wasser
in schule und bildung

Band 1 (2012)
S. 17–23

Strömungsgeschwindigkeiten preiswert messen

Richard Müller[1] *

[1]Ökologische Station JH Sorpesee, Am Sorpesee 7, 59846 Sundern

ZUSAMMENFASSUNG

Ausgehend von der ökologischen Bedeutung der Strömungsgeschwindigkeit in Fließgewässern werden verschiedene Methoden zu deren Messung vorgestellt und der Selbstbau eines preiswerten, für die Schule geeigneten Flügelradanemometers beschrieben. Mit geeigneter Software können die mit diesem Gerät gewonnenen Daten ausgewertet werden.

WARUM IST DIE STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEIT WICHTIG?

Schon die Tatsache, dass Gewässer im Allgemeinen in stehende und fließende Gewässer eingeteilt werden, zeigt, dass die Fließ- oder Strömungsgeschwindigkeit eine der fundamentalen Größen ist, die für das Fließgewässer von Bedeutung ist. Die Strömung beeinflusst die Verteilung von Sauerstoff, von Nährstoffen oder auch von Giftstoffen. Sie bestimmt über das Substrat des Fluss- oder Bachbetts. Am Beispiel von zwei Eintagsfliegenlarven (Abb. 1) soll gezeigt werden, wie die Strömungsgeschwindigkeit Lebensräume charakterisiert.

Die Larven der *Ephemera*-Arten haben eine runde Körperform, ihre Vorderbeine und die Mandibel sind abgeflacht. Die Kiemen besitzen durch ihre starke Auffächerung eine große Oberfläche. Ihre Fußkrallen sind schwach ausgebildet. Diese Merkmale lassen vermuten, dass sie in einem Lebensraum mit sehr geringer Strömungsgeschwindigkeit vorkommt. Und tatsächlich lebt *Ephemera* im schlammigen Ufergrund, in den sie sich eingräbt. Zwischen den feinen Bodenteilchen ist die Strömung äußerst gering. Die Sauerstoffversorgung ist schlecht. Ganz anders die Eintagsfliegenlarve *Rithrogena*. Sie ist flach, hat kräftige Krallen, kaum gegliederte und unbewegliche Kiemenblättchen. Sie lebt in Bächen an Orten, wo eine hohe Strömungsgeschwindigkeit herrscht. Bis zu 1,24 m/s soll sie tolerieren (WILDERMUTH, 1991). Bei dieser hohen Strömungsgeschwindigkeit ist die Sauerstoffversorgung generell gut, die Kiemenoberfläche ist dementsprechend gering. Ein Herbeistrudeln von frischem sauerstoffreichem Wasser ist nicht nötig, eine Bewegung der Kiemenblättchen ist überflüssig.

Was hier am Beispiel von Eintagsfliegenlarven gezeigt wurde, gilt sinngemäß für alle Bachtiere und -pflanzen. Die Strömungsgeschwindigkeit bestimmt das Verteilungsmuster aller Organismen in erster Linie (ZIMMERMANN, 1961). Ein natürlicher Bach besitzt meistens eine Vielfalt verschieden stark durchströmter Bereiche, wodurch auch Lebensräume für eine Vielfalt verschiedener Lebewesen existiert (z. B. (HORTLE und LAKE, 1983) oder (HORTLE und LAKE, 1982)). Die Bedeutung von Gewässerrenaturierungen liegt in der (Wieder-)Schaffung solcher Strukturen. Ein Erfolg solcher Maßnahmen, ausgedrückt in der Zahl der vorkommenden Fischarten, wurde z.B. von JUNGWIRTH *et al.* (1995) nachgewiesen.

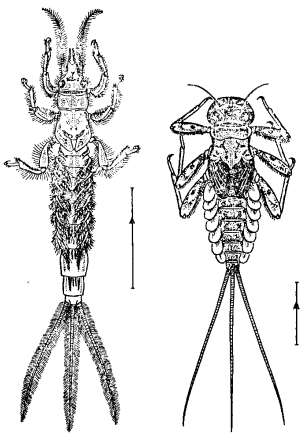


Abbildung 1. Zwei Eintagsfliegenlarven (aus (ENGELHARDT und MERXMÜLLER, 1982)) a: *Ephemera vulgata*, b: *Rithrogena* sp.

