

# Die Arbeitsweise der Physik kennenlernen

## Zwei Phänomene mit flüssigem Stickstoff und einem Kreidestück Ein Unterrichtsbeispiel

Engelbert Stütz und Andreas Peinthor

*Naturwissenschaft beruht auf Experimenten, sie gelangt zu ihren Erkenntnissen durch die Gespräche der in ihr Tätigen, die miteinander über die Deutung der Experimente beraten.*

W. Heisenberg in *Der Teil und das Ganze*

Der Lehrplan der Oberstufe fordert in einem der ersten Lernziele, die Arbeitsweisen der Physik kennenzulernen. Nach einer Idee von E. Stütz planten und gestalteten wir gemeinsam ein kurzes Projekt mit dem Ziel, die Arbeitsweise der Physik im Unterricht der 5. Kl. RG exemplarisch zu erarbeiten.

### Das Experiment

Bei der Temperatur des flüssigen Stickstoffs ändern sich die Eigenschaften vieler Stoffe: Gummi wird hart und spröde wie Stein; Blätter oder Blüten, in flüssigen Stickstoff getaucht, lassen sich wie dürres Heu zerbröseln. Der Grund für diese Eigenschaftsänderungen ist freilich nicht derselbe.

Beim spielerischen Experimentieren mit flüssigem Stickstoff in den Physikalischen Übungen - die Schüler wollten wissen, ob man mit Kreide, die einige Zeit in flüssigem Stickstoff gelegen war, noch schreiben könne - fiel mir (E. Stütz) folgendes auf:

*Sobald man ein Kreidestück in flüssigen Stickstoff hineinwirft, beginnt der Stickstoff heftig zu brodeln. Zuerst schwimmt die Kreide. Während das Brodeln immer mehr nachläßt, sinkt sie langsam, bis sie am Schluß ruhig am Boden des Dewargefäßes liegt.*

*Dann hebt man das Kreidestück mit einer Tiegelzange heraus und legt es auf den Tisch (die Fläche muß glatt und staubfrei sein!). Was passiert? - Das Kreidestück liegt nicht auf dem Tisch, es schwebt einige Sekunden lang, bevor es sich "niedersetzt". Kippt man das Kreidestück um 90°, so fängt dieses Schauspiel von vorne an.*

Es ist hier lohnend, die Schüler beobachten zu lassen, selbst ausprobieren zu lassen und von Lehrerseite nichts zu erklären.

### Der Ablauf

Es sollten Aktivitäten entstehen, die "im weitesten Sinne so etwas wie Forschung darstellen" (Schlichting [1]). Theoretische "Voraussetzungen" aus der Thermodynamik wurden mit Absicht nicht an den Beginn der Vorbereitungsphase gestellt. Die Schüler sollten allein auf Kenntnisse aus der Unterstufe oder eventuell vorhandenes individuelles Vorwissen oder Erfahrungen zurückgreifen können.

Mag. Engelbert Stütz und Mag. Andreas Peinthor,  
BRG Linz - Hamerlingstraße

Zu Beginn besprachen wir also lediglich die Zielsetzungen der folgenden Unterrichtseinheiten: daß wir wie Forscher arbeiten wollten, daß wir die Arbeitsweise der Physiker kennenlernen wollten.

Die Stationen waren in einer Art Planspiel konzipiert:

"Forschung"	Analogie im Unterricht
1. Entdeckung eines Phänomens Beobachtungen (und Messungen)	Beobachten der Vorgänge: Wie "reagiert" das Kreidestück, das in den flüssigen Stickstoff geworfen wird? Wie verhält sich das Kreidestück, das dann auf die Tischplatte gelegt wird?
2. Beschreibung des Phänomens und Aufstellen von Hypothesen	Einzelarbeit: Die Schüler werden aufgefordert, möglichst genau zu protokollieren, - was sie gesehen haben und - wie sie das verstehen.
3. Diskussion unter Kollegen	Gruppenarbeit mit dem Ziel, in der jeweiligen Gruppe zu einer einheitlichen Beschreibung sowie zu einer gemeinsamen Erklärung des Phänomens zu kommen. Wo dies nicht gelingt, sollen diejenigen Punkte, in denen man sich nicht einigen konnte, genau herausgearbeitet werden.
4. "Kontrollversuche"	Zu welchen Konsequenzen führen die vorgeschlagenen Erklärungsversuche? (In Zusammenhang mit Abschnitt 2 und als Teil der Gruppenarbeit)
5. "Physikerkongreß"	Vergleich der Arbeitsergebnisse aller Gruppen aus dem zweiten und dritten Abschnitt der Arbeit.
6. Anerkannte Theorie (Gesetz)	Ziel des "Physikerkongresses": Formulierung einer von allen anerkannten Deutung der zwei Phänomene.

### Bemerkungen zu den einzelnen Abschnitten

*ad 2.:* Die Einzelarbeit hatte den Zweck, daß alle Schüler ihre Beobachtungen und Überlegungen protokollieren sollten. Diese Notizen waren als "Arbeitsunterlagen" zu betrachten,

mit denen die Schüler in die Gruppenarbeit gehen sollten. So notierte etwa eine Schülerin folgende Beobachtungen zum ersten Phänomen:\*)

*In flüssigen Stickstoff wird ein neues Stück Kreide gegeben. Die Kreide schwimmt im flüssigen Stickstoff und sprudelt. Nach einer Zeit hört es zu sprudeln auf, die Kreide sinkt zu Boden.*

Und zum zweiten Phänomen:

*Auf einem glatten, sauberen Tisch wird die aus dem Stickstoff genommene Kreide hingelegt. Sie rutscht durch leichtes Anstupsen ganz leicht herum, dreht sich und würde ohne weiteres Anstupsen vom Tisch schlittern.*

ad 3.: Bei der Besprechung in den Gruppen stellte sich heraus, daß zwar alle dasselbe Experiment *beobachtet*, aber nicht alle das gleiche *gesehen* hatten. Einige Gruppen kamen deshalb nochmals zum Dewargefäß mit dem flüssigen Stickstoff, um das Experiment zu wiederholen.

In den Diskussionen wurde klar, daß viele Schüler ihre Beobachtungen bereits mit Erklärungen "vermischten". Ein Schüler hatte z.B. notiert:

*Als das Kreidestück in den flüssigen Stickstoff geworfen wurde, brodelte es heftig. Der flüssige Stickstoff zog dabei die in der Kreide enthaltene Luft heraus.*

Skizzen der Diskussion in einer Gruppe: Sinkt die Kreide, weil sie sich beim Abkühlen "zusammenzieht"; halten sie die Stickstoffblasen zu Beginn hoch? - Einwand: "Aber Kreide kann sich mit Wasser vollsaugen!" - "Flüssiger Stickstoff ist aber nicht Wasser!" . . . Wir mischten uns vorerst nicht ein, obwohl mehrmals die Frage kam: "Was stimmt jetzt wirklich?" - Wir wiesen darauf hin, daß es in der Forschung keine "Oberphysiker" gibt, die wissen, was "wirklich stimmt".

Viele Ideen wurden vorgeschlagen: "Kreide enthält etwas Wasserdampf. Bei der tiefen Temperatur des flüssigen Stickstoffs gefriert dieses Wasser, dadurch wird Platz frei für den flüssigen Stickstoff . . ."; "An der kalten Kreide schlägt sich Raureif nieder, also Eis. Die Kreide gleitet daher so dahin wie ein Eisstock."

An der Tafel wurden schließlich (vorerst kommentarlos) folgende fünf Gruppenergebnisse festgehalten:

Zum ersten Phänomen (Kreide schwimmt zuerst, verursacht Blasenbildung, geht dann unter):

- (i) "Die Kreide sinkt, sobald sie die kältere Temperatur angenommen hat."
- (ii) "Die Kreide saugt sich mit N an. Wenn sie mit N gefüllt ist, beginnt sie zu sinken, weil sie schwerer wird."
- (iii) wie (ii); zusätzlich: "Die im Kreidestück enthaltene Luft wird verdrängt, Luftbläschen steigen auf."
- (iv) "Die Kreide vereist und sinkt deshalb zu Boden."
- (v) "Der Stickstoff reagiert mit der Kreide, wird schwerer und sinkt ab."

