Das «Rheodrom», eine neue Fliesswasser-Versuchsanlage

Von LUTZ IBSCHER und ANDRES KELLER

Eidg. Technische Hochschule Zürich
Institut für Gewässerschutz und Wassertechnologie¹⁾

Manuskript eingegangen am 20. Dezember 1974

SUMMARY

The EAWAG's 'Rheodrom' is a multi-purpose installation, built for hydraulic and ecological experiments, in particular tests with invertebrates in running waters. It is a cyclical system. Approximately 9 m³ water are recirculated through rectangular plexiglass troughs, 6 m in length, 30 cm deep and 15 cm wide. Slope, temperature (4–28 °C) and ground substrate are variable. Light-dark alternations can be produced externally. There is an oxygen saturation of the water at all the time. An increase in heavy metals owing to mechanical attrition cannot be proven.

1. Einleitung

In der Forschung zur Ökologie des Fliesswassers zeigt sich in den letzten Jahren ein Bestreben, Freilandbefunde im Laborexperiment zu überprüfen und zu vertiefen. Zwei Hauptgründe sprechen für die Simulation im Labor: die *Variierbarkeit* einzelner Parameter, deren Einfluss in situ nur schwer von dem anderer Faktoren zu unterscheiden ist, und die Vorteile, die sich für Messungen und Beobachtungen im Labor ergeben, wo sie *witterungsunabhängig* sind [3]. Aufbauend auf den Erfahrungen von AMBÜHL [1] wurde in den letzten Jahren an der EAWAG (Versuchsstation Tüffenwies in Zürich-Altstetten) ein Fliesswassermodell für *experimentelle Ökologie* an Bachinvertebraten gebaut. In der vorliegenden Arbeit soll das Funktionsprinzip und die erste Ausbauphase dargestellt werden.

2. Das Pflichtenheft der Anlage

Um Temperatur und möglicherweise chemische Parameter frei verändern zu können, wählten wir ein *Kreislaufsystem*. Dieses hat gegenüber einem Durchlaufsystem zwei wesentliche Nachteile [2]: Es ist anfälliger auf technische Störungen,

¹⁾ Die Arbeit wurde an der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) ausgeführt.

Abb. 1. Übersicht.

Fig. 1. Overview.

Abb. 2. Funktionsschema.

A zentrales Reservoir, *B* Regulierschieber, *C* Rückschlagklappe, *D* Steigkasten (Beruhigungsbecken), *E* Planktonnetz, *F* Überlauf, *G* Einlauftrichter, *H* Filterkasten, *I* Probenahmefenster, *K* Höhenverstellung.

Fig. 2. Functional scheme.

A Central reservoir, *B* Regulation valve, *C* Checkvalve, *D* Rising chamber (calming basin), *E* Plankton net, *F* Overflow, *G* Inflow funnel, *H* Filter box, *I* Sampling window, *K* Slope adjustor.

und es besteht die Gefahr, dass sich bei längerer Versuchsdauer der Chemismus des Wassers unkontrolliert verändert. Dem wurde durch eine stabile, gross dimensionierte Konstruktion entgegengewirkt, die sich inzwischen auch als sehr wenig stör-anfällig erwiesen hat. Zudem sollte ein relativ grosses Wasservolumen zirkuliert werden, das überdies kontinuierlich ausgetauscht werden kann. Als wichtigste Variablen wurden vorgesehen:

1. die Strömungsverhältnisse
2. das Bodensubstrat
3. die Temperatur

Es wurde ein *rechteckiger Rinnenquerschnitt* gewählt, weil für derartige Rinnen ausreichend exakte hydraulische Berechnungen bekannt sind. Die Rinnen mussten genügend gross sein, dass nicht nur mit einzelnen Tieren, sondern ganzen Populationen gearbeitet werden kann. Um Beobachtungen von allen Seiten zu gestatten, wurden die Rinnen als selbsttragende Plexiglas-Konstruktion konzipiert.

3. Konstruktive Lösung

Die Versuchsanlage steht in einer geheizten Halle und misst in der Länge rund 12 m. Sie enthält 8–9 m³ Wasser; dieses wird durch eine Zentrifugalpumpe mit konstanter Leistung aus dem zentralen Reservoir in den Steigkasten gehoben. Beim Abschalten der Pumpe verhindert eine eingebaute Rückschlagklappe ein Rückfliessen ins Reservoir. In die Steigleitung ist auch ein Blendenschieber eingebaut, mit dem die Fördermenge stufenlos reguliert werden kann. Im Steigkasten beruhigt sich das zunächst stark turbulente Wasser; diese Wirkung wird durch schräg eingebaute Planktonnetze verstärkt. Der Wasserstand im Steigkasten wird durch einen leicht verstellbaren Überlauf, der den Überschuss ins Reservoir zurückführt, reguliert. Durch parabelförmige Einlauftrichter (vgl. Abb. 3) wird das Wasser ohne wesentliche Turbulenzen beschleunigt und strömt in die Plexiglasrinnen. Diese bestehen aus je drei gleichartigen und gegeneinander austauschbaren Elementen von 2 m Länge. Nur die mittleren 2 m sind als Beobachtungsstrecke gedacht, da hier eine nahezu gleichförmige Strömung herrscht (weder Ein- noch Auslaufstörungen machen sich bemerkbar). Die Tiefe der Rinnen beträgt 30 cm, ihre lichte Weite 15 cm.

