächen und kleinen Flüssen.

Für solche Beurteilungen verwenden wir die Skala von Bild 3. Bei A1 ist kein Algenaufwuchs vorhanden oder nur ein leichter Hauch von Algenfarbe (zum Beispiel grünlich oder bräunlich). Bei A2 sind deutliche Überzüge (ohne Zotten) vorhanden; bei A3 beginnen sich Fäden und Zotten auszubilden, die bei A4 gut ausgebildet sind und bei A5 alle Steine überziehen. Bei A6 ist der Bewuchs so intensiv, dass kaum Umrisse von Steinen erkennbar sind (Bild 3; vergleiche *Thomas* und *Schanz,* 1976; *Thomas,* 1978). Bei der B-Reihe ist B1 frei von Makrophyten; bei B2 treten einzelne Pflanzen auf, bei B3 einzelne Makrophytenpolster, jedoch nicht mehr als ⅛ der Fläche bedeckend. Bei B4 bedecken die Makrophyten ⅜ der Fläche, bei B5 ¾ und bei B6 die gesamte Fläche. In Fliessgewässern mit unregelmässigem Bewuchs werden mehrere Skala-Zahlen angegeben, wenn nötig mit Zwischenstufen.

Die für ein Fliessgewässer ermittelte höchste Stufe ist die «Bacheigene Obere Bewuchsstufe» (BOB). Solange die Bewuchsstufen 1 bis 4½ unserer Skala nicht überschritten werden, kann der Pflanzenbewuchs des Gewässers noch als tolerabel gelten. Zu Bedenken Anlass gibt ein Bewuchs von 5 oder 6, auch wenn er nur zeitweise oder stellenweise erreicht wird, sei es durch Mikrophyten oder Makrophyten.

Durch die Hahnenfusswucherungen im Rhein wurden diese obersten Bewuchsstufen zeitweise durch *R. fluitans* auf weiten Flächen erreicht, was zu lästigen Folgen führte.

6. Folgen von übermässigem Ranunculus-Wachstum im Rhein

Das Plankton beeinflusst die Ökologie der europäischen Flüsse nicht ausschlaggebend. Im Rhein und seinen Zuflüssen entstehen zwischen Bodensee und Basel durch

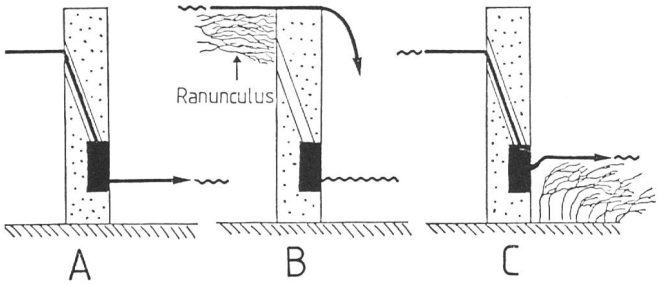


Bild 4. Energieverluste bei Wasserkraftwerken, verursacht durch extremes Wachstum von *Ranunculus fluitans*. A = Normale Bedingungen mit optimaler Wirksamkeit. B = Rechen verstopft mit *Ranunculus* vergrössert die Gefällsverluste am Rechen und verursacht Wasserverluste durch Überlauf. C = Extremes Wachstum von *Ranunculus fluitans* im Unterwasser hebt dort den Wasserspiegel und verkleinert das nutzbare Gefälle (*Thomas* 1983, S. 64).

Wucherungen von Wasserkräutern und Algen folgende Schadwirkungen (*Thomas* 1975 b und c; 1976; 1983):

– Störung des Wasserabflusses: Die Hemmung der Fliessgeschwindigkeit durch Krautmassen führt zu einer Querschnitterhöhung des Flusses, das heisst zu einem Ansteigen des Wasserspiegels (häufiger Hochwasser); aber auch die Verteilung der Fliessgeschwindigkeit im Fluss verändert sich, wie in Bild 1, E und F dargelegt ist. Das Verlagern der maximalen Fliessgeschwindigkeit gegen die Oberfläche führt zu erhöhten Ufererosionen, in krautfreien Strecken zu grösseren Fliessgeschwindigkeiten (vergleiche auch *Ambühl,* 1959).

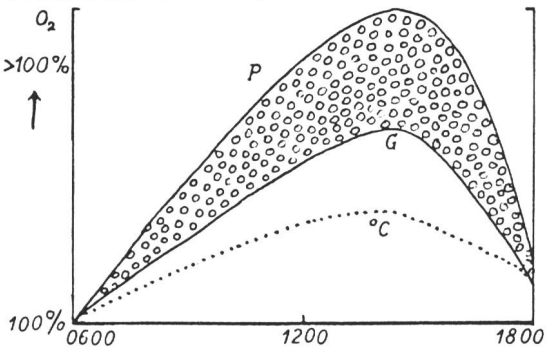
– Störung der Klein- und Grossschiffahrt: Die langen, zähen Stengel des Flutenden Hahnenfusses verknäueln sich in den Schrauben und Steuerrudern der Schiffe. Wie erwähnt, wurde die Fähre in Ellikon durch die dichten Massen von Wasserpflanzen zeitweise lahmgelegt. Das heute verwendete Räumboot wird durch zwei Düsenaggregate angetrieben, die gleichzeitig zum Steuern dienen.

– Störung der Fischhege und des Fischfangs: Die Pflanzenmassen erschweren den Fischfang mit Netzen oder Angeln. Die Beschaffung genügender Laichmengen für Fischbrutanstalten ist nicht gesichert. Bei natürlicher Fortpflanzung gehen die auf fauligen Schlamm fallenden Fischeier wegen Verpilzung zugrunde.

