

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Institut für Deutsche Philologie II

Stefan Langsch

Wintersemester 2003/04

111684 Scholorientiertes Experimentieren (SII)  
(Demonstrationsübungen D3)

Schriftliche Ausarbeitung:

Strukturbildung in der Natur

Malte Renius  
13. Semester  
Jüdefelder Straße 39  
48143 Münster  
Tel.: 0251 / 41 40 170  
renius@uni-muenster.de  
LA SI/II Deutsch/Physik

## ***Das Problem der Anschaulichkeit in der Didaktik der Physik***

Die Strukturbildung in der Natur wird im schulischen Physikunterricht bisher noch nicht in größerem Umfang behandelt. Grund hierfür ist neben den komplexen mathematischen Grundlagen, die zu einer quantitativen Behandlung des Themas notwendig wären, auch die Schwerfälligkeit des Curriculums, die den Physikunterricht oft zum „Sachverwalter der Geschichte der Physik“<sup>1</sup> degenerieren lässt. Dabei birgt die Betrachtung von Strukturbildung die Chance, Anschaulichkeit im Physikunterricht (zurück) zu gewinnen.

Wenn man die drei wesentlichen Entwicklungsstufen der Physik betrachtet, so weisen sie alle deutliche Schwierigkeiten bezüglich der Möglichkeiten eines anschaulichen Verstehens auf. Bereits die Newtonsche Mechanik entspricht mit ihrem ersten Axiom von der gleichförmigen Bewegung nur selten den Beobachtungen des Alltags in dem nahezu jede Bewegung von Reibung gebremst wird. Dabei sind bereits die Kräfte der Luftreibung sind dabei so komplex, dass eine angemessene Behandlung im schulischen Physikunterricht kaum möglich ist<sup>2</sup>. Das erste Newtonsche Axiom bleibt also ein den Augen vieler Schüler oft ein Dogma jenseits der eigenen Erfahrung.

Die in der Oberstufe behandelte Relativitätstheorie ist ebenfalls in höchstem Maße unanschaulich, so dass die Didaktik oft nicht mehr versucht, diese anschaulich zu vermitteln, sondern umgekehrt ihre Unanschaulichkeit anhand von Paradoxien<sup>3</sup> deutlich zu machen.

Didaktisch bisher kaum reflektiert ist die dritte Entwicklungsstufe der Physik, die Quantentheorie. Abgesehen von Schrödingers Katze, die außerhalb der Fachkreise nur selten richtig gedeutet wird, existieren kaum Vermittlungsmodelle. Wenn man den Umstand, dass die quasi-punktförmigen Elektronen am Doppelspalt die Eigenschaft Ort und Weg nicht besitzen, vermitteln möchte, so sind didaktische Konzepte unumgänglich. Nur durch eine durchdachte Didaktik lässt sich das Versäumnis aufholen, das die Grundlagen der Quantenphysik als zurzeit

---

<sup>1</sup> Schlichting, H. Joachim; Nordmeier, Volkhard: Thermodynamik und Strukturbildung am Beispiel eines Flussnetzwerkes. In.: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 53/8, 450-454 (2000), S. 450

<sup>2</sup> Selbst im industriellen Bereich müssen bis zum heutigen Tag Messungen im Luftkanal durchgeführt werden, da eine Berechnung des Luftwiderstandes (meist eine Näherung durch Simulation) zu aufwendig ist.

vorherrschendes Paradigma bisher noch keinem größeren Kreis zugänglich gemacht wurden.

Im Gegensatz zu den drei großen physikalischen Theorien, ergeben sich die angesprochenen Probleme bei der Veranschaulichung physikalischer Zusammenhänge bei der Strukturbildung zunächst nicht, da Strukturen an sich anschaulich sind. Dies ist durch die einfache Tatsache begründet, dass unser Wahrnehmungsapparat auf die Rezeption von Strukturen angelegt ist. Dass diese Strukturen zunächst nur qualitativ betrachtet werden können und die spätere quantitative Betrachtung nur wenig detaillierte Ergebnisse ermittelt, soll an dieser Stelle nicht weiter stören. Anders als die klassischen physikalischen Theorien kann und soll die Erforschung der Strukturbildung (noch) nicht auf eine technische Anwendung fixiert sein, sondern begnügt sich vorerst mit einer Beobachtung der Natur, die ja den Ursprung der Wissenschaft der Physik<sup>4</sup> darstellt.