Abb. 3. Aufsicht auf das Beruhigungsbecken mit Einlauftrichtern.

Fig. 3. Plan view of the calming basin with inflow funnel.

Am Ende der Rinnen fällt das Wasser frei durch die Filterkasten in ein Zwischenbecken und fließt von dort ins zentrale Reservoir zurück. Die beiden Filterkasten sind mit Fenstern versehen, durch die Proben entnommen und die Abscheidevorrichtungen für Tiere, z.B. Driftsampler, bedient werden können. Alle einzelnen Räume der Anlage sind durch Luftleitungen untereinander verbunden, damit Druckunterschiede ausgeglichen werden können.

Die Tragkonstruktion der Rinnen ist drehbar am Steig- und Filterkasten aufgehängt, und zwar so, dass die Drehachse durch die Rinnenmitte läuft. Der Steigkasten ist fest; die Filterkasten können dagegen durch Seilwinden stufenlos und unabhängig voneinander gehoben und gesenkt werden. Dadurch lässt sich das Rinnengefälle rasch zwischen -1% und $+9\%$ verstellen, wobei eine festmontierte Schlauchwasserwaage ein müheloses Ablesen des eingestellten Wertes erlaubt. Der Übergang von den feststehenden Kästen zu den beweglichen Rinnenenden wird von einer flexiblen Gummiplattenkonstruktion übernommen.

Als Substrat können in die Rinnen z.B. Eternittafeln mit aufge kitteten Steinen, lose Steine oder Porzellan kugeln einheitlicher Grösse eingelegt werden. Die Rinnen lassen sich mit plastifizierten Tüchern (Ballontuch) leicht verdunkeln und/oder mit speziellen aufsetzbaren Leuchtstoffröhren (40/100/140 W) beleuchten. Diese lassen sich über eine Schaltuhr steuern, so dass beliebige Hell-Dunkel-Rhythmen eingestellt werden können.

Die Temperatur kann dank einem Kühlaggregat im Bereich $4-28^{\circ}\text{C}$ beliebig gewählt und mit $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ konstant gehalten werden. Der über einen elektronischen Fühler gesteuerte Kompressor befindet sich im Pumpenraum, die Kühlschlangen (aus V4A-Stahl) im Reservoir.

Um das Arbeiten an den Rinnen zu erleichtern, wurde ein Laufsteg gebaut, von dem aus die Rinnenoberkante etwa auf Tischhöhe liegt.

Die auf Abb. 1 sichtbaren Eternitrinnen im Hintergrund haben mit der eigentlichen Anlage nichts zu tun. Sie werden mit Grundwasser gespeist und dienen dem Haltern der Versuchstiere.

4. Das Wasser und sein Chemismus

Das Rheodrom kann grundsätzlich mit jedem beliebigen Wasser betrieben werden. In der Versuchsstation Tüffenwies stehen grundsätzlich folgende Wasserqualitäten zur Verfügung: Rohabwasser aus dem städtischen Sammelkanal, Abfluss der Versuchskläranlage, Flusswasser aus der Limmat, Grundwasser aus eigener Wasserversorgung und Trinkwasser aus dem städtischen Netz. Bisher wurde lediglich *Grundwasser* benützt.

Die mittlere Umwälzzeit für das gesamte Wasservolumen beträgt zwischen 10 und 30 Minuten. Die Belüftungsleistung am Ende der Rinnen, bedingt durch einen freien Fall von einem Meter durch das Planktonnetz eines Driftsammlers, ist beträchtlich. So konnte bei minimalem Wasserumsatz und maximaler Kühlleistung ein Sättigungswert von 100% für Sauerstoff nie unterschritten werden (Bestimmung nach Winkler). Bei normalem Betrieb kann somit immer mit sauerstoffgesättigtem Wasser gerechnet werden.

Die ganzen Behälter bestehen aus Stahlblech bzw. Beton. Die Anlage wurde jedoch mit einem mehrfachen Überzug aus Äthoxylharzlack (auf Epoxidbasis) ausgekleidet. Um toxische Anreicherungen von Schwermetallen bei Langzeitversuchen zu vermeiden, wurden solche bei der Konstruktion weggelassen. Ein Test über einen Zeitraum von 67 Tagen (bei geschlossenem Kreislauf) bewies die Wirksamkeit dieser Vorkehrungen: Die am Ende der Versuchszeit entnommenen Proben wurden mit den Vergleichsproben vom Anfang auf eine allfällige Anreicherung folgender Metalle geprüft: Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cd, Cr. Analysenmethode: Atomabsorptions-Spektrophotometer. Eine Akkumulation konnte in keinem Falle festgestellt werden. Um aber jede Gefahr der Beeinträchtigung der Versuchstiere durch toxisch wirkende Stoffe, evtl. organischer Natur, auszuschließen, wird im normalen Versuchsbetrieb ein ständiger geringer Wasseraustausch aufrechterhalten.