– Fischsterben durch Hyperphotosynthese: Durch übermässige Photosynthesetätigkeit (Assimilation) untergetauchter Wasserpflanzen und Algen kann der pH-Wert auf mehr als 10 ansteigen, wenn die Besonnung intensiv ist. Dies führte in der Glatt direkt zum Fischtod (*Thomas,* 1972).

– Ästhetische Schädigung der Erholungslandschaft: Dichte Pflanzenbestände im Rhein wirken unansehnlich, weil sich dort faulende Schmutzstoffe und tote Fische ansammeln. Auch der üble Geruch entwertet solche Flussufer. Wassersportler werden belästigt.

Bild 5. Schematische Darstellung von Photosynthesetätigkeit und Sauerstoffausstoss bei einem mesosaproben Gewässer. Abszissenachse = 100prozentige Sauerstoffsättigung; *P* photosynthetisch produzierter Sauerstoff; *G* im Gewässer gelöster Sauerstoff; kreismarkiert = Sauerstoffausstoss (Differenz *P*–*G*).



– Beeinträchtigung der Bademöglichkeit: «Schlingpflanzen» oder Fadenalgen können Badende vor allem dann gefährden, wenn sie beim Schwimmen noch unsicher sind. Wenn Kinder mit Hahnenfussbüscheln spielen, kann der austretende Saft Hautrötungen oder Blasen verursachen.

– Die Kraftwerke an Flüssen erleiden deutliche Energieverluste: – weil abgeschwemmtes Kraut die Rechen verstopft, was zu Energiehöhenverlusten und allenfalls zu einem grösseren ungenutzten Überfall des Zuflusswassers führt –; weil die im Unterwasser wuchernden Pflanzen ebenfalls zu einem Stau führen, wodurch die nutzbare Höhendifferenz am Kraftwerk kleiner wird (Bild 4); – weil sich an den Turbinenrändern ein mehr als millimeterdicker Überzug von feinsten Pflanzenresten bildet, was den Wirkungsgrad der Maschinen herabsetzt. – Bei den Kraftwerken bedeutet die «trockene» Entfernung der angeschwemmten Krautmassen grosse zusätzliche Aufwendungen an technischen Massnahmen, Arbeitszeit und Geld.

– Eutrophiebedingte Abdichtung und Kolmatierung des Flussbettes: Durch erhöhte Düngstoffzufuhr konnte sich der Flutende Hahnenfuss durch Ausläufer rasch vermehren und sein Areal ausweiten. In den neuen Pflanzenfeldern sank die Fliessgeschwindigkeit, und das ehemalige Kiesgebiet wurde mit einer Schlammschicht überdeckt (Bild 1).

– Tertiärverschmutzung fliessender Gewässer: Die mechanisch-biologische Abwasserreinigung brachte am Rhein die Primärverunreinigungen (von Auge sichtbare Abwasserreste, Trübungen, zum Teil Gifte) weitgehend zum Verschwinden. Unter sekundären Verschmutzungen verstehen wir Organismenwucherungen im Gewässer. Wo die eingeleiteten Abwässer zuviel organische Stoffe enthalten, entwickeln sich im Gewässer heterotrophe Organismen wie Bakterien (zum Beispiel *Sphaerotilus*) oder Pilze (zum Beispiel *Leptomitus*); auch anorganische Düngstoffe wie Phosphate und Nitrate können im Gewässer Wucherungen verursachen, seien es grüne Fadenalgen oder andere Pflanzen. Tertiärverschmutzungen entstehen vor allem, wenn Organismenwucherungen rasch absterben. Sauerstoffzehrungen und damit verbundene Schädigungen sind die Folge (*Thomas*, 1965).

– Sauerstoffausstoss aus Gewässern als Folge der Eutrophie: Bei üppigem Pflanzenbewuchs und starker Besonnung erfolgt durch Photosynthese im Gewässer eine intensive Freisetzung von Sauerstoff. Das Wasser kann stark übersättigt werden, worauf sich Sauerstoffblasen bilden, die aus dem Wasser austreten. Der beim Pflanzenwachstum freigewordene und ausgestossene Sauerstoff fehlt aber später im Wasser für die Atmungs- und Abbauvorgänge (Bild 5).

– Faulschlammbildung am Flussboden: Bei der Zersetzung des Pflanzenmaterials bildet sich ein Schlamm, der sich an strömungsschwachen Stellen ablagert, also in Mulden des Flussbettes oder in den dichten Feldern des Flutenden Hahnenfusses (Bild 1). Von hier aus kann faulstoffreiches Wasser versickern und die Qualität des Grundwassers verschlechtern.

– Ungünstige Wirkung des Bosset-Effektes: Das ins Grundwasser sickernde Wasser enthält ausser den erwähnten Fäulnisprodukten auch einen erhöhten Phosphatgehalt. Dadurch wird im Grundwasser die Bakterientätigkeit angekurbelt und intensiviert (*Bosset,* 1965; *Thomas,* 1973, Seite 596).

7. Tierische Feinde des Flutenden Hahnenfusses

Bis heute wissen wir, dass es zwei Gruppen von Tieren gibt, von denen sich einzelne Vertreter mindestens zeitweise vom Flutenden Hahnenfuss ernähren: Insektenlarven und

Bild 6. Schwäne fressen *Ranunculus fluitans* besonders im Winter (Photo *A. Knecht*).

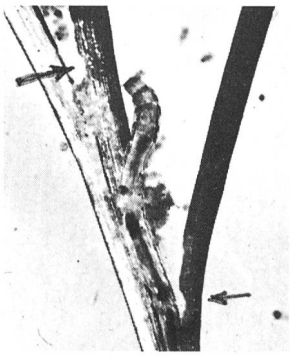


Bild 7. Larve von *Cricotopus trifasciatus* (Panzer) auf *Ranunculus fluitans*, mit Frassstellen und Kotballen (Photo *A. Knecht*).

