

# ETH-Leitprogramm Physik:

## „Kann man Atome sehen?“

**Eine Einführung in die faszinierenden Erkenntnisse  
und Gedankengänge der Quantenphysik  
für Schülerinnen und Schüler im Grundlagenfach**

### **Version 3**

Februar 2002

### **Stufe, Schulbereich**

Grundlagenfach in Maturitätsschulen Klassen 10-13, Fachhochschulen

### **Fachliche Vorkenntnisse**

Grundbegriffe der Strahlenoptik, Wellenoptik und des Elektromagnetismus

### **Bearbeitungsdauer**

Fundamentum: 12 Lektionen

Additum 1: 4 bis 8 Lektionen

Additum 2: 4 bis 8 Lektionen

Die *ETH-Leitprogramme* sind ein Gemeinschaftsprojekt von Karl Frey und Angela Frey-Eiling (Initiatoren), Walter Caprez (Chemie), Hans Peter Dreyer (Physik), Werner Hartmann (Informatik), Urs Kirchgraber (Mathematik), Hansmartin Ryser (Biologie), Jörg Roth (Geographie), zusammen mit den Autorinnen und Autoren.

Das Projekt *ETH-Leitprogramme* wurde durch die ETH Zürich finanziell unterstützt.

***Dieses Material darf nur für den Gebrauch im Unterricht kopiert werden.***

## Vorwort

Dieses Leitprogramm ist durch den Einsatz vieler entstanden. Ich danke den Studentinnen und Studenten, die 1990 eine Fallstudie und 1991 eine Vorversion des Leitprogramms zur Thematik der Quantenphysik formuliert haben. (M. Bittcher, G. Hänggi, P. Müller und B. Schaffner) Aber ohne das riesige Engagement der Hauptautoren F. Baumann, W. Baumgartner, R. Dünki, P. Ehrismann und M. Kocheisen wäre dieses Material undenkbar. Unerlässlich sind sodann die Ergänzungen und Verbesserungen, die R. Heeb und A. Kaufmann in oft mühevoller Kleinarbeit beigesteuert haben.

Wesentlich zum Ergebnis haben auch die verschiedenen, sorgfältigen Erprobungen durch meine Kollegen beigetragen: Neben anderen: B. Felder, Liestal, M. Roth, Sarnen, H.P. Schmid, Zürich, W. Schöchlin, Biel, O. Steiger, Sursee, W. Vogel, Zürich. Die ausführlichen Äusserungen von Schülerinnen und Schülern, besonders von C. Marty und I. Sbalzarini, sowie die präzise und wohlwollende Kritik von M. Jordi, Aarau und E. Wiesendanger, Zürich waren sehr hilfreich: Allen danke ich herzlich.

Leider reichte die Zeit vor der Publikation auf den Web nur für den Split in Grundlagen- und Schwerpunktsfachteil, aber nicht für eine grundlegende Überarbeitung und die Integration von Simulationen. Zudem sind einige Fehler übrig geblieben. Dafür entschuldige ich mich.

ETH-Hönggerberg und Kantonsschule Wattwil, im Februar 2002

H.P. Dreyer

## Einführung

Noch vor kaum hundert Jahren war die Existenz von Atomen heiss umstritten. Heute, im Zeitalter von Atomuhren, Atomkraftwerken oder Atombomben sind die Atome zur Selbstverständlichkeit geworden, obwohl man sie ja gar nicht "sehen" kann. - Kann man sie tatsächlich nicht sehen?

Mit dem vorliegenden Leitprogramm erfahren Sie, in welchem Sinne man Atome sichtbar machen kann. Dabei schliessen Sie Bekanntschaft mit der Quantenphysik, jener "neuen" Physik, die nötig ist, um Eigenschaften und Verhalten von Atomen zu verstehen. Diese neue Physik steht mit ihrem Naturverständnis in deutlichem Gegensatz zur alten - man sagt oft "klassischen" - Physik. Doch keine Angst: Die neue Physik weicht mit ihren Voraussagen (fast) nur in jenen Bereichen von der klassischen Physik ab, wo es um die kleinsten Dinge der Natur geht: um Atome und ihre Bestandteile, aber auch um Elementarteilchen und Moleküle.

Quantenphysik ist nicht bloss Theorie. Im Additum 1 können Sie die zentrale Grösse, das Wirkungsquantum, in einem einfachen Experiment selber bestimmen.

Und unsere erkenntnistheoretischen Fundamente scheinen auf wackligeren Füßen zu stehen, als wir zu glauben geneigt sind... Sogar Grössen wie A. Einstein und E. Schrödinger zweifelten – und manche bedeutende Wissenschaftler tun dies heute noch. Mehr im Additum 2.

# Inhaltsverzeichnis

|                  |  |              |
|------------------|--|--------------|
| <b>Kapitel 1</b> | <b>Was ist Licht?</b>  | 1            |
|                  | 1.1 Wie stellten sich unsere Vorfahren Licht vor?                        | 3            |
|                  | 1.2 Teilchen und Wellen an einem Doppelspalt                             | 4            |
|                  | 1.3 Preisfrage: Teilchen oder Welle?                                     | 10           |
|                  | 1.4 Das Licht-Mikroskop  | 19           |
|                  | Lösungen zu den Aufgaben   | 26           |
| <b>Kapitel 2</b> | <b>Materie</b>   | 31           |
|                  | 2.1 Elementarteilchen  | 33           |
|                  | 2.2 Elektronenbeugung  | 34           |
|                  | 2.3 Die Wellenlänge eines Teilchens                                      | 38           |
|                  | 2.4 Der Doppelspaltversuch   | 42           |
|                  | 2.5 Das Elektronenmikroskop  | 46           |
|                  | Lösungen zu den Aufgaben   | 52           |
| <b>Kapitel 3</b> | <b>Bestimmte Unbestimmtheit</b>  | 55           |
|                  | 3.1 Klassische Physik - Quantenphysik: ein Vergleich                     | 57           |
|                  | 3.2 Quantenobjekte werden durch<br>Wahrscheinlichkeitswellen beschrieben | 60           |
|                  | 3.3 Die Unschärferelation  | 61           |
|                  | 3.4 Der Tunneleffekt   | 67           |
|                  | 3.5 Das Raster-Tunnel-Mikroskop  | 72           |
|                  | Lösungen zu den Aufgaben   | 75           |
| <b>Additum 1</b> | <b>10<sup>-34</sup> selber messen</b>                                    | A1.1 - A1.12 |
|                  | In einfachem Experiment $h$ bestimmen                                    |              |
| <b>Additum 2</b> | <b>Quantenphysik und Realität</b>  | A2.1 - A2.45 |
|                  | Philosophische Physik - experimentelle Philosophie                       |              |
| <b>Anhänge</b>   |  |              |
| Anhang 1         | Tests und Lösungen   | Z1.1 - Z1.12 |
| Anhang 2         | Mediothek für die Schülerinnen und Schüler                               | Z 2.1        |
| Anhang 3         | Experimentieranleitungen, Experimentiermaterial                          | Z3.1 - Z3.13 |
| Anhang 4         | Von den Autoren benützte Quellen   | Z4.1 - Z4.4  |
| Anhang 5         | Hinweise für die Lehrperson  | Z5.1 - Z5.4  |