Da die Strömungsgeschwindigkeit eine so wichtige Größe ist (GEMBALLA und SCHERMUTZKI, 2004), sollte sie auch im Schulalltag bestimmt werden können. Zu ihrer Messung wurden eine Reihe unterschiedlicher Verfahren entwickelt, die unterschiedlich gut für den Unterricht geeignet sind.

WIE WIRD DIE STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEIT GEMESSEN?

Die Korkenmethode

Die ‚Korkenmethode' ist die einfachste und ursprünglichste Methode zur Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit. Ein schwimmender Gegenstand (der natürlich nicht unbedingt ein Korken sein muss) wird ins Wasser geworfen und die Zeit gemessen, die er für eine bestimmte Strecke braucht. Aus der Strecke und der Zeit wird die Geschwindigkeit berechnet. Leider hat diese Art, die Strömungsgeschwindigkeit zu messen, erhebliche Nachteile, sie eignet sich nur für orientierende Messungen:

– Es wird nur die (mittlere) Strömungsgeschwindigkeit eines längeren Abschnitts (typischerweise 2 bis 10 m) gemessen

*r.mueller@oeko-sorpe.de

© bei den Autoren CC-BY-NC-ND 3.0 (2012)

– Es wird nur die Strömungsgeschwindigkeit an der Oberfläche gemessen
– Der Bachabschnitt muss gerade sein
– Es dürfen sich keine Hindernisse auf dem Messstrecke befinden
– Der Einfluss des Windes ist nicht zu unterschätzen

Für diese Methode spricht:

+ Sie ist billig
+ Sie ist einsichtig
+ Sie ist schnell improvisierbar

Da mit der Korkenmethode nicht kleinräumig und nur umständlich in der Tiefe gemessen werden kann[1], eignet sie sich nicht für weitergehende Untersuchungen.

Das Hitzdrahtanemometer

Viele Methoden der Strömungsgeschwindigkeitsmessung stammen aus der Klima- und der Flugzeugtechnik. Das ursprüngliche Ziel, nämlich die Messung der Windgeschwindigkeit, zeigt sich noch in der Bezeichnung ‚Anemometer' (griech. ἄνεμος = Wind).

Ursprünglich war das Hitzdrahtanemometer ein Gerät, bei dem ein elektrisch erhitzter Draht im Fahrtwind eines Flugzeugs montiert war. Der Draht wurde durch den Fahrtwind gekühlt, wodurch sich sein elektrischer Widerstand änderte. Diese Widerstandsänderung ist von der Windgeschwindigkeit abhängig. Diese Methode wurde zur Messung im Wasser adaptiert. Man verwendet allerdings keine heißen Drähte mehr, sondern elektronische Elemente, z. B. Thermistoren (COMTE-BELLOT, 1976). Durch die geringe Größe dieser Bauteile sind sehr kleinräumige Messungen möglich, so z. B. direkt im Osculum von Schwämmen (LABARBERA und VOGEL, 1976). Auch hier ist ein Selbstbau prinzipiell möglich (TADHIPARTHI, 2010), der aber über die hier gesetzten Grenzen hinausgeht. Falls man aber im Substrat oder in der strömungsarmen Grenzschicht messen möchte, käme diese Methode in Betracht.

– Selbstbau nur mit erheblichem Know-how möglich
– Für die Schule weniger geeignet
+ Sehr kleinräumige Messungen möglich
+ In jeder Wassertiefe anwendbar

Das Staudruckanemometer

Auch dieses Gerät stammt aus der Luftfahrt. Es beruht auf dem Prinzip der Venturidüse, das jedem von der Wasserstrahlpumpe her bekannt ist. Das z. B. in Sportflugzeugen verwendete Prandtlsche Staurohr ermittelt die Druckdifferenz in zwei auf Grund unterschiedlichen Querschnitts verschieden schnell durchströmten Bereichen des Messgeräts. Als Pitotrohr wird es auch in der Gewässermesstechnik verwendet. Die theoretischen Grundlagen finden sich z. B. bei HEINEMANN und FELDHAUS (2003, S. 62). Die Anwendung eines improvisierten Staurohres bei Schulexkursionen erläutern PHILIPP *et al.* (2004, S. 114) oder NOLL (1983).

