



# Physik verstehen – aber wie?

Gerhard Rath, Fachdidaktikzentrum für Physik, Uni Graz

## 1. Probleme der Rezeption von Physik in der Öffentlichkeit

Filme wie „Minds of our own“<sup>1</sup> zeigen das geringe Verständnis für Physik selbst in der gebildeten Öffentlichkeit (Harvard-Absolventen!). Auch einfachste Aufgaben wie das Bauen eines Stromkreises aus Batterie, Lampe und Draht oder die Frage nach der Ursache der Jahreszeiten werden von vielen Absolventen nicht richtig beantwortet.

**Experiment 1:** Bauen Sie einen entsprechenden Stromkreis!

### Wissen

In der Europäischen Union wird regelmäßig die Untersuchung EUROBAROMETRE durchgeführt. Dabei werden aus allen Mitgliedsstaaten repräsentative Querschnitte befragt, 2001 über Naturwissenschaften.<sup>2</sup>

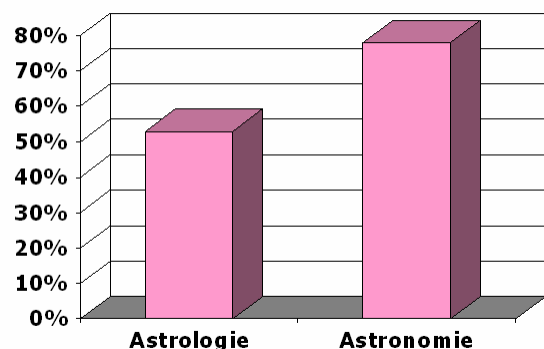
	Richtig	Falsch	Keine Angabe
1. Die Funktionsweise von Lasern beruht auf der Konvergenz von Schallwellen	26,6	35,3	38,1
2. Antibiotika töten die Viren sowie die Bakterien	41,3	39,7	19,0
3. Elektronen sind kleiner als Atome	41,3	23,0	35,7
4. Die Gene des Vaters entscheiden über das Geschlecht des Kindes	48,1	30,2	21,6
5. Jede Radioaktivität wird durch menschliche Handlungen verursacht	26,5	52,6	20,9
6. Die Erde dreht sich in einem Monat einmal rund um die Sonne	22,9	56,3	20,9
7. Die ersten Menschen lebten zur gleichen Zeit wie die Dinosaurier	20,3	59,4	20,3
8. Radioaktive Milch kann durch Kochen wieder genießbar gemacht werden	11,8	64,2	24,0
9. Die Sonne dreht sich um die Erde	26,1	66,8	7,1
10. Der Mensch hat sich ausgehend von älteren Tierarten entwickelt	68,6	16,6	14,8
11. Der Sauerstoff, den wir atmen, kommt von den Pflanzen	79,7	13,6	6,7
12. Die Kontinente verschieben sich seit Millionen Jahren und werden sich auch weiterhin verschieben	81,8	5,5	12,7
13. Der Mittelpunkt der Erde ist sehr heiß	88,4	3,5	8,1

Ein Fünftel meint, die Erde drehe sich in einem Monat um die Sonne, ein weiteres Fünftel kann dazu keine Stellungnahme abgeben.

Etwa die Hälfte der Befragten halten Astrologie für eine Naturwissenschaft. Immerhin schneidet die Astronomie diesbezüglich besser ab – aber ein Fünftel halten diese offenbar für keine Naturwissenschaft. Und: Es muss eine Schnittmenge geben...