Zum zweiten Phänomen (Kreide "schwebt" auf dem Tisch):

---

\*) Bis auf die Tilgung von Rechtschreibfehlern handelt es sich im folgenden um Originalzitate oder sinngemäße Zitate.

- (i) "Es bildet sich ein wärmerer Luftfilm zwischen Tisch und Kreide."
- (ii) "Die Kreide strahlt Kälte aus, der Tisch strahlt Wärme aus, daher bildet sich ein Luftpolster."
- (iii) "Die Wärme des Tisches bewirkt, daß der N gasförmig wird und die Kreide trägt."
- (iv) "Eis rutscht, deshalb rutscht auch die Kreide."
- (v) wie (iii)

ad 4. und 5.: Ein Gegner der Idee der Analogie Eisstock ↔ Kreide (vgl. Gruppe (iv)) schlug daraufhin vor, den Versuch mit einem Radiergummi zu machen: Wenn die Erklärung mit der Eisschicht an der Oberfläche richtig wäre, müßte auch ein Radiergummi, der aus flüssigem Stickstoff herausgenommen wird, auf der Tischplatte dahingleiten; dies geschah dann aber nicht.

Als weiterer Kontrollversuch wurde (speziell im Hinblick auf die Gruppen (ii) und (iii) ) das Abwiegen der Kreide vor und nach dem Eintauchen in den Stickstoff vorgeschlagen. Das Ergebnis des Wiegens war, daß die Kreide nach dem Herausnehmen um etwa 60% schwerer war als zuvor, allerdings wurde sie vom ersten Augenblick auf der Waage an wieder leichter und leichter; im Gegensatz zur Kreide ließ sich beim Radiergummi keine wesentliche Veränderung der Masse vor und nach dem Eintauchen feststellen.

Als letzter Zusatzversuch wurde von mir demonstriert, wie sich ein mit Luft aufgeblasener Luftballon beim Eintauchen und Wiederherausnehmen aus dem Stickstoff verhält:

Der Ballon zieht sich beim Eintauchen auf spektakuläre Weise (fast) völlig in sich zusammen, um sich nach dem Herausnehmen wieder auf seine alte Größe "aufzublasen". Dazu wurde in Erinnerung gerufen, daß Luft aus etwa 78% Stickstoff und 21% Sauerstoff besteht (dies war den meisten noch vom Biologieunterricht her bekannt). - "Luft wird flüssig im N wegen Kälte; wieder heraußen: Luft wird wieder gasförmig", notierte dazu eine Schülerin.

Als unmittelbare Folgerung für unsere Phänomene ergab sich daraus:

Die Luft in der Kreide wird durch die Kälte flüssig"; "die wärmere Kreide bringt den N in der Umgebung der Kreide zum Sieden, weshalb es sprudelt.

ad 6.: Als Zusammenfassung aller bisherigen Erkenntnisse wurden die drei Kernfragen auf die Tafel geschrieben; die Antworten darauf wurden dann in einer letzten gemeinsamen Anstrengung präzisiert und als (zumindest im Plenum unwidersprochene) qualitative Theorien ausformuliert:

Warum sprudelt es?

Die wärmere Kreide bringt den Stickstoff zum Sieden (so wie auch ein Tauchsieder Wasser zum Kochen bringt).

Warum sinkt die Kreide?

