wasser
in schule und bildung

Band 1 (2012)
S. 8–10

Plankton - schön langsam nach unten

Nadine Ebert [1], Richard Müller [2] *

[1]Gymnasium Letmathe, Aucheler Str. 10, 58642 Iserlohn
[2]Ökologische Station JH Sorpesee, Am Sorpesee 7, 59846 Sundern

ZUSAMMENFASSUNG

Um den Einfluss der Form auf das Absinkverhalten von Plankton in der Schule zu untersuchen, wird oft das Sinkenlassen von Plastillinmodellen in Wasser vorgeschlagen. Dabei wird nicht berücksichtigt, dass das Absinken von großen Modellen anderen hydrodynamischen Gesetzen gehorcht als bei im Mikrometerbereich liegenden realen Planktern. Um diese Versuche realitätsnäher zu gestalten, wird vorgeschlagen, viskosere Flüssigkeiten als Wasser zu verwenden, beispielsweise Zuckerlösung oder Motoröl.

PROBLEM

Mit der Zeit sinkt (fast) jeder Plankter in die tiefen Zonen des Sees, wo er auf Grund von Lichtmangel in der Regel absterben wird:

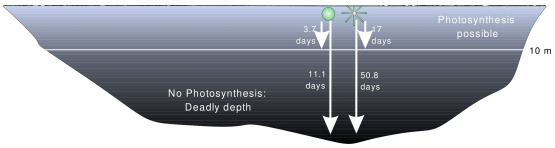

Abbildung 1. Das Absinken von Plankton

Ein kugelförmiger Plankter mit einem Radius von 10 μm wird etwa vier Tage brauchen[1] um die Kompensationsebene (häufig etwa 10 m) der Sorpe-Talsperre zu erreichen, wo das Licht so schwach ist, dass keine Fotosynthese mehr möglich ist. Aber die Algen brauchen Zeit für Wachstum und Reproduktion!

Ein Blick durch das Mikroskop zeigt, dass längst nicht alle Plankter kugelförmig sind:

Asterionella ist beispielsweise meist wie ein achtarmiger Stern geformt, der etwa 17 Tage braucht, um 10 m in die Tiefe zurückzulegen.

Schützt die meist bizarre Form der Plankter sie vor frühzeitigem Abbau in den tödlichen Tiefen?

Schulbücher beschreiben Experimente, die helfen sollen, die Gründe für die langsamere Absinkbewegung von Plankton im Vergleich zu Kugeln herauszufinden und die Verzögerung zu messen:

Meist soll man Plastillin-Modelle der Plankter in Wasser fallen lassen, z. B. in Haala *et al*. (2004). Mit diesem Experiment soll der

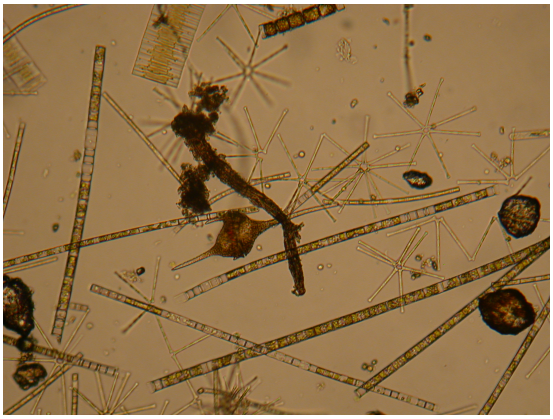

Abbildung 2. Phytoplankton der Sorpe-Talsperre: *Asterionella*, *Aulacoseira*, *Ceratium* und *Peridinium*

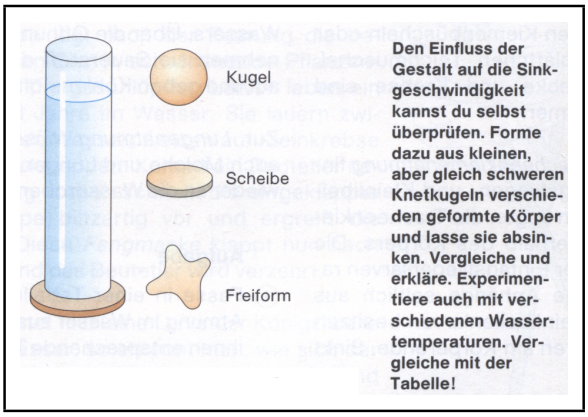

Abbildung 3. Experiment in einem Schulbuch (Haala *et al*., 2004)