### Einstellungen

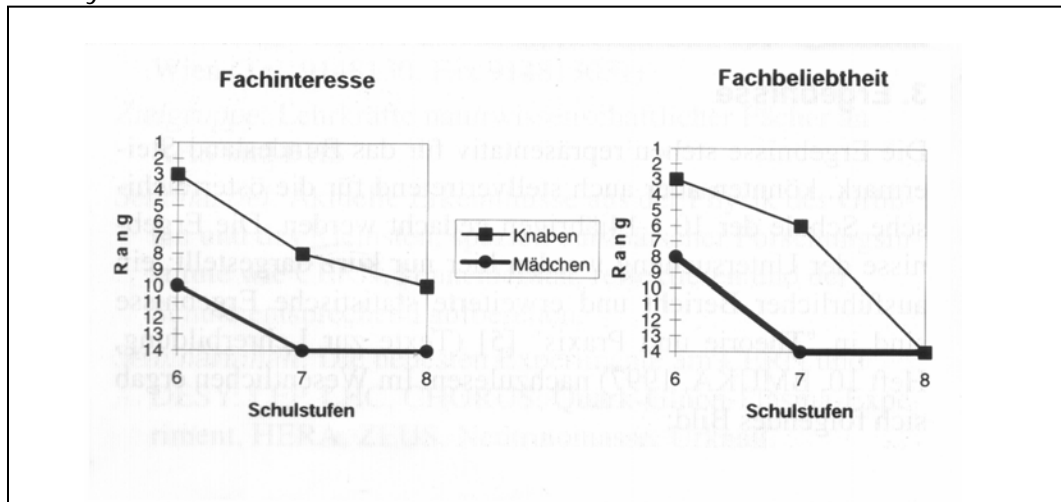
Wie Physik als Schulfach ankommt, wird seit einigen Jahrzehnten immer wieder untersucht. Generell zeigen die Ergebnisse ein unbeliebtes und wenig interessantes Fach. Eine Untersuchung in der Steiermark (1994, 1122 Schülerinnen und



<sup>1</sup> <http://www.learner.org/resources/series26.html?pop=yes&pid=76>

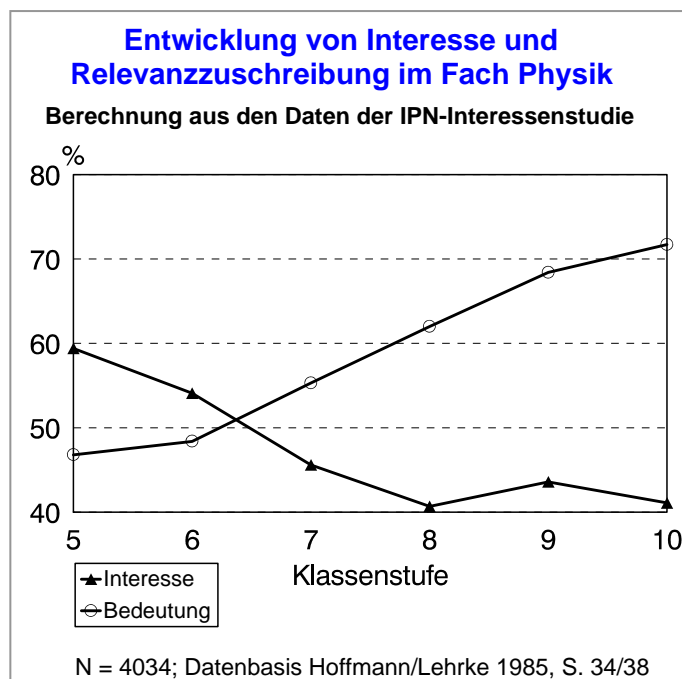
<sup>2</sup> „Wissenschaft und Technik im Bewusstsein der Europäer“, Eurobarometer-Bericht 55.2, Dezember 2001 <http://europa.eu.int/comm/research/press/2001/pr0612en.html>

Schüler der Hauptschulen) zeigt eine markante Abnahme von Beliebtheit und Interesse im Laufe der 3 Jahre Physikunterricht<sup>3</sup>.