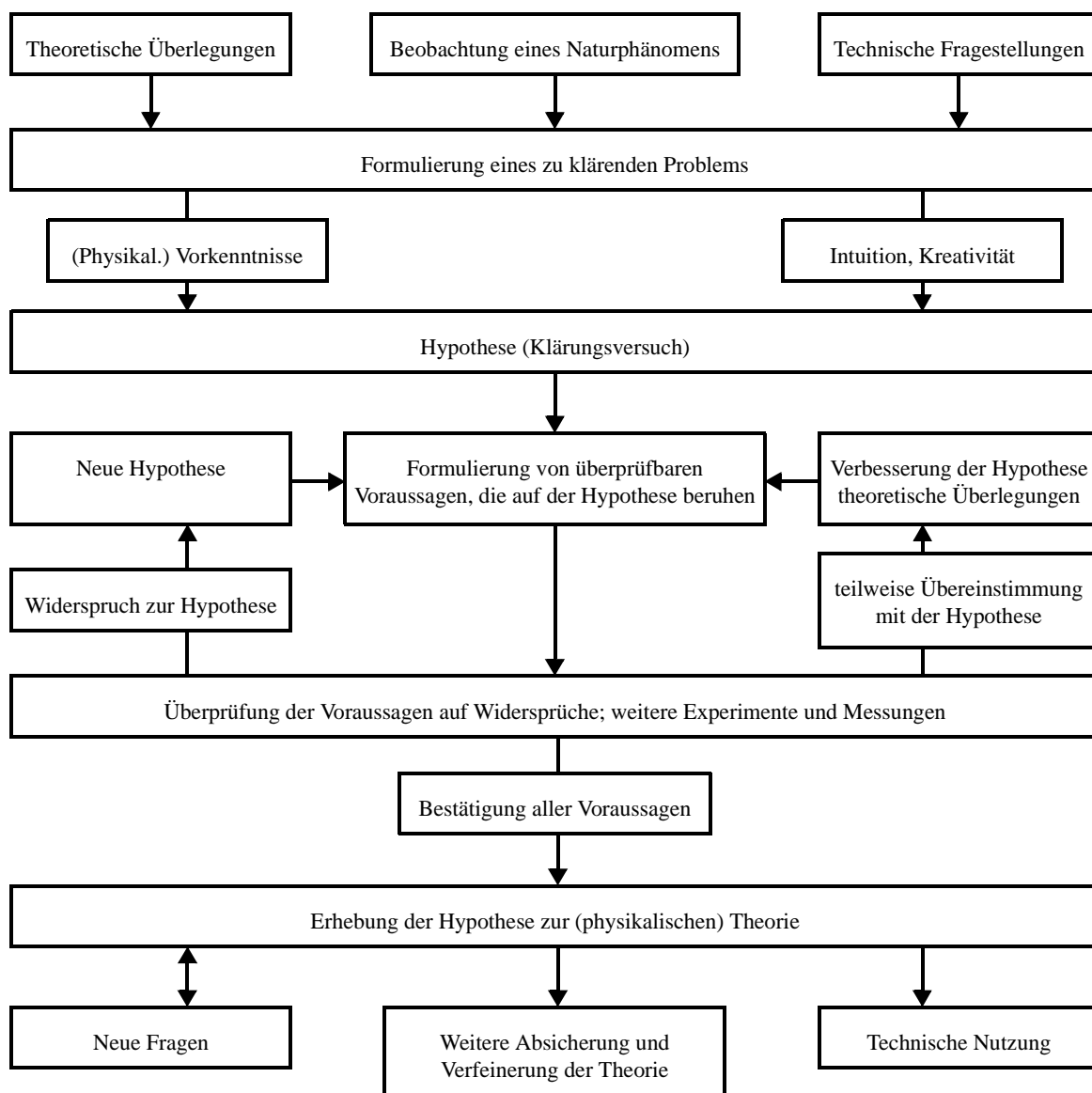
Die in der Kreide enthaltene Luft wird flüssig. In den dadurch entstandenen freien Raum kann weiterer flüssiger Stickstoff eindringen (wie in einen Schwamm). Die Kreide und der zusätzliche Stickstoff haben insgesamt eine größere Dichte als der flüssige Stickstoff und sinken daher.

Warum rutscht die Kreide nach dem Herausnehmen?

Durch die Erwärmung wird der in der Kreide eingeschlossene (zusätzliche) Stickstoff wieder gasförmig. Das austretende Stickstoffgas wirkt für die Kreide wie ein Luftkissen.