### ***Fachliche Grundlagen***

Strukturbildungen in der Natur sind vielfältig zu beobachten. In der Powerpoint-Präsentation zu diesem Versuch sind als Beispiele als Strukturen Schneeflocken, der Säulenbasalt, Sandriipelstrukturen, die Milchstraße und der Mensch angeführt. Als fächerübergreifendes Beispiel ist die auf chemischen Prozessen beruhende Struktur bei einem Tropenfisch, die der (mechanischen) Sandriipelstruktur auffällig ähnelt.

Die Entwicklung solcher Strukturen ist zunächst einmal überraschend, da laut dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik die Entropie in geschlossenen Systemen nicht abnehmen kann. Dies entspricht auch der alltäglichen Erfahrung: Wenn man warmes Wasser und kaltes Wasser zusammengießt, bildet sich, zumindest dauerhaft, keine Struktur heraus, sondern es entsteht nach einer kurzen Übergangszeit ein strukturloses Bad von lauwarmem Wasser. Die Inversion dieses Prozesses geschieht nie von selbst, sondern benötigt stets eine Zufuhr an Energie. Somit läge die Vermutung nahe, dass eine Strukturbildung, sowohl thermodynamisch, als

---

<sup>3</sup> Als Beispiel sei hier die Paradoxie mit den beiden unterschiedlich alternden Zwillingen genannt.

<sup>4</sup> Man denke an die Werke der Naturphilosophen (Parmidenes, Empedokles,...) die ihre Werke mit dem Titel  $\pi\epsilon\rho\acute{\iota}$   $\phi\acute{\upsilon}\sigma\epsilon\omicron\varsigma$  (altgriech. „peri physeos“ = „Über die Natur“) mit als Namensgeber Physik angesehen werden können. Sie beschäftigten sich nicht nur mit Themen die heute der Philosophie zugeordnet werden könnten, wie beispielsweise dem Ursprung der Dinge, sondern auch mit der Beobachtung der Vorgänge in der Natur und Versuchen, in diesen Gesetzmäßigkeiten auszumachen.

auch chemisch und dynamisch, nicht zu beobachten sei, sondern die Natur in zunehmendem Maße an Struktur verliert. Tatsächlich lassen sich aber in der Natur eine ganze Reihe von Strukturbildungen beobachten, die dieser Annahme zunächst zu widersprechen scheinen.

Tatsächlich gelten sowohl der 2. Hauptsatz der Thermodynamik als auch die Entropiegesetze in der Mechanik und der Chemie nur für geschlossene Systeme. In offenen Systemen kann die Entropie, wie bereits erwähnt, durch Energiezufuhr verringert werden. Diese Energiezufuhr geschieht auf unterschiedliche Art und Weise. Die Sandrippel bilden sich durch Zufuhr von Windenergie heraus, während im Falle der Schneeflocken beim Gefrieren Bindungsenergie frei wird. Der Organismus des Menschen, der ja auch auf Strukturbildung zurückgeht, erwehrt sich der Entropiezunahme, die ja unweigerlich zum Tod führen würde, durch die Verbrennung von Kohlenwasserstoffen zu Kohlendioxid.

### ***Didaktische Überlegungen zum Experiment***

Die Strukturbildung in der Natur anhand eines Experimentes darzustellen stellt bereits in sich einen Widerspruch dar, da sich nicht nur aus der Sicht der Schüler die vom Leben und zahlreichen nichtlinearen Einflüssen geprägte Natur von einem experimentellen Aufbau grundlegend unterscheidet.

In dem Demonstrationsversuch wurde dieser grundsätzliche Widerspruch dadurch aufgelöst, dass zunächst zahlreiche Beispiele für Strukturbildung in der Natur betrachtet werden, bevor versucht wird, auf technischem Wege solche Strukturbildungen nachzuweisen. Dabei sollten die gezeigten Beispiele aus der Natur nicht als Vorspiel zum Experiment dienen, sondern es soll tatsächlich eine Beobachtung der Natur stattfinden. Zweck des Experimentes ist es, zu zeigen, dass es sich bei der Strukturbildung nicht um eine „Zauberei“ der Natur handelt, sondern dass diese Strukturen auf allgemeine physikalische Gesetzmäßigkeiten zurückgehen.