Eine Längsschnittuntersuchung aus Deutschland zeigt aber auch, dass das Bewusstsein für die Bedeutung der Physik zunimmt, obwohl das Interesse geringer wird.<sup>4</sup>

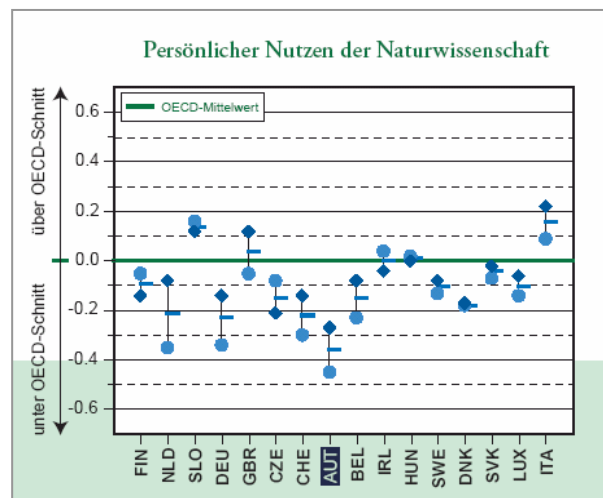
Bekannter wurden Ergebnisse der PISA Testungen. Deuten die Wissensfragen auf ein eher durchschnittliches Verständnis naturwissenschaftlicher Konzepte unter österreichischen 16-jährigen, so gaben Fragen bezüglich der Einstellungen zu den Naturwissenschaften noch mehr Grund zur Besorgnis.



N = 4034; Datenbasis Hoffmann/Lehrke 1985, S. 34/38

**Persönlicher Nutzen der Naturwissenschaft:**

*Sind Naturwissenschaften wichtig für dich?  
Hast du Gelegenheit, Naturwissenschaften anzuwenden?*



<sup>3</sup> E. Lex, E. Gunacker: Der Physik- und Chemieunterricht aus der Sicht des Schülers (in: plus lucis 1/98, S. 7ff)

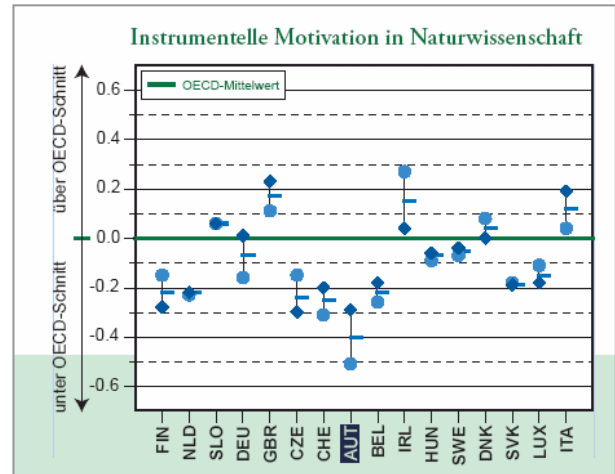
<sup>4</sup> Muckenfuß, H.: Lernen im sinnstiftenden Kontext. Cornelsen, Berlin 1995, S. 84

### Instrumentelle Motivation für Naturwissenschaft:

Zählt es sich aus, sich in den naturwissenschaftlichen Fächern anzustrengen? Kannst du das Gelernte später (Ausbildung, Beruf...) brauchen?

Bei beiden Fragen sind Österreichs Jugendliche an letzter Stelle, insbesondere die Mädchen sehen offenbar wenig persönlichen Nutzen der Naturwissenschaften.<sup>5</sup>

Im Großen und Ganzen zeigt eine Reihe von Untersuchungen eine relative Erfolglosigkeit des Physikunterrichts.