– Geringer empfindlich
– Nicht leicht abzulesen
+ Selbstbau leicht
+ Für die Schule geeignet
+ Prinzipiell (nach Modifikation des Anzeigerohres) in jeder Wassertiefe anwendbar

Ultraschallmessgeräte

Mit Ultraschall lässt sich die Fließgeschwindigkeit in Rohren messen. Es gibt eine ganze Reiher verschiedener Messverfahren, die aber nur selten in der Limnologie genutzt werden und für schulische Zwecke kaum in Frage kommen. Ein wasserwirtschaftliches Anwendungsbeispiel für ein auf der Laufzeitmessung von Schallimpulsen basierendes Gerät gibt BETZ (2005). Sein Messprinzip beruht auf der Tatsache, dass die Laufzeit eines Schallimpulses mit der Strömungsrichtung anders ist als gegen die Strömungsrichtung. In der Ozeanografie und der Limnologie sind Geräte im Einsatz, die nach dem Doppler-Prinzip arbeiten (ZEDEL und CYR-RACINE, 2009). Dabei wird der Doppler-Effekt ausgenutzt, bei dem sich die Frequenz des Schallimpulses bei Annäherung erhöht und bei Entfernung vermindert. Ultraschallmessgeräte sind bis jetzt nicht für den Schulalltag geeignet und werden daher nicht weiter betrachtet.

– Selbstbau sehr schwierig, wenn überhaupt möglich
– Für die Schule ungeeignet
– Teuer
+ Empfindlich
+ In jeder Wassertiefe einsetzbar

Das Flügelradanemometer

Die klassische Form eines Messgerätes für die Strömungsgeschwindigkeit ist das Flügelradanemometer. Schiffe verwenden ein solches Gerät unter der Bezeichnung „Logge", mit dem die Geschwindigkeit und die zurückgelegte Strecke gemessen wird. Hier wird ein Propeller durch die Wasserbewegung in Drehung versetzt. Der Messbereich hochwertiger Präzisionsgeräte beginnt bei etwa 0,025 m/s. Bei Flügelradanemometern werden die Umdrehungen des Propellers in einer bestimmten Zeit gezählt und nach einer Eichtabelle oder mit Hilfe eines eingebauten Mikroprozessors in Geschwindigkeiten umgerechnet. Die Erfassung der Umdrehungszahl kann mechanisch, über einen magnetischen Reedkontakt oder über eine Lichtschranke erfolgen. Für kleinräumige Messungen sind Propeller bis hinab zu 1 cm Ø erhältlich. Flügelradanemometer sind empfindlich gegen Verschmutzungen. Fremdkörper oder Pflanzenteile bleiben gerne an ihnen hängen und beeinträchtigen ihre Wirkungsweise. Sie müssen also regelmäßig überwacht und gegebenenfalls gereinigt werden. Sie sind nicht für sehr geringe Fließgeschwindigkeiten, für sehr kleinräumige oder für Messungen in verkrauteten Bereichen einsetzbar.

Ein Anemometer lässt sich einfach und preiswert selber bauen. Natürlich ist gegenüber professionellen Geräten der Einsatzbereich

[1] TOLKMITT und ZANDER (1947) beschreiben, wie das realisiert werden kann.

ISSN 2194-3052

beschränkt, aber nichtsdestotrotz lassen sich wertvolle Informationen über ein Fließgewässer gewinnen.

– Das Selbstbaugerät ist geringer empfindlich
+ Selbstbau leicht
+ Für die Schule geeignet
+ Prinzipiell (je nach Befestigung und Kabel) in jeder Wassertiefe anwendbar

Bau eines einfachen Flügelradanemometers

Materialliste

- PC-Lüfter
- Fahrradcomputer
- Reedkontakt
- dünnes, rundes 2-adriges Kabel
- Schrumpfschlauch
- kurzes rundes Plastikstück (1 cm × 4 mm Ø)
- div. Schrauben
- Holzlatte
- Kabelbinder
- Wellensicherung 3 mm Ø

Im Selbstbaugerät werden einfache und preiswerte Komponenten verwendet. Das Flügelrad stammt aus einem zu verschrottenden Tower-PC. Hier können Netzteil-, Gehäuse- oder Prozessorlüfter verwendet werden (Abb. 2(a)). Wichtig ist, dass der Lüfter leicht gelagert und nicht zu groß ist. Mit großen Lüftern lässt sich nicht in engeren oder flacheren Gerinnen messen.