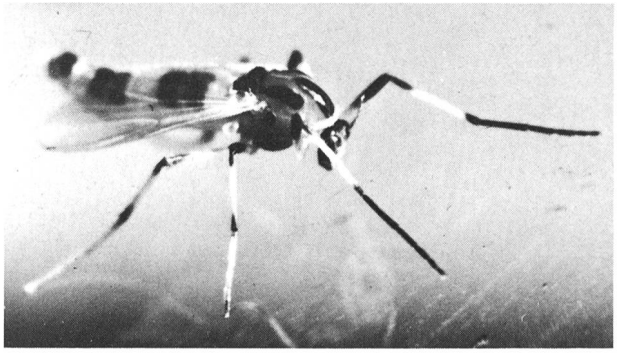


Bild 8. Imago von *Cricotopus trifasciatus* (Panzer), der Dreibindigen Ringmücke. Die Körperlänge des abgebildeten Weibchens beträgt 3 mm (Photo A. *Knecht*).

Vögel. Beide können die Bestände der Pflanze wesentlich reduzieren und schädigen.

Hahnenfussfressende Vögel

Bei unseren Begehungen haben wir Schwäne beobachtet, die diese Pflanzen verzehrten, vor allem im Winter, wenn andere Wasserpflanzen fehlten (Bild 6). Da es sich um Gelegenheitsbeobachtungen handelte, können wir uns über die gefressenen Mengen nicht äussern. Hingegen machte *Hurter* (1979, S. 273) Angaben, welche Mengen das Blässhuhn zum Beispiel am Rhein bei Rietheim am 13. Januar 1978 frass. Die Tiere benötigten 90% der Tageszeit für Nahrungssuche und Frass und 10% für Gefiederpflege; für Ruhe blieb keine Zeit übrig, während bei Ernährung durch Schilftriebe ⅔ der Tageszeit für Ruhe blieben. Da Magensäure das Ranunculusgift beseitigt (*Thomas,* 1975a, S. 279), nehmen die Vögel keinen Schaden.

Hahnenfussfressende Insektenlarven

Bei Experimenten über das Wachstum des Flutenden Hahnenfusses zeigte sich in einem Falle in einem mit Zürichseewasser durchflossenen Aquarium keine Zunahme der Biomasse, sondern eine beschleunigte Abnahme. Die Ursache davon lag in einem Befall durch Chironomidenlarven. Die Artbestimmung erfolgte durch Prof. Dr. *W. Sauter* als *Cricotopus trifasciatus* (*Thomas, Knecht* und *Sauter,* 1978).

In der Folge beobachtete *A. Knecht* die 3 mm langen Larven auch auf Wasserpflanzen aus dem Rhein, und die Imagines dieser Schwarmmücken (Zuckmücken) fing er sowohl am Rhein als auch am Ufer des Zürichsees. Auch nach Literaturangaben handelt es sich um eine sehr verbreitete Mükkenart. Die Larven verursachen an beliebigen Punkten des untergetauchten Hahnenfusses markante Frassstellen; auch die Stengel werden angefressen und dort durch die Strömung leicht abgerissen und abgeschwemmt (Bilder 7 und 8).

Die *Cricotopus*-Larven konsumieren also von den im Rhein gewachsenen Hahnenfussmassen nur einen kleinen Teil. Aber sie fressen gesunde Stengel so an, dass die Strömung fortlaufend Pflanzenteile abreisst und abschwemmt. Dadurch werden vorhandene Bestände rasch reduziert. Da die Gattung *Cricotopus* im Laufe eines Jahres mehrere Generationen produzieren kann, sind sehr rasche Vermehrungen möglich. Wo Schadstoffe die Gattung *Cricotopus* vermindern, ist anderseits eine rasche Ausbreitung des Flutenden Hahnenfusses möglich. So kann man sich ein wellenartiges Entstehen und Verschwinden grosser Hahnenfussbestände erklären.

Zudem gibt es eine Anzahl von Schmetterlingsarten, zum Beispiel den Zünsler *(Nymphula nymphaeata),* deren Entwicklung vom Ei bis zur Puppe im Wasser verläuft, wogegen die Imagines Lufttiere sind. Die Raupen dieser Wasserschmetterlinge sind möglicherweise ebenfalls fähig, Hahnenfuss-Bestände zu verkleinern. Die Lebensbedingungen der Hahnenfuss konsumierenden Insektenlarven genauer zu kennen, erheischt weitere Forschungsarbeit.

8. Ursachen des übermässigen Ranunculus-Wachstums

Beim Problem der Phosphor- und Stickstoffdüngung in Fliesswässern soll 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 Fliessgewässern viel intensiver durch Strömungen zugetragen als in stehenden Gewässern. Bei den genannten Pflanzen können die im Wasser gelösten Stoffe ohne Wurzeln direkt aufgenommen werden, bei untergetauchten höheren Pflanzen durch die Wurzeln auch Stoffe aus dem Gewässerboden. Die Beziehungen zwischen minimal benötigter Nährstoffkonzentration des Wassers und Strömungsintensität sind nicht bei allen Pflanzenarten gleich.