## 2. Was ist Physik?

### Zur Einstimmung drei Definitionen

- *Physik ist die Wissenschaft um die Vorgänge in der Welt um uns herum an Hand von Modellen besser verstehen zu können. (Definition eines Lehramtsstudenten)*
- *Die Physik ist ein Versuch, die Wirklichkeit zu erkennen und zu benennen.<sup>6</sup>*
- *Die Physik ist die Wissenschaft von den Eigenschaften und Zustandsformen, dem inneren Aufbau ("Struktur") und den Bewegungen der unbelebten Materie, den diese Bewegungen hervorrufenden Kräften oder Wechselwirkungen und den dabei wirkenden Gesetzmäßigkeiten.<sup>7</sup>*

Es ist nicht einfach, Physik in einem Satz zu definieren. Oft gelangt man zu Zirkeldefinitionen, welche Physik mit Begriffen erklärt, die gerade aus der Physik entstanden sind (z.B. „Eigenschaften, Zustandsformen, Modelle, Kräfte...). Interessant ist die eher formale Definition des Schulbuchs, im Gegensatz zur kurzen, beinahe charmanten Begriffsbestimmung des Physiklers Hans Graßmann. Das Zitat im weiteren:

*„...Ein Ziel, das sie mit anderen geistigen Tätigkeiten teilt, etwa der Kunst, der Religion oder der Dichtung. ...*

Der Physiker hebt also einerseits die „Tätigkeit“ hervor, bezeichnet seine Wissenschaft als eine menschliche Aktivität, einen Versuch. Zu betonen ist zum anderen das „eine“ – Physik ist eine Tätigkeit unter anderen, um die Wirklichkeit zu beschreiben.

<sup>5</sup> Schreiner, C.: PISA 2006 – Erste Ergebnisse. Graz, Leykam 2007

<sup>6</sup> Hans Graßmann: Das Top Quark, Picasso und Mercedes Benz. Rororo science 60806, S. 13

<sup>7</sup> Physik heute 2 (2. Kl. HS und AHS), Jugend und Volk, Salzburg 1995, S. 6

## Ein Blick in die Geschichte

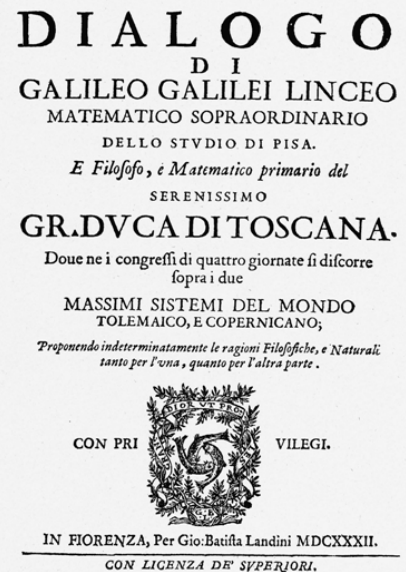
Ein Blick auf die Entstehung der Physik zeigt Kernelemente der Methodik der Physik. In Galileis „Dialog“ diskutieren 3 Personen über die Möglichkeit der Bewegung der Erde bzw. deren Beweis.<sup>8</sup>

### Das Turmargument

Es geht um einen Einwand gegen die Erddrehung: Ein Stein wird von einem Turm fallen gelassen. Müsste er wegen der Rotation der Erde nicht entfernt vom Fuß des Turmes auftreffen?

Diese Situation wird mit einem fahrenden bzw. ruhendem Schiff verglichen.

Salviati vertritt die Position Galileis, Simplicio argumentiert im damals vorherrschenden, aristotelischen Weltbild.



**Salviati:** Ihr sagt: Weil bei ruhendem Schiff der Stein am Fuß des Mastes niederfällt, bei bewegtem aber vom Fuß entfernt, so lässt sich umgekehrt schließen: Wenn der Stein am Fuß niederfällt, steht das Schiff, und wenn er entfernt davon auftritt, ist es bewegt. Was beim Schiff gilt, tritt auch bei der Erde ein; so folgt aus dem Ankommen des Steines am Fuß des Turmes die Unbewegtheit des Erdballs. Ist das nicht Euer Beweis?