Einfluss der Form auf die Sinkgeschwindigkeit V herausgefunden werden. Algenmodelle sollen entsprechend dem mikroskopischen Bild aus der gleichen Plastillinmenge geformt werden wie eine Vergleichskugel. Das Verhältnis $\frac{V_{Modellalge}}{V_{Vergleichskugel}}$ soll den Sinkquotienten c ergeben. Dieser beschreibt, um wieviel langsamer die Alge absinkt, verglichen mit einer Kugel. Bei diesem Versuchansatz kommen relativ hohe Sinkgeschwindigkeiten heraus, die mit einer Stoppuhr nur schwer zu messen sind. Die Ergebnisse differieren um

*r.mueller@oeko-sorpe.de

[1] Bedingungen: Dichte 1,05 g/cm^3, Temperatur: 20 °C, keine Zirkulation, keine Turbulenz

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

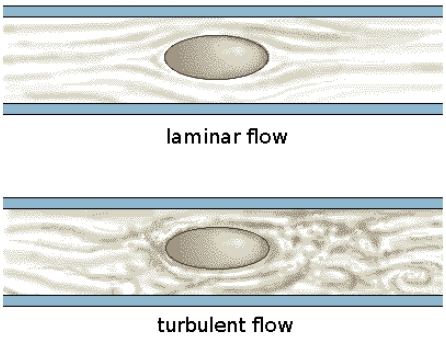

Abbildung 4. Strömungsarten, aus N.N. (o.J.)

Sekundenbruchteile Der Sinkquotient ist so kaum bestimmbar. Die Eingangsfrage kann nicht zufriedenstellend beantwortet werden.

Die meisten beschriebenen Experimente lösen nicht das Problem.

Alle diese Versuche beachten nicht, dass man nicht einfach kleine Objekte vergrößern kann, ohne ihre hydrodynamischen Eigenschaften zu verändern. Während kleine Objekte laminar umströmt werden, herrscht bei größeren die turbulente Strömung vor. Laminare Strömung erzeugt Reibung, turbulente eine Verschiebung des Wasserkörpers bzw. Objekts.

LÖSUNG

Um die Strömungsart zu beschreiben, verwendet man die REYNOLDSzahl. Sie ist folgendermaßen definiert:

$$Re = V \times l \times \nu^{-1},$$

wobei die Sinkgeschwindigkeit V in m/s gemessen wird, l ist eine Referenzlänge, z.B. der Objektdurchmesser in m und ν ist die kinematische Viskosität in m^2/s. Für **Wasser** bei 20 °C beträgt ν 1.01×10^{-6} m^2/s (Nachtigall, 1999). Eine kleine REYNOLDSzahl ($Re \leq 1$) bedeutet laminare Strömung, hohe Werte weisen auf turbulente Strömung hin (bei einem Schwimmer in einem Swimmingpool beträgt Re etwa 2 Millionen, in Folge dessen spielt die Reibung praktisch keine Rolle, die Kraft muss aufgebracht werden, um das Wasser vor dem Schwimmer zur Seite zu drücken).

Um bei großen Objekten die gleiche Hydrodynamik zu erzeugen wie bei kleinen, muss die Viskosität erhöht werden. Dazu bietet sich die Verwendung von **Glyzerin** (w = 98 %) an (Padisák *et al.*, 2003), das eine Viskosität von $\nu = 768.6 \times 10^{-6}$ m^2/s hat. In dieser Flüssigkeit benötigen unsere Plastillinmodelle etwa 2,5 min, um 18 cm abzusinken. Daraus errechnet sich eine Sinkgeschwindigkeit von etwa V = 0,0012 m/s und eine REYNOLDSzahl von Re = 0,02, also im Bereich der laminaren Strömung.

Der Nachteil von Glyzerin ist einerseits sein Preis, andererseits seine starke Hygroskopie. Bereits geringe aufgenommene Feuchtigkeitsmengen beeinflussen seine Viskosität stark. Aber es gibt Alternativen: Im Prinzip ist jede hochviskose Flüssigkeit verwendbar. Hier wird konzentrierte Zuckerlösung oder Motoröl empfohlen.

Abbildung 5. Medien für Modellexperimente: Zucker, Motoröl und Erdbeersirup

Saccharoselösung (w = 66 %) besitzt eine Viskosität von ν = $165{,}3 \times 10^{-6}$ m^2/s und eine Dichte von $\rho \approx 1300$ kg/m^3. Für unsere Modellalgen resultiert daraus eine REYNOLDSzahl von ≈ 705, was immerhin noch einen gewissen Anteil an turbulenter Strömung bedeutet. Die Sinkgeschwindigkeit ist jedoch drei bis vier mal geringer als in Wasser und deswegen leichter messbar.

Die Verwendung von **Motoröl** (Calpam Multifleet SAE15W40) ist noch besser. Die Viskosität ν dieses Öls beträgt bei 20 °C etwa 230×10^{-6} m^2/s, seine Dichte ρ liegt bei etwa 883 kg/m^3. Bei Verwendung der gleichen Prüfkugel wie oben erhält man eine REYNOLDSzahl von nur 9,1, bei einem *Asterionella*-Modell steigt Re auf 43,7. Diese Werte sind noch nicht perfekt, aber deutlich näher an den Werten, die das Verhalten von echtem Plankton in Wasser bestimmen, wo die laminare Strömung die dominante Rolle spielt.