Betreffend Bedeutung der Stickstoff- und Phosphorverbindungen seien zwei Beispiele aufgeführt:

Der Promulinsbach bei Samaden wurde nach unseren Beobachtungen (November 1963 bis Februar 1964) unterhalb der Gemeinde nach Aufnahme der Abwässer vollständig von Wasserhahnenfuss durchwuchert, der bei einer Wassertemperatur von 4,3° C ein frischgrünes Aussehen hatte. Im Mittel stiegen vom unverschmutzten zum verschmutzten Wasser der Nitratgehalt von 0,2 auf 0,4 mg N/l, der Ammoniakgehalt von 0,03 auf 0,20 mg N/l, der Phosphatgehalt von 0,01 auf 0,15 mg P/l und der Gehalt an Gesamtphosphat von 0,013 auf 0,18 mg P/l (*Thomas* 1975b).

Für den Rhein verglichen wir die Untersuchungszahlen von *Susanne Demmerle* (1966) und von *H. Rai* (1970) mit denen des Kantonalen Laboratoriums Zürich (Gebiet Rheinau–Rüdlingen):

Untersuchungsjahr	1963/64	1967/68	1971 (Mai)
Untersuchungen	*S. Demmerle*	*H. Rai*	Kant. Lab. ZH
Gelöste Phosphate, mg P/l	0,01	0,04	0,07
Gesamte P-Verbindungen, mg P/l	0,04	0,07	0,11

Bezüglich der Stickstoffverbindungen waren die Veränderungen viel kleiner. Die Untersuchungen von *S. Demmerle* (1966) zeigen, dass der Rhein 1963/64 unterhalb von Schaffhausen weniger Phosphat enthielt als heute; vier Jahre später war nach *Rai* (1970) ein Anstieg zu verzeichnen. Zwischen dem Überhandnehmen des Flutenden Hahnenfusses und dem Anstieg des Phosphatgehaltes im Rhein besteht eine Parallelität. Erwähnen möchten wir an dieser Stelle eine Arbeit von *Eichenberger* (1976), die über «biolo-

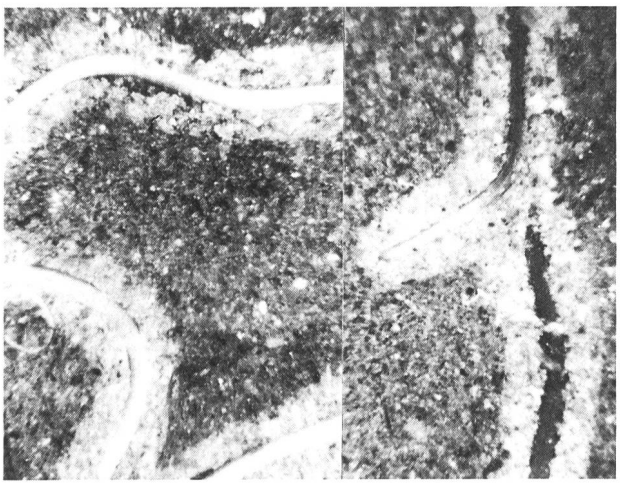


Bild 9. Wachstumsversuche mit Tausendblatt in einem Glasgefäss; Wurzeln (Durchmesser 0,7 mm) entlang der Wand eines durchsichtigen Glasgefässes, in Rheinsediment von Rüdlingen. Grenzschicht oxidiert (Photo *P. Gutbrod*).

gische und ernährungsphysiologische Gesichtspunkte zur Ausbreitung des Flutenden Hahnenfusses im Oberrhein» berichtet.

Zwischen September 1978 und Juni 1979 untersuchte *Heinz Juon* (1980) bei acht Probenahmestellen im Rhein und bei 10 Zuflussstellen den Wasserchemismus und verglich damit das Algenwachstumspotential in Laboratoriumsexperimenten. Zwischen Unterseeabfluss und Basel erhöhten sich die Werte sämtlicher untersuchter Parameter. Bei Biotesten mit Algengemischen aus der Natur nahm die Algenproduktion von Stein am Rhein bis Basel um durchschnittlich 83% zu. Die Diplomarbeit von *H. Juon* wurde von der Phil. Fakultät II der Universität Zürich mit einer Auszeichnung gewürdigt. Wichtige Ergebnisse wurden der Öffentlichkeit zugänglich gemacht (*Schanz* und *Juon* 1983; *Schanz* und *Juon* 1984).

Die vor dem Abschluss stehende Dissertation von *A. Knecht* über ökologische und experimentelle Untersuchungen zur Massenentwicklung von Ranunculus fluitans im Rhein befasst sich eingehender mit den angeschnittenen und den dazugehörenden Problemen; dieser Arbeit möchte ich jedoch nicht vorgreifen.

9. Der Einfluss von Bodenbeschaffenheit und Strömung auf das Gedeihen von Wasserpflanzen im Rhein

Das Rheinbett ist zwischen Stein am Rhein und Basel weitgehend von Geröll ausgekleidet. An einigen Stellen findet man noch anstehenden Fels, so beim Rheinfall oder bei verschiedenen Stromschnellen. In ruhigen Buchten kann sich anderseits Sand und Feinschlamm ablagern. Verschiedenartig wie das Flussbett ist, gestaltet sich auch die Ausbildung der pflanzlichen und tierischen Biozönosen. Das Flussbett und seine Biozönosen werden je nach Wasserstand und Intensität der Strömung immer wieder grossen Veränderungen unterworfen, die von Trockenliegen (Niederwasser) bis zu Abgeschwemmtwerden (Feinschlamm bei Hochwasser) reichen können.

Da sich unsere Studie vorwiegend auf die Lebensbedingungen von *Ranunculus fluitans* beschränkt, wird die Zahl variabler Faktoren rasch kleiner. Nach Messungen von *A. Knecht* wächst im Rhein die Hauptmenge von *R. fluitans* in Wassertiefen von 1 bis 2,5 m. Nur wenige Pflanzen wurzeln in 0 bis 1 m oder 2,5 bis 4,5 m Tiefe. Bei Hochwasser werden viele *Ranunculus*-Pflanzen geschädigt, besonders die im Geröll wurzelnden, wenn ihr Untergrund in Bewegung gerät. Nach Rückgang des Hochwassers und Stabilisierung des Flussbettes ist dann aber eine Wiederbesiedelung des früheren Areals rasch möglich (*Thomas,* 1975b). Diesem Problem wird von *A. Knecht* vertiefte Aufmerksamkeit geschenkt.