**Simplicio:** Ja, und zwar in gedrängter Fassung, was sehr zur Erleichterung des Verständnisses beiträgt.

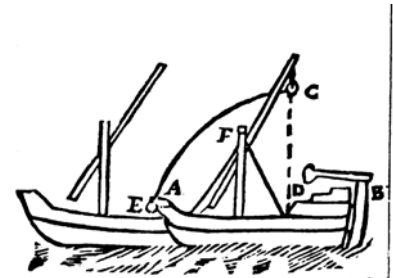
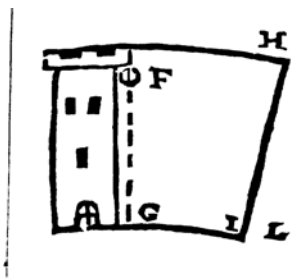
**Salviati:** Wenn der von der Spitze des Mastes fallengelassen Stein auch bei rasch bewegtem Schiff genau an der gleichen Stelle auftritt wie bei ruhendem Schiff, was würde dies für die Entscheidung der Frage bedeuten, ob das Schiff feststeht oder fährt?

**Simplicio:** Absolut keinen. Ebenso zum Beispiel wie aus dem Schlagen des Pulses sich nicht erkennen lässt ob jemand schläft oder wacht, weil der Puls in gleicher Weise bei Schlafenden wie bei Wachenden schlägt.

**Salviati:** Habt Ihr jemals den Versuch mit dem Schiff angestellt?

**Simplicio:** Ich habe es nicht getan, wohl aber denke ich, haben die Schriftsteller die ihn angeben, sich sorgfältig mit ihm beschäftigt. Darüber hinaus liegt die Ursache der Verschiedenheit so sehr auf der Hand, dass kein Raum für Zweifel bleibt.

**Salviati:** Dass jene Autoren ihn möglicherweise anführen, ohne ihn angestellt zu haben, dafür seid Ihr selbst ein klassischer Zeuge. Denn ohne den Versuch gemacht zu haben, zitiert Ihr ihn als sicher und verlasst Euch in gutem Glauben auf ihr Wort. Ebenso haben wohl auch diese Gelehrten gehandelt: Sie haben sich auf ihre Vorgänger verlassen, ohne dass man jemals auf einen kommt der den Versuch wirklich durchgeführt hat. Denn jeder, der das tut, wird finden, dass sich das genaue Gegenteil von dem ergibt, was man geschrieben liest. Man wird nämlich zum Ergebnis kommen, dass der Stein stets an derselben Stelle des Schiffes niederfällt, egal ob es steht oder sich mit beliebiger Geschwindigkeit bewegt. Da aber für die Erde



<sup>8</sup> G. Galilei: Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltssysteme (1632) (teilweise vereinfachter Auszug)

und das Schiff gleiches Recht gilt, so lässt sich aus dem lotrechten Fall des Steines und dem Aufschlag am Fuß des Turmes nichts über die Bewegung und Ruhe der Erde ermitteln.

Simplicio: Wenn Ihr mich nicht auf den Weg des Versuchs verwiesen hättet, so würden wir noch lange Hin- und Herreden. Mir scheint diese Frage für menschliche Spekulation so unzugänglich, dass niemand so frech sein kann, etwas zu glauben oder zu vermuten.

Salviati: Und doch erkühne ich mich, das zu tun.

Simplicio: Ihr hättet also nicht ein einziges mal die Probe selbst gemacht und seid doch des Erfolges sicher? Ich kehre zu meiner anfänglichen Überzeugung zurück: Die Gelehrten die diesen Versuch anführen, haben ihn auch ausgeführt, und zwar mit dem von ihnen angegebenen Erfolg.

Salviati: Ich bin auch ohne Versuch sicher, dass das Ergebnis so ausfällt, wie ich es Euch sage! Ja noch mehr: Ich behaupte, Ihr selbst wisst ebenfalls, dass das Resultat nur so sein kann, wie ich es vorhersage. Denn ich verstehe das Handwerk, mit Gehirnen umzugehen, so meisterlich, dass ich Euch gewaltsam ein Geständnis entreißen werde! Sie müssen nur ehrlich auf meine Fragen antworten.