Ein weiteres Problem bei der Behandlung der Strukturbildung ist die Komplexität sowohl der in der Natur beobachtbaren Strukturen, als auch vor allem die theoretischen Grundlagen der Strukturbildung, sofern überhaupt vom Vorhandensein ausreichender theoretischer Grundlagen gesprochen werden kann.

Für das Experiment wurde aus diesem Grund ein vergleichsweise einfacher Aufbau gewählt: Die Konvektion von Wasser zwischen zwei Kupferplatten unter-

schiedlicher Temperatur. An diesem kann dann für unterschiedliche Temperaturen das Verhalten der Konvektion untersucht werden, d.h. inwiefern diese turbulent oder strukturiert verläuft und welche Strukturen zu beobachten sind.

### ***Ergänzungswissen zum Versuch***

Zum Verständnis des Versuchs sind aufgrund des Versuchsaufbaus weitere Kenntnisse notwendig. Zunächst muss das Prinzip der Konvektion bekannt sein. Obwohl die Konvektion in der Mittelstufe bereits zum physikalischen Grundwissen gehören, sollte diese trotzdem nochmals kurz wiederholt werden.

Desweiteren sind in der Präsentation zu diesem Versuch Erläuterungen zur Funktionsweise des Peltier-Elements, zur Messung von Temperaturunterschieden mittels der Thermospannung sowie Ausführungen zu Lichtbrechung enthalten. Dieses Wissen ist zum Verständnis des Versuchs ebenfalls notwendig.

### ***Aufbau und Durchführung des Versuchs***

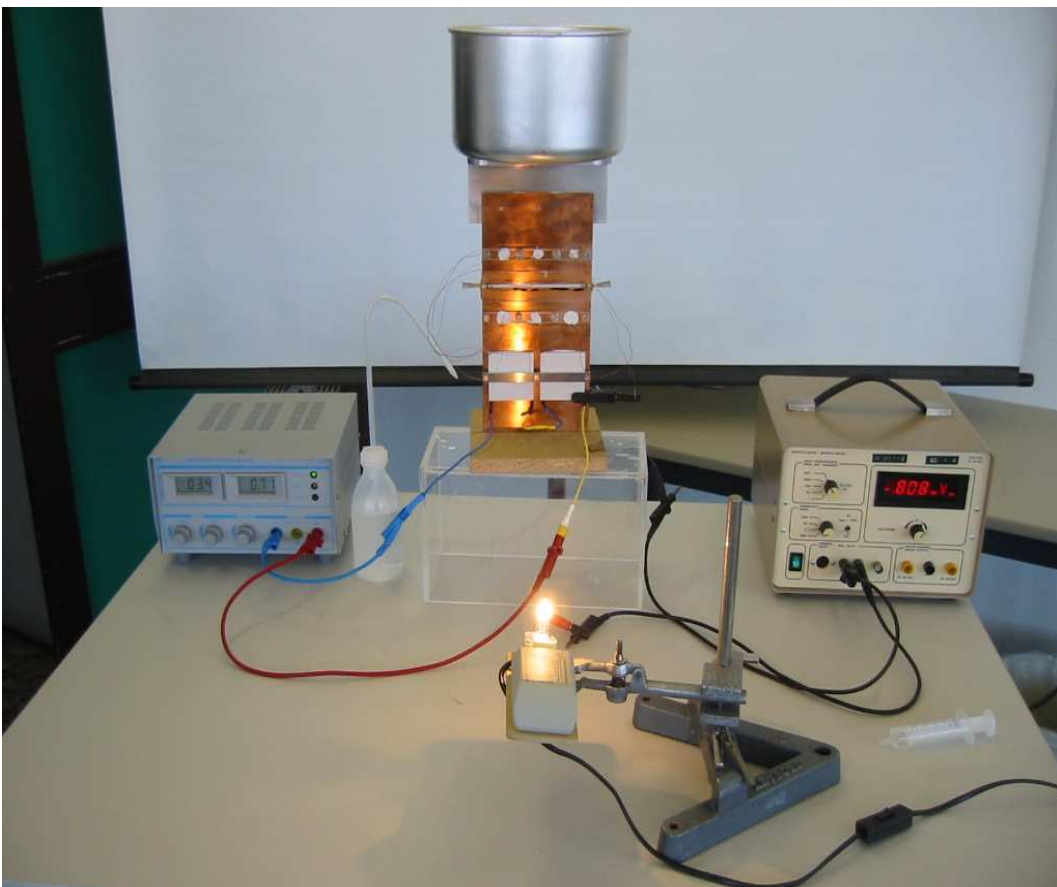


Abb. 1: Versuchsaufbau

## Aufbau

Für den Aufbau des Versuchs werden folgende Materialien benötigt:

- Der in der Mitte von Abb. 1 zu sehende „**Konvektor**“<sup>5</sup>: Dieser besteht aus zwei Kupferplatten. An der unteren sind zwei Peltier-Elemente angebracht, mit denen im Regelfall geheizt wird. Der an der oberen Platte angebrachte Topf kann mit Eis befüllt werden um die Temperaturdifferenz der beiden Platten zu vergrößern. Zwischen den Platten befindet sich eine durch Plexiglas eingefasste Kammer.
- **Destilliertes Wasser**
- Eine **Spritze** zum Einfüllen des destillierten Wassers in die Kammer
- **Netzteil Conrad Electronic 303D**: Mit diesem Netzteil wurde das Peltier-element mit Energie versorgt. Das Gerät zeigt die Spannung und die Stromstärke an, so dass die Leistung errechnet werden kann. Der Aufbau besaß zudem einen Wackelkontakt, so dass die Anzeige der Stromstärke zur Überprüfung unbedingt notwendig war.
- **Mikrovoltmeter Elwe (R 201/2 22.1.4)**: Das Mikrovoltmeter hat große Leuchtziffern und ist damit auch im abgedunkelten Raum nicht nur für den Experimentator gut ablesbar.
- **Halogenlampe** zum Projizieren der Konvektionskammer auf eine Leinwand
- **Leinwand** oder größere, helle und gleichmäßige Projektionsfläche
- **Vier Kabel**: Die Wahl der Kabelfarben ist dabei schwer zu treffen, da die am „Konvektor“ angebrachten Kabel eine ungünstige Farbwahl aufweisen. Im Experiment wurde für Plus und Minuspol der Stromquelle klassisch rot und blau gewählt. Die Temperaturspannung wurde mit schwarzen Kabeln abgenommen.

## Durchführung

Der Raum muss zunächst verdunkelt werden, damit die Projektion der Konvektionskammer sichtbar wird. Dann wird an die Peltier-Elemente ein Strom angelegt. Dabei sollte die Leistung 20W auf keinen Fall übersteigen.

---

<sup>5</sup> Eine eingehende Beschreibung dieses Stückes findet sich auf S.70ff in der Examensarbeit „Physikalische Untersuchungen von Konvektionsvorgängen in Fluiden mit Mitteln der Schulphy-

Je nach Zeitfenster kann erst ein geringerer Strom angelegt werden um quantitativ verschiedene Bereiche mit hoher Genauigkeit zu vermessen oder ein hoher Strom verwendet werden, um möglichst schnell die Temperaturdifferenz zu erreichen, in der eine Strukturbildung stattfindet.

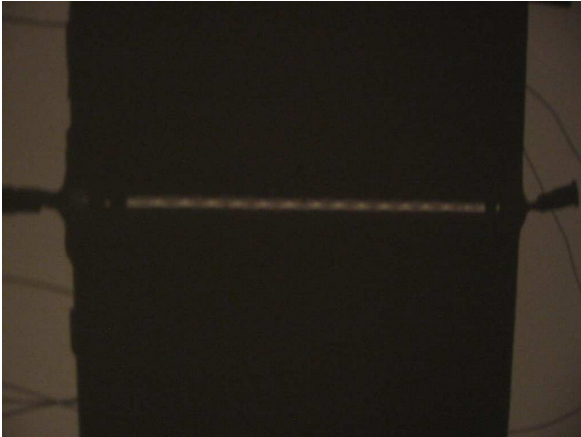


Abb. 2: Projektion der Konvektionskammer. Für diese Aufnahme wurden für ca. 30 min folgende Werte konstant gehalten:  
Anliegende Spannung:  $3,4 \pm 0,1$  V  
Stromfluss:  $0,71 \pm 0,02$  A  
Temperaturspannung:  $640 \pm 10 \mu$  V