Die natürliche Nährstoffkonzentration des Grundwassers (evtl. durch Blumendünger ergänzt) reicht aus, um in 10–20 Tagen einen Algenrasen auf dem Bodensubstrat anwachsen zu lassen. Dieser ist als Futterangebot für Primärkonsumenten Voraussetzung für längere Versuche. Dabei ändert sich natürlich durch Zehrung die Nährstoffkonzentration im Wasser, was aber durch einen Querdurchfluss weitgehend ausgeglichen werden kann.

5. Anwendungsmöglichkeiten

Zurzeit laufen zwei Arbeiten am Rheodrom. In einer ersten Arbeit (KELLER 1975, in Vorbereitung) werden einige Probleme der Drift experimentell angegangen. Es sind dies: Rhythmik, Driftweg, driftbeeinflussende Faktoren und einige Angaben zum Thema Driftkompensation. Versuchsobjekt ist eine Ephemeropterenart (*Ecdyonurus venosus*). Die zweite Arbeit soll ähnliche Experimente enthalten, allerdings mit dem Schwergewicht auf Aufwanderung, der driftkompensierenden Wanderung gegen die Strömung.

In einer zweiten Ausbauphase, die z. Z. geprüft wird, soll das ganze System in zwei getrennte Kreisläufe unterteilt werden. Durch diese Massnahme werden die Strömungsverhältnisse noch besser kontrollierbar; auch wird es dann möglich sein, mit Versuch und Kontrolle über den Einfluss von chemischen Parametern (z. B. pH, Schwermetalle, Gifte) auf das Verhalten des Fließwasserbenthos zu arbeiten. Auch Fragen über den Einfluss der «thermal pollution» könnten auf dem Rheodrom eine experimentelle Antwort finden.

Zusammenfassung

Das «Rheodrom» der EAWAG wurde als Mehrzweckanlage für hydraulische und ökologische Zwecke, insbesondere für Experimente mit Fließwasser-Invertebraten, gebaut. Es ist als Kreislaufsystem konzipiert. Ca. 9 m³ Wasser werden durch 6 m lange, 30 cm tiefe und 15 cm breite rechteckige Rinnen aus Plexiglas rezirkuliert. Variable sind das Gefälle (bzw. die Strömungsverhältnisse), die Temperatur (4–28°C)

und das Bodensubstrat. Der Hell-Dunkel-Rhythmus ist extern variierbar. Das Wasser ist stets sauerstoffgesättigt. Eine Anreicherung von Schwermetallen durch den maschinellen Betrieb konnte nicht nachgewiesen werden.

RÉSUMÉ

Le «Rheodrom» de l'EAWAG a été conçu pour des expériences hydrauliques et écologiques, en particulier avec des invertébrés des eaux courantes. Le système est circulaire; environ 9 m³ d'eau sont récirculés dans des rigoles rectangulaires en plexiglas, 6 m de long, 30 cm de profond et 15 cm de large. La pente (vitesse de courant), la température (4 à 28°C) et le substrat sont variables. Le rythme claire-sombre peut être réglé de l'extérieur. L'eau est toujours saturée d'oxygène. Un enrichissement en métaux lourds dû au fonctionnement mécanique n'a pas été vérifié.

VERDANKUNG

An dieser Stelle möchten wir unseren besonderen Dank aussprechen den Herren Prof. O. Jaag und Prof. H. Ambühl für die Ermöglichung der Anlage, Herrn B. Novak für die konstruktive und hydraulische Beratung, Herrn Dr. H. R. Hegi für die Schwermetallanalysen, der Werkstatt Tüf-fenwies für die fachgerechte Realisation und der Stiftung zur Förderung des Gewässerschutzes für die hauptsächliche Finanzierung der Anlage.

LITERATUR

- [1] AMBÜHL, H., Die Bedeutung der Strömung als ökologischer Faktor. Schweiz. Z. Hydrol. 21, 133-264 (1959).
- [2] ILLIES, J., ROGGER, A., u. MEIJERING, M. P. D., Moderne Flusswasser-Experimentier-Gerinne. Arch. Hydrobiol. 74, 48-59 (1974).
- [3] SCHERER, E., Zur Methodik experimenteller Fliesswasser-Ökologie. Arch. Hydrobiol. 67, 242-248 (1965).

Anschriften der Verfasser:

Lutz Ibscher, dipl. phil. II, CH-8400 Winterthur, Bleichstrasse 40.

Andres Keller, dipl. Natw. ETH, Institut für Gewässerschutz und Wassertechnologie der ETH Zürich, c/o EAWAG, CH-8600 Dübendorf.