Zum Abschluß unserer Beschäftigung mit dem Thema "Die Arbeitsweise der Physik" verglichen wir folgendes Schema mit unserer "Forschungsarbeit" :

## Die Arbeitsweise der Physiker



### Bemerkungen zur Funktion des Beispiels im Physikunterricht

Aus Beispielen entsteht Wissen und Verstehen. In der Didaktik unterscheidet man das illustrierende oder veranschaulichende und das belegende oder nachweisende Beispiel. Das illustrierende Beispiel soll etwas verdeutlichen, anschaulicher machen. Das belegende Beispiel kann z. B. eine Hypothese stützen. Beide Arten des Beispiels setzen Sachkenntnis voraus. Der Schüler muß mit einer Regel, einem Begriff, einem Gesetz jedenfalls in einem Mindestmaß vertraut sein.

Große Bedeutung hat beim exemplarischen Lernen eine dritte Art des Beispiels: das einführende Beispiel. Das Beispiel wird dazu benützt, dem Lernenden etwas, z.B. ein Verfahren, eine

Problemstellung,... zu verdeutlichen, was zunächst nicht in seinem Erfahrungsbereich vorhanden ist. Beim oben beschriebenen Beispiel wird an zwei Problemstellungen gearbeitet: dem Phänomen selbst und dem Weg, wie man zu einer allgemein anerkannten Deutung des Phänomens kommen kann. Diesen Weg ein bißchen nachzuvollziehen war für uns das wichtigere Anliegen.

### Zusammenfassung und Schlußfolgerung

Was macht es wert, diesem Phänomen oder der Fragestellung nach der Arbeitsweise der Physik so zeit- und arbeitsintensiv nachzugehen? Wir können zwei Antworten darauf geben:

1. Die Erfahrung im Unterricht hat gezeigt, daß diese Art zu arbeiten von seiten der Schüler als Herausforderung empfunden

den wurde und daher mit großer Motivation verbunden war. Es zeigte sich am Schluß, daß die Schüler nicht nur Gelerntes wiederholen konnten, sondern sich selbst ein Bild davon gemacht hatten, wie Forschung sein kann.

2. Besonders bestätigt wissen wir uns durch D. K. Nachtigall (Lehrstuhl für Didaktik der Physik, Universität Dortmund):

*"Lernen bedeutet selbständig aktiv handeln, fragen, antworten, kommunizieren mit Mitschülern und Lehrern, Hypothesen wagen, neue Ideen aufnehmen, eigenes Wissen durch neue Erfahrungen erweitern und vernetzen, andere Wege suchen als im Lehrbuch stehen, ..., das Recht zum Nachfragen und Zweifeln wahrnehmen,.... Lernen ist also vom 'Faktenabspeichern und Memorierenkönnen' so weit entfernt wie eine Geschichte erzählen vom 'Aufsagen des Alphabetes'....Jemandem Schulstoff vortragen ist nicht lehren; etwas im Gedächtnis abspeichern ist nicht lernen; Abgespeichertes memorieren können ist kein Nachweis für Verständnis; Lehren erfordert, sich mit Lehrstoff und Lernenden gleichsam solidarisch einzulassen. Aber Lernen ist eine Aktivität, die von, nicht an einem Individuum verrichtet wird."*[2]

Dazu paßt, was C. F. Gauss in einem Brief an W. Bolyai schrieb: *Wahrlich, es ist nicht das Wissen, sondern das Lernen, nicht das Besitzen, sondern das Erwerben, nicht das Da-Seyn, sondern das Hinkommen, was den größten Genuß gewährt.*

### Experimentelle Hinweise

Für die Experimente braucht man mindestens 0,5 Liter flüssigen Stickstoff, besser 1 Liter. Wenn in der Schule kein geeignetes Dewargefäß vorhanden ist, eignet sich als Transportgefäß eine Thermoskanne.

Flüssiger Stickstoff darf in hermetisch geschlossenen Gefäßen weder transportiert noch gelagert werden!