Zuerst wird das Flügelrad aus dem Käfig ausgebaut. Über der Nabe befindet sich meist ein runder Aufkleber, der abgezogen wird. Der darunter befindliche Gummiverschluss wird mit der Spitze eines Taschenmessers o.ä. herausgehebelt (Abb. 2(b)).

Die Anschlusskabel werden abgelötet oder abgeknipst. Auf der Welle befindet sich eine Wellensicherung aus Plastik oder Metall, sie wird mit einem kleinen Schraubenzieher herausgehebelt. In der Regel wird sie dabei zerstört. Jetzt kann das Flügelrad abgezogen werden. Die Elektronik um die Radlagerung im Käfig kann an Ort und Stelle verbleiben. Wenn sie mit Gewalt entfernt wird, besteht die Gefahr, dass mehr an dem Lager zerstört wird als toleriert werden kann. Im Innern des Flügelrads befindet sich ein Ringmagnet, der mit einem kleinen Flachschlitz-Schraubendreher entfernt werden muss (Abb. 2(c)). In zwei gegenüberliegende Schaufeln werden Löcher mit 4 mm Ø gebohrt. Das Problem ist, dass die Lüfter eine ungeradzahlige Anzahl von Schaufelblättern haben, so dass die Löcher nur ungefähr gegenüber liegen können (Abb. 2(d)). Die Löcher müssen so angeordnet sein, dass der dort zu montierende Magnet bzw. das Ausgleichsgewicht bei Rotation des wieder montierten Flügelrades nicht an den Käfig anstößt. Trotzdem muss der Magnet möglichst nahe an einem Steg des Käfigs vorbeigleiten. Wir öffnen die Verpackung des Fahrradcomputers und entnehmen den Magneten. Falls die Speichenbefestigung schon aufgeschraubt ist, wird sie entfernt und verworfen. Die Masse des Magneten und einer M4-Mutter wird ermittelt (Abb. 2(g)). Als Gegengewicht dient eine kleine M4-Schraube, einige Muttern und Scheiben. Sie werden mit Hilfe einer Waage so kombiniert, dass sie zusammen die gleiche Masse haben wie der Magnet plus Mutter. Der Magnet des Fahrradcomputers wird mit einer M4-Mutter in einem Loch befestigt, das Gegengewicht gegenüber. Noch einmal prüfen, ob das Flügelrad ungehindert in dem Käfig rotieren kann!

Der Reedkontakt wird an ein rundes zweiadriges Kabel gelötet, die überstehenden Enden werden abgeknipst (Abb. 2(e)). Spitze Enden werden flachgebogen. Ein Stück Schrumpfschlauch wird über den Reedkontakt geschoben, er soll etwa 2 cm der Kabelisolierung bedecken. Am anderen Ende wird ein Stückchen Rundplastik eingeschoben, um einen wasserdichten Abschluss zu erhalten (Abb. 2(f)). Mit einem Heißluftgebläse wird der Schlauch fest auf Kabel, Reedkontakt und Plastikstück geschrumpft. Mit einem zweiten, etwas längeren Stück Schrumpfschlauch wird eine zweite Schicht angebracht.

Der Reedkontakt wird mit Kabelbindern auf dem Steg befestigt, in dem ursprünglich die Kabel des Lüfters entlangliefen. Er muss sich möglichst nahe beim Magneten befinden. Wieder überprüfen, ob das Flügelrad sich frei drehen kann! Wenn der Magnet den Reedkontakt passiert, muss man ein ganz feines Klicken hören können. Zur Sicherheit kann auch mit einem Multimeter am anderen Ende des Kabels geprüft werden, ob der Kontakt schaltet.

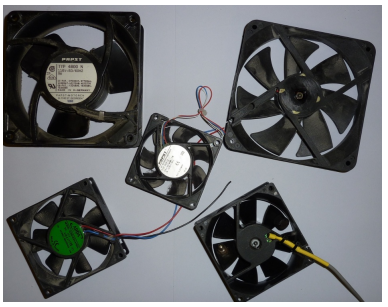
Am Ende der Welle des Flügelrades ist eine kleine Einkerbung zu sehen. Hier soll, wenn das Rad in dem Käfig montiert ist, eine Wellensicherung aufgesetzt werden, was am besten mit einer speziellen Zange geht. Aber Vorsicht, die kleinen Sicherungsringe sind schnell verbogen! Jetzt ist das eigentliche Gerät fertig (Abb. 2(h)) und kann z.B. mit Kabelbindern an einer Holzlatte befestigt werden (Abb. 4).