Mit diesen Flüssigkeiten und verschiedenen Plastillinmodellen wurden Sinkgeschwindigkeiten und -quotienten bestimmt:

		Kugel	*Asterionella* (8-zellig)
Saccharose	Sinkzeit t (s)	1,13	3,46
	Sinkgeschwindigkeit V (m/s)	0,27	0,09
	Sinkquotient c	1	3,06
Motoröl	Sinkzeit t (s)	2,5	8,9
	Sinkgeschwindigkeit V (m/s)	0,12	0,033
	Sinkquotient c	1	3,64

Tab. 1: Modellexperimente mit Saccharoselösung (w = 66%) und Motoröl (Calpam Multifleet SAE15W60). Messstrecke 30 cm, Plastillinmodelle 2,2 g

Echte 8-zellige *Asterionella*-Kolonien besitzen einen Sinkquotienten von c = 4,63 (Reynolds, 1994). Padisák *et al.* (2003) bestimmten in einem Modellexperiment mit Glyzerin $c \approx 5$. **Unsere Ergebnisse mit 3,06 in Saccharose und 3,64 in Motoröl sind dagegen, wegen der immer noch verhältnismäßig hohen REYNOLDSzahl, zu niedrig. Aber die Annäherung ist schon relativ gut.**

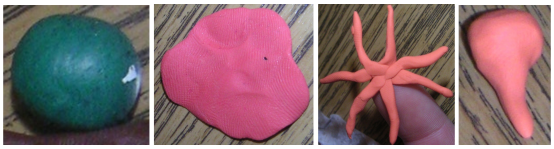

Abbildung 6. Plastillinmodelle von planktischen Algen

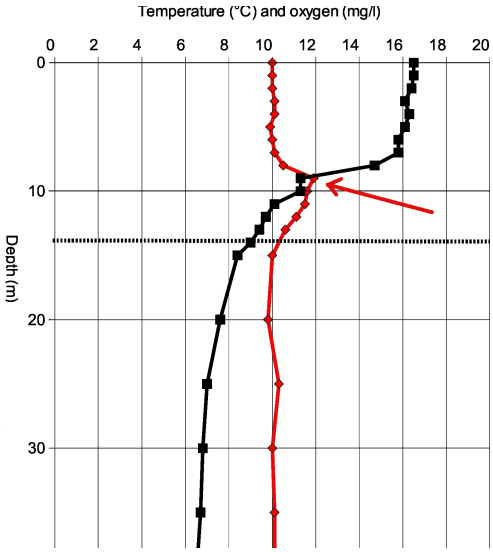

Abbildung 7. Sauerstoffkonzentration und Temperatur der Sorpe-Talsperre am 3. Juni 2002. Quadrate: Temperatur, Rauten: Sauerstoff, gepunktet: Kompensationsebene

ANWENDUNG

Die Wassertemperatur beeinflusst das Sinkverhalten:

In sommerlichen Seen stellt man oft fest, dass die Sauerstoffkonzentration plötzlich ansteigt, wenn man die Thermokline erreicht. Absinkendes Plankton erreicht dann das kalte Wasser, das eine höhere Viskosität besitzt. Die Sinkgeschwindigkeit wird niedriger und ein 'Planktonstau' entsteht. Dieser 'Stau' produziert mehr Sauerstoff (falls noch genug Licht vorhanden ist (Lagergren *et al.*, 2000)), da die Aufenthaltszeit des Planktons größer ist. Diese zusätzliche Sauerstoffmenge kann im Sauerstoffprofil beobachtet werden (Pfeil Abb. 7).

Ein Erwärmen der Testflüssigkeit (aus Sicherheitsgründen max. auf 45 °C) ermöglicht es, dieses Phänomen im Modellexperiment zu reproduzieren. Ein Temperaturanstieg von Motoröl von 20 auf 45 °C erhöht die Sinkgeschwindigkeit unserer Modelle um etwa das 2,2-fache (Tabelle 2). Wirkliches Plankton würde bei einer entsprechenden Erwärmung etwa 1,6-mal schneller absinken (berechnet nach Reynolds (1994).