Simplicio: Ich werde nach bestem Wissen antworten, aber ich bin sicher, nicht in Ungelegenheiten zu kommen.

Salviati: Ich möchte nicht, dass Ihr antwortet, wenn Ihr nicht völlig sicher seid. Sagt mir also: Stellt Euch eine ebene, völlig glatte, spiegelähnliche Fläche vor, von stahlhartem Stoff, die nicht horizontal, sondern etwas geneigt ist. Ihr legt einen vollkommen kugelförmigen Ball darauf, aus schwerem, sehr hartem Stoff, etwa aus Bronze. Was würde diese Kugel tun, wenn sie sich selbst überlassen ist? Meint Ihr nicht auch wie ich, sie würde ruhig liegen bleiben?

Simplicio: Und die Fläche soll geneigt sein?

Salviati: Freilich, diese Voraussetzung habe ich ja gemacht.

Simplicio: Keineswegs glaube ich, dass sie liegen bleibt! Ich bin im Gegenteil völlig sicher, dass sie sich von selbst nach der geneigten Seite bewegen würde.

Salviati: Gebt acht, was Ihr sagt, Signore Simplicio! Ich bin nämlich überzeugt, dass die Kugel überall ruhen würde, wohin Ihr sie auch legt.

Simplicio: Wenn Ihr Euch auf eine solche Art von Annahmen stützt, dann fange ich an zu begreifen, warum Ihr zu grundfalschen Ergebnissen gelangt.

Salviati: Ihr seid Euch also sicher, dass die Kugel sich von selbst nach der geneigten Seite bewegen würde?

Simplicio: Welche Frage!

Salviati: Und Ihr behauptet dies nicht weil ich es Euch gelehrt hätte - ich versuchte Euch ja das Gegenteil einzureden - sondern aus freiem Antrieb, nach Eurem gesunden Menschenverstand.

Simplicio: Jetzt verstehe ich Euren Kunstgriff; Ihr habt nur so geredet, um mich zu verleiten, mich reinzulegen, nicht weil Ihr selbst so dachtet!

Salviati: So ist es. Wie lange und mit welcher Geschwindigkeit würde sich die Kugel bewegen? Beachtet, dass ich von einer vollkommen runden Kugel und einer ausgezeichnet glatten Ebene gesprochen habe, um damit alle äußeren und zufälligen Hindernisse auszuschließen. Ebenso möchte ich, dass Ihr von der Luft abseht, die einen Widerstand bieten könnte, desgleichen von allen anderen zufälligen Hemmnissen, wenn etwa solche vorhanden sein sollten.

Simplicio: Ich habe das alles ganz gut verstanden. Eure Frage anlangend antworte ich: Sie würde ins Unendliche fortfahren, sich zu bewegen, wenn die Neigung der Ebene solange wäre, und zwar in stetig beschleunigter Bewegung. Dabei wird die Geschwindigkeit um so größer sein, je stärker die Neigung der Ebene ist.

Salviati: Wenn man aber wollte, dass die Kugel auf der gleichen Eben sich nach oben bewegte, würde sie das Eurer Meinung nach tun?

Simplicio: Freiwillig nicht, wohl aber, wenn man sie gewaltsam hinaufschiebt oder -stößt.

Salviati: Und wenn sie nun wegen eines gewaltsamen Anstoßes hinauf getrieben würde, wie und von welcher Dauer würde ihre Bewegung dann sein?

Simplicio: Die Bewegung würde immer schwächer werden und sich verzögern. Außerdem würde sie länger oder kürzer dauern, je nach der Stärke des Impulses und nach der Steilheit.