Das andere Ende des Kabels wird mit dem Fahrradcomputer verbunden (welcher Leiter an welchen Anschluss kommt, ist irrelevant). Der Fahrradcomputer wird ebenfalls an der Holzlatte befestigt. Er wird gemäß der Bedienungsanleitung in Betrieb genommen. Wichtig ist hierbei die Einstellung des Radumfangs; durch die Eingabe geeigneter Werte kann auf dem Display die Fließgeschwindigkeit in gewissen Grenzen direkt angezeigt werden. Für die Kalibrierung ist die Kenntnis des momentan eingestellten Radumfangs $RU_{eingestellt}$ wichtig.

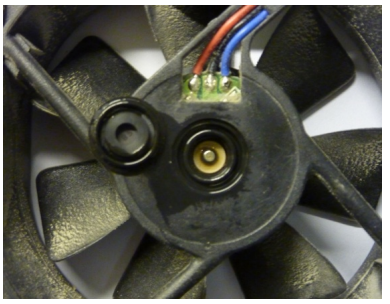
Da ein gewisses Längsspiel in der Lagerung der Achse vorhanden ist, funktioniert das Anemometer nur in einer Richtung. Wenn das Gerät „verkehrt herum“ in die Strömung gehalten wird, drückt sich der Propeller so an das Gehäuse, dass er sich nicht mehr frei drehen kann. Ausprobieren und mit weißer Farbe oder Tipp-Ex einen Pfeil auf dem Gehäuse anbringen, der die „richtige“ Strömungsrichtung anzeigt.

Kalibrierung des Anemometers Zur Kalibrierung gibt es verschiedene Möglichkeiten. Mit Stativmaterial wird in einem aufblasbaren Planschbecken ein langsam laufender regelbarer Rührmotor aus der Chemiesammlung montiert. An einem Querträger wird das Anemometer so eingeklemmt, dass es sich in der richtigen Richtung (gegen die Pfeilrichtung) durch das Wasser bewegt. Der Fahrradcomputer wird auch auf dem Querträger befestigt. Durch Variation der Drehzahl und/oder dem Montageort des Anemometers auf dem Querträger wird die Geschwindigkeit variiert. Die tatsächliche Geschwindigkeit kann über den vom Anemometer beschriebenen Kreisumfang und der gestoppten Zeit ermittelt werden.

Steht kein Planschbecken oder kein Rührmotor zur Verfügung, misst man an einem Schwimmbecken, einem See oder einem Wassergraben eine Messstrecke von 10 m ab. Mit eingetauchtem



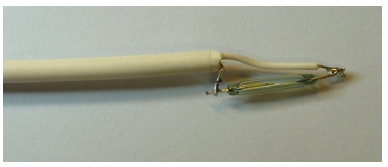
(a) Verschiedene PC-Lüfter



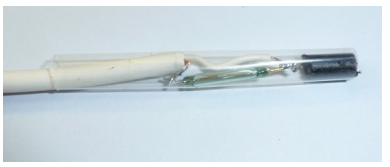
(b) Die Nabe des Lüfters ist freigelegt

(c) Der Ringmagnet muss herausgehebelt werden

(d) In zwei Schaufeln werden Löcher gebohrt (rechts vom Flügelrad liegt der Magnet)



(e) Der Reedkontakt ist mit dem Kabel verlötet . . .