Wenn man verschiedene Heizströme anlegt, lässt sich feststellen, dass nur in einem gewissen Bereich eine strukturierte Konvektion stattfindet. In diesem Bereich beträgt die Temperaturspannung zwischen  $550$  und  $1100 \mu$  V, was einer Temperaturdifferenz von  $4,3$  bis  $8,6^\circ$  C entspricht. Die Messung der Temperaturdifferenzen wurde im Experiment unterlassen, da sich diese als unnötig kompliziert erwies. Zur Vertiefung der qualitativen Ergebnisse kann die Temperaturspannung jedoch geeicht werden bzw. ein Literaturwert zur Eichung verwendet werden.

Überraschend ist, dass sich die Konvektionszellen zwar in Form und Ausprägung ändern, nicht jedoch in ihrer Größe und ihrem Abstand. Aus dem Abstand der Zellen lässt sich die Rayleighzahl<sup>6</sup> berechnen. Dies wird an dieser Stelle unterlassen, da eine Einbindung in den Unterricht kaum möglich erscheint.<sup>7</sup>

---

sik“ von Anika Ruhnau, die am Lehrstuhl für die Didaktik der Physik in Münster im November 2003 eingereicht wurde.

<sup>6</sup> Die Rayleigh-Zahl ist ein Produkt der Grashof und der Prandtl und beschreibt „die Ähnlichkeit von konvektiven Wärmeübergängen in freier Strömung“ (<http://www.tu-darmstadt.de/fb/mb/ttd/materialTTDIII/Glossar.pdf>, 31.03.2004).

<sup>7</sup> Eine exemplarische Berechnung findet sich in: Anika Ruhnau, Konvektionsvorgänge in Fluiden, S. 84.

## **Tipps zur Versuchsdurchführung**

Für die Versuchsdurchführung sind verschiedene Dinge zu beachten, um ein optimales Ergebnis zu erhalten:

- Sowohl die Ausrichtung als auch die Position der Halogenlampe beeinflussen die Qualität der Projektion in großem Maße. Die Halogenbirne sollte klein sein und mit einer Seite zur Kammer zeigen, an der das Glas klar ist (nicht verschweißt) und der Lichtpunkt möglichst klein ist. Um die Schülerschaft nicht unnötig zu blenden, empfiehlt es sich, das Licht zur Zuschauerschaft hin abzuschirmen. Die Projektion sollte auf jeden Fall vor der Vorführung nicht nur im Labor, sondern auch im Veranstaltungsraum ausprobiert werden.
- Das destillierte Wasser in der Konvektionskammer sollte möglichst blasenfrei sein. Um den Aufbau zu schonen, sollte es nach der Verwendung wieder entfernt werden.
- Für gute Ergebnisse ist langsames Arbeiten notwendig, da sich der Aufbau nur langsam und zunächst ungleichmäßig erwärmt.

## **Schulische Einbindung**

Eine Einbindung des Versuchs in das schulische Kurrikulum ist nicht ohne weiteres Möglich. Ich könnte mir vorstellen, dass man das Thema Strukturbildung in der Oberstufe behandelt, zumal bei diesem Versuch zahlreiche Vorkenntnisse zum Verständnis des Aufbaus von Nöten sind. Für die Durchführung ist sicherlich eine Doppelstunde erforderlich, der eine Unterrichtsstunde zur Einführung in den Versuchsaufbau vorangehen sollte.

Unter Umständen könnte man den Exkurs zur Strukturbildung im Rahmen der Konvektion einordnen. Diese wird im Gymnasium üblicherweise in der 9. Klasse näher untersucht. Die Schüler könnten in dieser Stufe mit dem Feinheiten des Versuchsaufbaus, vor allem mit der Funktionsweise der Peltierelemente, z.T. überfordert sein. Ein restloses Verständnis der Details halte ich aber nicht unbedingt für nötig, um Experiments grundsätzlich zu begreifen.

Durch einfachere, rein qualitative Versuche zur Strukturbildung in der Unterstufe könnte auf derlei genauere Betrachtung der nicht-linearen Physik in der Mittel- und Oberstufe vorbereitet werden.