Mit Bild 1 stellten wir dar, wie der Flutende Hahnenfuss in der Lage ist, Kiesgebiete zu besiedeln, die regelmässig von nährstoffreichem Wasser überflossen werden. Dabei kann es sich um Neubesiedelung (Ausdehnung des Areals) handeln oder um Wiederbesiedelung nach Hochwasser mit Steinerollen. In Flussgebieten mit starker Strömung ist der Flutende Hahnenfuss konkurrenzfähiger als die anderen Wasserpflanzen.

In seiner Diplomarbeit zeigte *K. Wächter* (1984), dass Flutender Hahnenfuss im Laboratorium in PVC-Rinnen von 2 m Länge und mit Fliessgeschwindigkeiten von 0 bis 48 cm/s am besten wuchs bei 26 cm/s, am wenigsten im stehenden Wasser. Die Pflanze trägt also ihren Namen mit Recht.

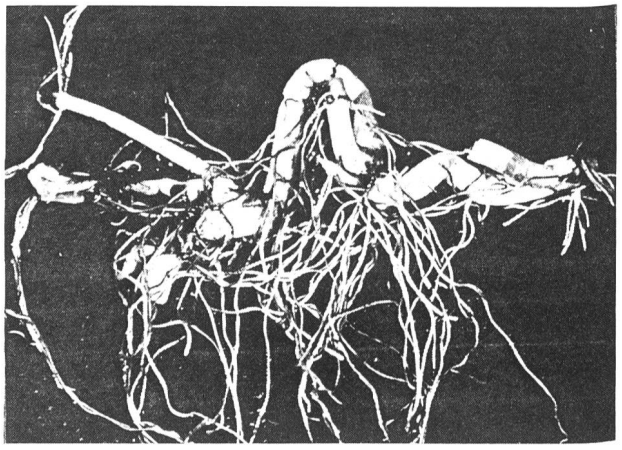
Im Hinblick auf den Einfluss der Bodenbeschaffenheit auf das Gedeihen der Wasserpflanzen führte *P. Gutbrod* (1981) Wachstumsversuche mit Tausendblatt *(Myriophyllum spicatum)* in Rheinsediment von Rüdlingen durch. Der aus feinen Partikeln bestehende Schlamm hatte eine dunkelgraue bis schwarze Farbe und enthielt Eisensulfid. In durchsichtige, farblose Litergläser wurde ein 5 cm starker Schlammboden eingebracht und mit Zürichseewasser überschichtet, sodann mit 10 cm langen Stengelstücken von Tausendblatt bepflanzt. Nach sechs Wochen waren gute Wurzelbildungen vorhanden, und wir machten eine interessante Beobachtung: Einige Wurzelfäden hatten sich der durchsichtigen Glaswand entlang entwickelt. Diese Wurzeln fielen dadurch auf, dass sie von einer hellen Sedimentschicht umsäumt waren (Bild 9). Die Hellfärbung ist eine Folge von Oxidationen. Es wäre wertvoll zu untersuchen, ob eine ähnliche Erscheinung auch beim Flutenden Hahnenfuss auftritt und ob die Oxidation durch Zufuhr von Sauerstoff oder durch organische Oxidantien erfolgt (*Brändle*, 1980).

10. Bekämpfung und Abbau des Flutenden Hahnenfusses

Bekämpfung

Mit dem Ausmähen des Flutenden Hahnenfusses hat man im Rhein zweifellos schon grosse Erfolge erreicht (*Kranich*, 1968 und 1976; *Maag*, 1976). Leider bleiben aber die Wurzelstöcke (Bild 10) mit Stengelteilen weitgehend erhalten, und die Pflanzen erholen sich rasch wieder. Bei üppigem Wachstum muss das Hahnenfusskraut jährlich dreimal gemäht werden, bei gehemmtem Wachstum nur einmal. Das Herausziehen der gemähten Pflanzenmassen ist zwar müh-

Bild 10. Ausschnitt aus einem Wurzelstock von *Ranunculus fluitans* aus dem Hochrhein bei Schaffhausen (Langwiesen) (Photo *M. Huber*).



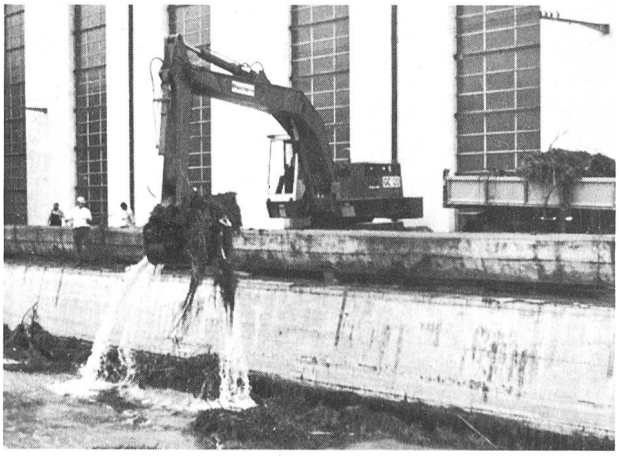


Bild 11. Einsatz eines hydraulischen Baggers bei Wasserpflanzenanfall am Rechen des Rheinkraftwerkes Albbruck-Dogern (Photo *L. Kranich*).

sam und kostspielig, aber es bringt für den Rhein eine grosse Entlastung von organischen Stoffen mit sich (Bild 11).