(f) . . . und mit Schrumpfschlauch überzogen

(g) Das Ausgleichsgewicht soll die gleiche Masse wie der Magnet haben

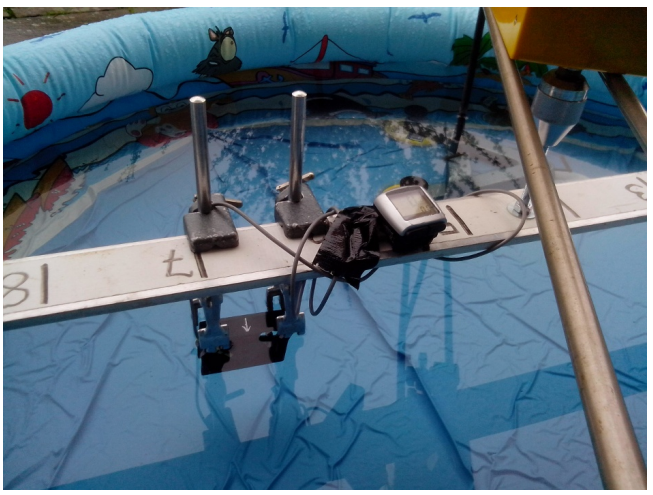
(h) Das (fast) fertige Anemometer (die Wellensicherung liegt noch daneben), Magnet links und Gegengewicht rechts

Abbildung 2. Selbstbau eines Flügelradanemometers

ISSN 2194-3052

Abbildung 4. Das fertige Anemometer

(a) Babyplanschbecken zum Kalibrieren



(b) Anemometer und Fahrradcomputer am rotierenden Querträger

Abbildung 3. Kalibrierung des Anemometers in einem Planschbecken

Anemometer geht man die Strecke gleichmäßig ab und liest die angezeigte Geschwindigkeit ($v_{angezeigt}$) ab - sinnvollerweise benutzt man die Durchschnittsfuktion des Fahrradcomputers (AVG). Ein Helfer stoppt die benötigte Zeit. Hieraus berechnet man die Geschwindigkeit $v_{wirklich}$ in cm/s. Man wiederholt das Ganze mehrfach und bildet die Mittelwerte $\overline{v_{wirklich}}$ und $\overline{v_{angezeigt}}$.

Man überprüft die Genauigkeit durch mehrere Messungen mit verschiedenen Geschwindigkeiten. Bei zu großen Abweichungen muss man sich eine Korrekturtabelle erstellen.

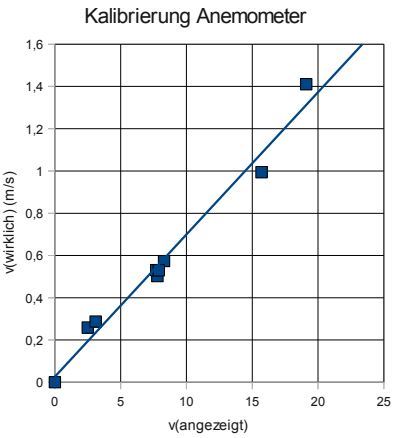


Abbildung 5. Kalibriergerade

Die angezeigten und die tatsächlichen Geschwindigkeitswerte werden gegeneinander aufgetragen und so eine Kalibriergerade (Abb. 5) erzeugt.

Durch Ändern des im Fahrradcomputer eingespeicherten Radumfangs kann die tatsächliche Geschwindigkeit auch direkt angezeigt werden. Nach der Formel

$$\frac{\overline{v_{wirklich}} \times RU_{eingestellt}}{\overline{v_{angezeigt}}} = RU_{neu}$$

berechnet man den neu einzustellenden Radumfang RU_{neu}. Man muss damit leben, dass das Display die Werte als km/h anzeigt, in Wirklichkeit die Zahlen aber cm/s vorliegen. Evtl. schafft ein Aufkleber hier Abhilfe. Der Wert des Radumfangs sollte auch auf einem Aufkleber notiert werden, da er bei einem Batteriewechsel wieder neu eingegeben werden muss.

DIE ERFASSUNG DES GESAMTABFLUSSES ODER DES STRÖMUNGSMUSTERS EINES FLIESSGEWÄSSERS

Um den Gesamtabfluss zu bestimmen, wird der Gesamtquerschnitt in mehrere Teilflächen aufgeteilt und die Strömungsgeschwindigkeit in jedem Teil gemessen. Bei unregelmäßigem Querschnitt wird empfohlen, die Gewässerbreite in mindestens 24 Teile aufzuteilen, ansonsten reichen 10 Teile in der Breite. Die Zahl der Messpunkte in der Senkrechten hängt von der gewünschten Genauigkeit ab, so werden häufig 3 Messungen pro Messlotrechte durchgeführt, in 20, 60 und 80 % der Tiefe. Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit entspricht dem Mittelwert der drei Messungen. Details zu diesem Verfahren finden sich bei MANIAK (1997).