		Kugel	*Asterionella* 8-zellig	*Asterionella* 4-zellig
20 °C	V (m/s)	0,12	0,033	0,049
	c	1	3,64	2,45
45 °C	V (m/s)	0,256	0,079	0,112
	c	1	3,24	2,23
Faktor		2,13	2,39	2,28

Tab. 2: Sinkgeschwindigkeit V und Sinkquotient c bei verschiedenen Temperaturen in Motoröl SAE15W40

LITERATUR

HAALA, G.; WICHERT, G.; ZOHREN, D. (2004): Natura. Biologie für Gymnasien. Nordrhein-Westfalen. 8. und 9. Schuljahr. Klett

LAGERGREN, R.; LORD, H.; STENSON, J.A.E. (2000): Influence of temperature on hydrodynamic costs of morphological defences in zooplankton. Functional Ecology **14**(3), S. 380–387

NACHTIGALL, W. (1999): Warum sinken kleine Plankter so langsam ab? Mikrokosmos **88**(3), S. 157–166

N.N. (o.J.): Hydrodynamic principles (`http://library.thinkquest.org/18033/hydrodyn.html`)

PADISÁK, J.; SORÓCZKI-PINTÉR, E.; REZNER, Z. (2003): Sinking properties of some phytoplankton shapes and the relation of form resistance to morphological diversity of plankton - an experimental study. Hydrobiologia **500**, S. 243–257

REYNOLDS, S.C. (1994): The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge

ISSN 2194-3052

Plankton - schön langsam nach unten
Versuch 1

Wir untersuchen den Einfluss der **Form** auf das Absinkverhalten von Plankton.
Dazu lassen wir Planktonmodelle in einer dickflüssigen Lösung (Zuckerlösung, Glyzerin oder Motoröl) sinken und vergleichen mit dem Absinkverhalten einer gleichschweren Kugel aus dem gleichen Material.

Material: Planktonprobe, Mikroskop, Knetgummistücke (2 g), hoher Glaszylinder (z.B. Messzylinder 1000 ml) mit Markierungen im Abstand von 30 cm, Stoppuhr, Drahtsieb, Zuckerlösung (66%), Glyzerin (99%) oder Motoröl

Durchführung:

1. Mikroskopiere eine Planktonprobe!
2. Modelliere eine der beobachteten Algen aus einem Knetgummistück!
3. Rolle ein weiteres Knetgummistück zu einer Kugel!
4. Stelle das Drahtsieb in den Zylinder und lasse die die Kugel in den Messzylinder fallen! Probiere, die Mitte der Oberfläche zu treffen.
5. Stoppe die Zeit, die der Gegenstand von der oberen Markierung bis zur unteren braucht!
6. Hole den Gegenstand mit dem Drahtsieb wieder heraus!
7. Führe jeweils 5 Versuche durch, bilde den Mittelwert der Sinkzeit und berechne die Sinkgeschwindigkeit (Sinkstrecke = 0,3 m)!
8. Wiederhole das Experiment mit Deiner „Alge"!

	Fallzeit (Kugel) (s)	*Fallzeit (Alge) (s)*
Versuch 1		
Versuch 2		
Versuch 3		
Versuch 4		
Versuch 5		
Mittelwert		
Sinkgeschwindigkeit v(m/s)		

Aufgben:

1. Berechne den Sinkquotienten, der dir angibt, um wieviel eine Alge langsamer sinkt als eine gleichschwere Kugel, indem du die Sinkgeschwindigkeit der Alge durch die Sinkgeschwindigkeit der Kugel teilst!

2. Jetzt kannst du erklären, was die meist bizarren Körperformen den Algen nützen:

Plankton - schön langsam nach unten
Versuch 2

In dem Versuch zur **Temperatur** vergleichen wir das Absinkverhalten der Algenmodell bei verschiedenen Temperaturen.

Material: Algenmodelle aus Versuch 1, Glaszylinder (wie Versuch 1), Stoppuhr, Thermometer, Zuckerlösung (66%), Glyzerin (99%) oder Motoröl aus dem Kühlschrank, mit Zimmertemperatur und aus dem Wasserbad (45 °C)

Durchführung:

1. Miss die Temperatur der Flüssigkeit!
2. Lasse die Modelle in den Messzylinder fallen! Probiere, die Mitte der Oberfläche zu treffen.
3. Stoppe die Zeit, die das Modell von der oberen Markierung bis zur unteren braucht!
4. Führe jeweils 5 Versuche durch, bilde den Mittelwert der Sinkzeit und berechne die Sinkgeschwindigkeit!
5. Wiederhole das ganze Experiment mit den Flüssigkeiten von Zimmertemperatur bzw. der Flüssigkeit aus dem Wasserbad!

	Sinkzeit bei ... °C (s)	*Sinkzeit bei ... °C (s)*	*Sinkzeit bei ... °C (s)*
Versuch 1			
Versuch 2			
Versuch 3			
Versuch 4			
Versuch 5			
Mittelwert			
Sinkgeschwindigkeit v (m/s)			

4. Welchen Einfluss der Temperatur auf das Sinkverhalten kannst du erkennen?

5. Was passiert mit Algen, die im Sommer beim Absinken auf die kalte Sprungschicht treffen?