Eine Bekämpfung des Krautes durch Zugabe von Chemikalien ist heute im Rhein nicht durchführbar, da sein Wasser auch der Trink- und Nutzwassergewinnung dienen muss und da ein gewisser Bestand an Wasserpflanzen sogar erwünscht ist. Wenn die Düngstoffzufuhr zum Bodensee stark reduziert ist, kommt dies gleichzeitig der Qualität des Rheinwassers zugute, ebenso wenn die in den Rhein und die in seine Zuflüsse eingeleiteten Abwässer noch besser gereinigt sind als heute.

Abbau des Flutenden Hahnenfusses

Vorerst stellt sich hier die Frage, wie dieses Kraut in der Natur heranwächst, abstirbt und verschwindet. Auf den Frass durch Vögel oder Zuckmücken-Larven haben wir hingewiesen. Indessen ist der Lebensrhythmus der Pflanze in der Natur noch wenig bekannt; genaue Aufzeichnungen während möglichst mehr als eines Jahres könnten diese Lücke füllen.

Das zweite Problem des Abbaus des Hahnenfusses ergibt sich für die abgemähten und herausgezogenen Hahnenfussmassen. Bei Behandlung des nassen Krautes mit Säure oder Lauge wird das toxische Protoanemonin zerstört (*Thomas* 1975a, S. 278). Lässt man nasses Kraut anaerob vergären, so bilden sich üble Gerüche. *L. Kranich* (1976, S. 241) hat darauf hingewiesen, dass für das herausgemähte Kraut genügend Deponieraum zur Verfügung gestellt werden müsste. Sodann erwähnte *Ch. Maag* (1976, S. 242), dass das Amt für Gewässerschutz und Wasserbau (Kanton Zürich) der Verbesserung der landwirtschaftlichen Verwertung von Hahnenfusskraut in einer speziellen Studie Beachtung schenkte. Es schiene mir wertvoll, wenn die Erfahrungen verschiedener Studien zusammengestellt, verarbeitet und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden könnten.

Schlusswort

Einem Bericht vom 8. September 1984 aus Luxemburg entnehme ich folgendes: «Nun haben wir aber trotz aller Verbesserungen feststellen müssen, dass besonders in den letzten 12 Monaten katastrophale Verschlechterungen in unseren Gewässern eingetreten sind. Und zwar sind in dieser Zeit in sämtlichen luxemburgischen Flüssen und Bächen gleichzeitig praktisch sämtliche höheren Wasserpflanzen abgestorben, und zwar bis in die Wurzel hinab. Diese Wasserpflanzen, hauptsächlich der sogenannte Wasserhahnenfuss, aber auch die verschiedenen Laichkräuter, haben eine sehr wichtige Rolle im Naturhaushalt der Gewässer zu spielen.»

Noch ist mir nicht bekannt, weshalb in luxemburgischen Flüssen und Bächen praktisch sämtliche Wasserpflanzen abstarben: Sind es Schmutzstoffe, Gifte, starke Trübungen? Stammen die verheerenden Schadwirkungen aus Abwässern, aus der Luft, aus direkt eingebrachten Schadstoffen? Vergiftung aller Wasserpflanzen wäre schlimmer als durch Überdüngung verursachte Massenentwicklungen. Ein natürlicher, «normaler» Bestand an makrophytischen Wasserpflanzen bringt in fischereilicher und allgemein in biologischer Hinsicht manche Vorteile. Er hilft aber auch, bei Platzregen, Schneeschmelze usw. ein allzu rasches Abfliessen des kostbaren Wassers zu verhindern und unerwünschte Spitzen auszugleichen. Man ist jedenfalls auf dem richtigen Weg, wenn man versucht, die Massenentwicklungen höherer Wasserpflanzen zurückzudrängen, ohne diese Pflanzen ganz auszumerzen.

Zitierte Literatur

Ambühl, H. 1959: Die Bedeutung der Strömung als ökologischer Faktor. «Schweiz. Z. Hydrologie» Vol. *21*/2, S. 133–270.

Bergmann, Maria 1944: Vergleichende Untersuchungen über die Anatomie schweizerischer Ranunculus-Arten und deren Gehalt an Anemol und Saponin. «Ber. Schweiz. Bot. Ges.» *54*, 399–522.

Bosset, E. 1965: Incidences hygiéniques de la vaccination des eaux de boisson au moyen de polyphosphates. «Monatsbull. Schweiz. Ver. Gas- u. Wasserfachmänner» *45*, 146–148.

Brändle, R. 1980: Die Überflutungstoleranz der Seebinse (Schoenoplectus lacustris [L.] Palla). II. Anpassungsstrategien. «Vierteljahrsschr. Natf. Ges. Zürich» *125*/2, 177–185.

Bührer, H. 1976: Zusammenhänge zwischen den P-Komponenten und der Makrophytenvegetation im Hochrhein zwischen Eschenz und Schaffhausen. Interner Bericht der EAWAG, 24 S.

Cook, C.D.K. 1966: A monographic study of Ranunculus subgenus Batrachium (DC.) A. Gray. «Mitt. Bot. Staatssam. München» *6*, 47–237.

Demmerle, Susanne D. 1966: Über die Verschmutzung des Rheines von Schaffhausen bis Kaiserstuhl. «Vierteljsschr. Natf. Ges. Zürich» *111*, 155–224.

Eichenberger, E. 1976: Biologische und ernährungsphysiologische Gesichtspunkte zur Ausbreitung des Flutenden Hahnenfusses im Oberrhein. «wasser, energie, luft» *68*, 234–239.