Abbildung 6. Aufnahme eines Strömungsprofils an einem Fluss

Zur Bestimmung eines Strömungsprofils geht man entsprechend vor (Abb. 6). So lassen sich gerade und gebogene Stellen eines Fließgewässers vergleichen (Abb. 7).

Zur Ermittlung eines horizontalen Strömungsmusters (um zum Beispiel ein Mosaik verschiedener Lebensräume zu zeigen) muss der gewählte Flussabschnitt rasterartig vermessen werden. Er darf höchstens so tief sein, dass mit Wathose noch gearbeitet werden kann. Parallel zum Ufer wird rechts und links je eine Leine gespannt (sie kann mit Zelthäringen befestigt werden), die im gewünschten Rastermaß markiert ist. Quer über den Fluss wird eine weitere gleich markierte Leine so gespannt, dass sie rechtwinklig zu den Längsleinen verläuft und durch deren Nullpunkte geht. Als Nullpunkt gilt das flussabwärtsgelegene Ende der Längsleinen. Auf diese Weise kann ein Koordinatensystem definiert werden. So kann die Tiefe des Flussabschnitts auch leicht kartiert werden. Ebenso kann der Uferverlauf gezeichnet und die Lage von Felsen u. ä. markiert werden. Eine Person misst quer über den Fluss an jeder Markierung Tiefe und Strömungsgeschwindigkeit. Dabei stellt sie sich seitlich von der Messposition hin, um selbst in Strömungsrichtung kein Hindernis zu bilden. Dann wird die Querleine eine Messeinheit weiter stromaufwärts gespannt und die Messung wiederholt. So fährt man fort, bis das Ende der Messstrecke erreicht ist. Ein Helfer am Ufer notiert die Werte.

Nach der Messung das Gerät gut trocknen lassen! Am besten wird dazu das Flügelrad ausgebaut, wozu die Wellensicherung mit der Spezialzange entfernt werden muss. Es schadet nichts, ab und zu etwas Korrosionsschutz in das Lager zu sprühen.

DIE AUSWERTUNG DER DATEN

Es bietet sich an, die Strömungsdaten farbcodiert als sogenannte „Heatmaps“ darzustellen. Als Softwarewerkzeug wird an der Ökologischen Station Sorpesee die Mathematik-Software „R“ verwendet. Als Beispiele für die Ergebnisse werden hier zwei Geschwindigkeits-Profile (Abb. 7) und eine Karte von Oberflächen-Geschwindigkeiten (Abb. 8) gezeigt. Die Erstellung der dazu nötigen Skripten wird in einem eigenen Aufsatz behandelt (MÜLLER, 2012).

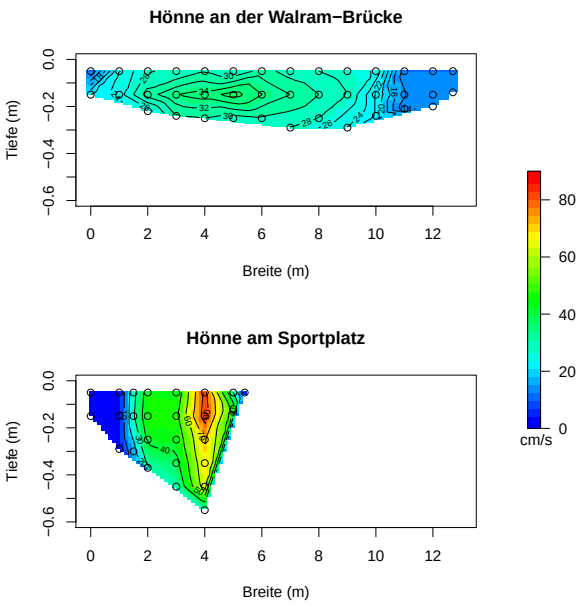


Abbildung 7. Strömungsgeschwindigkeiten in einem geraden (Walram-Brücke) und gebogenen (Sportplatz) Abschnitt eines sauerländischen Mittelgebirgsflusses (Hönne in Menden)