Für das Experiment sollte die Öffnung des Dewars so groß sein, daß das Kreidestück leicht durchpaßt.

Aus einem Topf, Styroporflocken und einem Becherglas läßt sich leicht ein behelfsmäßiges Dewargefäß anfertigen, auch Styroporgefäße sind geeignet.

Mögliche Bezugsquellen für flüssigen Stickstoff:

Universitäten: speziell physikalische und chemische Institute  
Telefonnummern: Universität Linz 0732/2468...0  
Eventuell Krankenhäuser  
Kühlmittelfirmen: z.B. Fa. Linde Gas Linz, Ignaz Mayer Str. 6  
(lt. tel. Auskunft ist dort für bis zu 25 l fl. Stickstoff mit einem Pauschalpreis von öS 480.- zu rechnen)

### Weiterführende Literatur

[1] Schlichting/Backhaus: *Physikunterricht*, Verlag Urban & Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore.

[2] D.K. Nachtigall: *Krise des Physikunterrichts*. Fünf Thesen zu einem aktuellen Thema, PLUS LUCIS 1/93.

weitere:

Martin Wagenschein: *Verstehen lehren*, Beltz Verlag, Weinheim und Basel.

Walter Köhnlein: *Exemplarischer Physikunterricht*, Verlag B.Franzbecker.

## 3. Europäischer Chemielehrerkongreß

**Krems, 19. 4. bis 22. 4. 1995**

Alois Krebs

Das Thema "Chemie - Energie - Rohstoffe" war 351 Teilnehmern und Teilnehmerinnen aus der Schweiz, Deutschland, Slowakei, Tschechien, Südtirol und Österreich,... wichtig genug, um nach Krems zu kommen.

Leider überschattete den Kongreß der plötzliche Tod von Ing. Leckel, einem Mitbegründer und Förderer des Verbandes der Chemielehrer Österreichs, einem lieb gewordenen Freund. - Ein besonderer Dank für alles an Ing. Leckel! - Wir werden ihm stets ein ehrendes Gedenken bewahren.

Viele gute Gespräche, auch manch erstes Kennenlernen waren am Abend des 19.4. an Bord der MS "Prinz Eugen" auf der Fahrt durch die Wachau möglich. Es war bei strahlendem Wetter eine wunderschöne Fahrt.

Herr Univ.Prof. Dr. Richard ERNST, ETH Zürich, beeindruckte seine Zuhörerschaft im Eröffnungsreferat durch bestechende Klarheit seiner Sprache, der der Witz nicht fehlte, und durch kompetente Aussagen zum Thema "Faszination der Kernprozesse in Chemie, Biologie und Medizin". Die weiteren Vorträge reichten von "Technische Nutzung von Biomasse" über "Neueste Entwicklungen im Bereich der Kunststoffe" bis "Entwicklungsstand bei Batterien für Elektroautos". Die Experimentalvorträge von Univ.-Prof. Dr. Schmidkunz (Energienutzung bei chemischen Reaktionen) und Univ.-Prof. Dr. Wiederholt (DTA im Chemieunterricht) waren so klar, übersichtlich und anschaulich gestaltet, daß die gezeigten Experimente sofort in der Schule angewendet werden können.

Eine Reihe von Exkursionen - Wärmekraftwerk Dürnrohr, Krems Chemie, Alchemistenlabor Kirchberg am Wagram, Biomasse - Fernheizwerk Geras, Congenerationsanlage der Agrana in Tulln - rundeten das Programm ab. Es ist schade, daß die Presse von diesem Kongreß keine Notiz nahm.

Leider war es nur durch Schwänzen interessanter Vorträge möglich, am Rahmenprogramm teilzunehmen, wie an der Weinkost im Kloster Und bzw. der geschichtlich und kunstgeschichtlich interessanten Stadtführung durch das 1000-jährige Krems. Den Organisatoren sei für diesen Kongreß herzlich gedankt.

Der nächste Kongreß des VCÖ für 1997, in Villach, ist in Vorbereitung!

---

OSR Alois Krebs, HS I Leibnizgasse 33, 1100 Wien