Gutbrod, P. 1981: Makrophyten im Rhein. Labornotizen. Hydrobiologisch-limnologische Station, Univ. Zürich.

Gmelin, K.Chr. 1805–1826: Flora Badensis, T. I–IV, Carlsruhae.

Höfle, M.A. 1850: Flora der Bodenseegegend und vergleichende Betrachtungen der Nachbarfloren. 175 S., Erlangen.

Horber, F. 1971: Untersuchungen über die Entwicklung, den Protoanemoningehalt und die Bekämpfung des scharfen Hahnenfusses (Ranunculus frieseanus Jord.), Diss. Nr. 4637 ETHZ, 116 S., Juris-Druck Verlag, Zürich.

Huber, Markus 1976: Die Verkrautung des Hochrheines unter besonderer Berücksichtigung von Ranunculus fluitans Lam. 147 S.; Anh. I und II (Vegetation 1973).

Hurter, H.U. 1979: Nahrungsökologie des Blässhuhns Fulica atra an den Überwinterungsgewässern im nördlichen Alpenvorland. «Der ornithologische Beobachter» *76*, 257–288.

Jaag, O. 1968: Bodenseeregulierung, Abklärung hydrobiologischer Fragen, Ergänzungsbericht zum Gutachten vom September 1946 für das Eidg. Amt für Wasserwirtschaft. 49 S. und Pläne, Zürich.

Juon, H. 1980: Experimentelle Prüfung der pflanzlichen Produktionskraft des Rheinwassers (Untersee bis Basel). Diplomarbeit Univ. Zürich, 114 S. und Anhang. Hydrobiol.-limnolog. Station Kilchberg.

Kranich, L. 1968: Algenräumung in Seen und auf gestauten Flüssen. «Wasser- u. Energiewirtschaft» *60*, Nr. 4/5, 131–134.

Kranich, L. 1976: Die Bekämpfung des Flutenden Hahnenfusses. «wasser, energie, luft» *68*, H. 10, 239–241.

Kummer, G. 1937–1946: Die Flora des Kantons Schaffhausen mit Berücksichtigung der Grenzgebiete. «Mitt. Naturf. Ges. Schaffhausen», 13–21.

Laffon, J.C. 1847: Flora des Cantons Schaffhausen, 47 S., Schaffhausen, und 1948 «Verh. Schweiz. Natf. Ges.», 257–303.

Lauterborn, R. 1910: Die Vegetation des Oberrheins. «Verh. naturhist. Ver. Heidelberg N.F.» *10*, 450–502.

Lauterborn, R. 1916: Die geographische und biologische Gliederung des Rheinstroms, Sitzungsber. Heidelb. Akad. Wissensch. math.-nat. Kl. Abt. B, 6. Abh.

Maag, Ch. 1976: Der Einsatz des Mähbootes des Kantons Zürich. «wasser, energie, luft» *68,* H. 10, 241–242.

Näf, H.-J. 1982: Limnologische und toxikologische Untersuchungen betreffend Wucherungen von Ranunculus fluitans. Diss. Bern, 107 S.; aus der Hydrobiol.-limnolog. Station Kilchberg.

Rai, H. 1970: Improvement of the sewage treatment of the city of Winterthur and its underground water stream. «Vierteljsschr. Natf. Ges. Zürich» *115,* 1–100.

Ruijgrok, H.W.L. 1963: Chemotaxonomische Untersuchungen bei den Ranunculaceae II. Über Ranunculin und verwandte Stoffe. «Planta Medica» *11,* 338–347.

Schanz, F. and *Juon, H.* 1983: Two different methods of evaluating nutrient limitations of periphyton bioassays, using water from the River Rhine and eight of its tributaries. «Hydrobiologia» *102,* 187–195.

Schanz, F. und *Juon, H.* 1984: Die pflanzliche Produktionskraft des Rheins und seiner Zuflüsse vom Bodensee-Untersee bis Basel (1978/79). «wasser, energie, luft» *76,* H. 1/2, 17–20.

Stünzi, J. 1979: Karyologische Untersuchung und Literaturstudium zur Systematik, allgemeinen Biologie und Ökologie von Ranunculus fluitans Lam. Diplomarbeit an der Hydrobiol.-limnol. Station Univ. Zürich, 53 S.

Stünzi, J., Cook, C.D.K. und *Thomas, E.A.* 1979: Karyologische Untersuchungen verschiedener Populationen von Ranunculus fluitans Lam. im Nordosten der Schweiz. «Vierteljahrsschr. Natf. Ges. Zürich» *124,* 133–139.

Thomas, E.A. 1965: Gewässerschutz und Fischerei. «Plan» *22,* Sept./Okt., 175–179.

Thomas, E.A. 1972: Fischsterben in Seeabflüssen durch Hyperphotosynthese. «Verh. Internat. Verein. Limnol.» *18,* 454–460.

Thomas, E.A. 1973: Phosphorus and Eutrophication. Environmental Phosphorus Handbook. Ed. by E.J. Griffith et al., John Wiley & Sons Inc. 585–611.

Thomas, E.A. 1975a: Zur Kenntnis der Toxizität des Flutenden Hahnenfusses (Ranunculus fluitans Lam.). «Vierteljahrsschr. Natf. Ges. Zürich» *120,* 275–281.

Thomas, E.A. 1975b: Gewässerfeindliche Wirkungen von Phosphaten in Flüssen und Bächen. «Schweiz. Z. f. Hydrol.» *37,* 273–288.

Thomas, E.A. 1975c: Kampf dem zunehmenden Wasserpflanzenbewuchs in unseren Gewässern. Krautwucherungen als schwerwiegendes Gewässerschutzproblem in Fliesswässern. «Wasser- u. Energiewirtschaft» *67,* H. 1/2, 12–19.