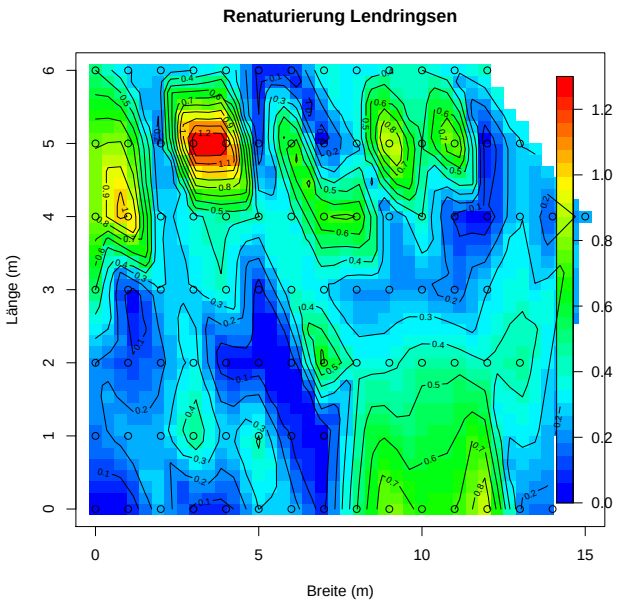


Abbildung 8. Strömungsmuster in einem renaturierten Abschnitt eines sauerländischen Mittelgebirgsflusses (Hönne in Menden-Lendringsen)

LITERATUR

BETZ, O. Ultraschall-Multimeter im Klärwerkseinsatz. *wlb* (2005): **10**: 24–26

COMTE-BELLOT, G. Hot-wire anemometry. *Ann. Rev. Fluid Mech.* (1976): **8**: 209

ENGELHARDT, W.; MERXMÜLLER, H. *Was lebt in Tümpel, Bach und Weiher?* Stuttgart: Franck, 1982, 9 Auflage

ISSN 2194-3052

GEMBALLA, S.; SCHERMUTZKI, F. Leben in der Strömung. Spezialisten und Generalisten im Bach. *Praxis d. Nat.wiss. Bio.* (2004): **53**(2): 19–28

HEINEMANN, E.; FELDHAUS, R. *Hydraulik für Bauingenieure*. Wiesbaden: Teubner, 2003, 2 Auflage

HORTLE, K.; LAKE, P. Makroinvertebrate assemblages in channelized and unchannelized sections of the Bunyip River, Victoria. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* (1982): **33**: 1071

HORTLE, K.; LAKE, P. Fish of channelized and unchannelized sections of the Bunyip River, Victoria. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* (1983): **34**: 441

JUNGWIRTH, M.; MOOG, O.; MUHAR, S. Effects of river bed restructuring on fish and benthos of a fifth order stream, Melk, Austria. *Regulated Rivers: Research and Management* (1995): **8**: 195–204

LABARBERA, M.; VOGEL, S. An inexpensive thermistor flowmeter. *Limnol. Oceanogr.* (1976): **21**: 750

MANIAK, U. *Hydrologie und Wasserwirtschaft*. 1997

MÜLLER, R. Grafikausgabe mit „R“ - zwei Beispiele aus der Praxis der Ökologischen Station (2012) `http://www.phytoplankton.info/download/r-grafik.pdf`

NOLL, M. Wasserprobe. *geographie heute* (1983): **4**(16): 57–61

PHILIPP, E.; STARKE, A.; VERBEEK, B. *Grüne Reihe. Ökologie: Materialien S II*. Grüne Reihe. Braunschweig: Schroedel, 2004

TADHIPARTHI, S. Anemometer (2010). Downloaded 18.1.2011 `http://amazingcircuits4u.blogspot.com/2010/05/anemometer.html`

TOLKMITT, G.; ZANDER, W. *Grundlagen der Wasserbaukunst*. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, 1947, 4 Auflage

WILDERMUTH, H. *Lebensraum Wasser*. Hannover: Schroedel, 1991

ZEDEL, L.; CYR-RACINE, F. Extracting Fish and Water Velocity from Doppler Profiler Data. *ICES Journal of Marine Science* (2009): **66**: 1846–1852

ZIMMERMANN, P. *Experimentelle Untersuchungen über die ökologische Wirkung der Strömungsgeschwindigkeit auf die Lebensgemeinschaften des fließenden Wassers*. Diss., ETH Zürich, Zürich (1961)