Thomas, E.A. 1976: Der Flutende Hahnenfuss (Ranunculus fluitans Lam.), ein neues limnologisches Problem am Rhein. «wasser, energie, luft» *68,* 230–233.

Thomas, E.A. 1978: Mass growth of algae and macrophytes in streams; method, cause and prevention. («Verh. Internat. Verein.» Limnol. *20,* 1796–1799).

Thomas, E.A. 1983: Aquatic weeds – ecology and health aspects, floating and decaying weeds. «Wat. Supply», Vol. 1, pp. 57–65. Pergamon Press Ltd. Printed in Great Britain.

Thomas, E.A. und *Schanz, F.* 1976: Beziehungen zwischen Wasserchemismus und Primärproduktion in Fliessgewässern, ein limnologisches Problem. «Vierteljahrsschr. Natf. Ges. Zürich» *121,* 309–317.

Thomas, E.A., Knecht, A. und *Sauter, W.* 1978: Chironomidenlarven als Konsumenten des Flutenden Hahnenfusses (Ranunculus fluitans Lam.). «Vierteljahrsschr. Natf. Ges. Zürich» *123,* H. 4, 303–307.

Turala-Szybowska, Krystyna 1977: Karyological studies in Ranunculus fluitans Lam. from Thuringia and Vilnius with its surroundings. «Acta Biol. Crac. Ser. Bot.» *20,* 1–9.

Wächter, K. 1984: Das Wachstum von Zannichellia palustris L. und Ranunculus fluitans Lam. bei vier verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten in künstlichen Versuchsrinnen. 52 S. und Anhänge. Diplomarbeit an der Hydrobiol.-limnol. Station der Univ. Zürich, Kilchberg.

Waser, E., Blöchliger, G. und *Thomas, E.A.* 1943: Untersuchungen am Rhein von Schaffhausen bis Kaiserstuhl 1938/41. «Z. f. Hydrol.» *9,* H. 3/4, 1–85.

Weber, Georg 1976: Krautwucherungen im Rhein, Flutender Hahnenfuss (Ranunculus fluitans Lam.). Ergebnisse der Fachtagung vom 3. Juni 1976 in Neuhausen am Rheinfall und Ellikon am Rhein. «wasser, energie, luft» *68,* H. 10.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. *Eugen A. Thomas,* Universität Zürich, Limnologische Station, Seestrasse 187, CH-8802 Kilchberg.

Biologische Wirksamkeit von Substanzen des Flutenden Hahnenfusses

Ferdinand Schanz und Hansjörg Näf

Zusammenfassung

Protoanemonin und Schwermetallkomplexe sind die einzigen Substanzen des Flutenden Hahnenfusses, die giftig sind. Der Protoanemoningehalt schwankt jahreszeitlich zwischen 1,0 und 1,7% des Trockengewichts. Unter aeroben Bedingungen zersetzt sich das pflanzliche Material rasch und das Protoanemonin baut sich während einer Periode von 10 bis 15 Tagen weitgehend ab. Unter anaeroben Bedingungen kann die Giftigkeit lange erhalten bleiben.

Résumé: Influence biologique de substances de Ranunculus fluitans

Protoanemonin et des complexes de métaux lourds sont les seuls substances toxiques de Ranunculus fluitans. Le contenu de protoanemonin varie selon la saison entre 1,0 et 1,7% du poids sec. Sous conditions d'aérobie une décomposition rapide du matériel végétal se passe et on peut constater une décomposition considérable de protoanemonin pendant une période de 10 à 15 jours. Sous conditions d'anaérobie la toxicité peut se conserver longtemps.

Summary: Biological effects of substances produced by Ranunculus fluitans

Protoanemonin and heavy metal complexes are the only poisonous substances produced by Ranunculus fluitans. The protoanemonin content fluctuates between 1,0 and 1,7% of the dry weight. Under aerobic conditions a rapid decomposition of the plant material occurs and there is a considerable loss of protoanemonin during a period of 10 to 15 days. Under anaerobic conditions the toxicity remains constant for a long time.

1. Einleitung

Der Flutende Hahnenfuss *(Ranunculus fluitans* Lam.) ist eine im Wasser lebende Blütenpflanze, die schon vor über 100 Jahren im Rhein nachgewiesen worden ist [1]. In der von *Binz* und *Becherer* [2] verfassten Exkursionsflora wird angegeben, dass Ranunculus fluitans in der Schweiz nicht häufig zu finden sei; dies trifft heute nicht mehr zu. Als Folge der nach dem 2. Weltkrieg einsetzenden und rasch voranschreitenden Verschmutzung des Rheinwassers [3] entwickelten sich die vorhandenen Wasserpflanzen sehr üppig: Zwischen 1967 und 1971 vergrösserten sich vor allem die mit dem Flutenden Hahnenfuss bewachsenen Flächen stark. Die vielfältigen Schadwirkungen, die sich daraus ergaben, wurden von *Näf* [4] und *Thomas* [5] eingehend dargelegt. Von 1971 bis 1984 trat jedes Jahr eine Massenentwicklung von Wasserpflanzen im Rhein auf, die nach eigenen Beobachtungen und denjenigen von *Huber* [1] und *Knecht* [6] in den einzelnen Jahren unterschiedlich ausgeprägt war.

Die Giftigkeit des Flutenden Hahnenfusses wurde zuerst von *Thomas* [7] experimentell geprüft. Er stellte jedoch fest, dass das Gift beim Abbau des Pflanzenmaterials während einer gewissen Zeit erhalten blieb.

Im folgenden sollen einige Forschungsresultate vorgestellt werden, die zur biologischen Wirksamkeit von Substanzen des Flutenden Hahnenfusses gemacht worden sind.