Salviati: Wir haben bis jetzt das Verhalten eines bewegten Körpers auf zwei Ebenen geschildert: Auf der geneigten Ebene bewegt sich die Kugel beschleunigt abwärts; um sie anzuhalten, muss man Kraft anwenden. Bei der aufsteigenden Ebene ist hingegen Kraft notwendig, um sie vorwärts zu treiben und ebenso, um sie festzuhalten. Die eingeprägte Bewegung vermindert sich beständig und hört schließlich ganz auf. Weiters sagtet Ihr, dass die Bewegung vom Grad der Steilheit abhängt. Nur sagt mir, was mit demselben Körper auf einer Fläche geschieht, die weder abschüssig ist noch ansteigt.

Simplicio: Hier muss ich mich ein wenig auf die Antwort besinnen. Da keine Abschüssigkeit vorhanden ist, gibt es keinen natürlichen Antrieb. Da aber auch kein Ansteigen stattfindet, gibt es auch keinen Widerstand gegen eine Bewegung. Der Körper muss also von Natur aus ruhen.

Salviati: Das ist auch meine Ansicht - wenn man ihn ruhig hinlegt. Wenn man ihm aber einen Anstoß in irgendeine Richtung gibt, was passiert dann?

Simplicio: Er würde sich in diese Richtung bewegen.

Salviati: In welcher Bewegungsart? Beschleunigt wie auf der abschüssigen Ebene, oder verzögert wie bei der Steigung?

Simplicio: Ich kann weder einen Grund für eine Beschleunigung noch für eine Verzögerung entdecken, da weder ein An- noch ein Absteigen stattfindet.

Salviati: Wenn kein Grund für eine Verzögerung vorliegt, kann auch keiner für einen Stillstand des Körpers vorhanden sein. Wie lange müsste die Bewegung andauern?

Simplicio: So weit diese Ebene Fläche reicht.

Salviati: Wäre diese unbegrenzt, so würde die Bewegung ewig andauern, nicht wahr?

Simplicio: So scheint es mir, vorausgesetzt, der Körper ist aus einem dauerhaften Stoff.

Salviati: Dies haben wir ja vorausgesetzt, als wir sagten, es sollten alle zufälligen Hindernisse entfernt werden; die Zerstörbarkeit des Körpers ist in diesem Falle eines der zufälligen Hindernisse. Sagt mir nun: Was ist Eurer Ansicht nach die Ursache, dass die Kugel sich auf der geneigten Ebene freiwillig bewegt, auf der ansteigenden dagegen nur gezwungen?

Simplicio: Der Grund ist die Neigung der schweren Körper, sich in Richtung des Mittelpunktes der Erde zu bewegen. Die geneigte Ebene bewirkt eine Annäherung an den Mittelpunkt, die absteigende eine Entfernung.

Salviati: Eine Fläche die weder abschüssig noch ansteigend ist, muss also überall gleich weit entfernt vom Erdmittelpunkt sein. Gibt es solche Flächen?

Simplicio: Daran fehlt es nicht. Nehmt unsere Erdoberfläche, wenn sie vollkommen glatt und nicht rau und gebirgig wäre, oder die Wasseroberfläche, solange sie unbewegt und ruhig ist.

Salviati: Ein bei Meeresstille fahrendes Schiff gehört aber dann zu den Körpern, die sich über eine ebene Fläche der besprochenen Art bewegen. Es ist daher bestrebt sich gleichförmig fortzubewegen, nach Entfernung aller zufälligen und äußerlichen Hindernisse.

Simplicio: So muss es sein, scheint mir.

Salviati: Betrachten wir nun den Stein, der sich auf der Spitze des Mastes befindet. Vollzieht er nicht ebenfalls eine Bewegung um den Erdmittelpunkt längs einer Kreislinie? Eine Bewegung also, die gleich schnell wie die des Schiffes ist und die in ihm unveränderlich fortbesteht, von äußerlichen Hindernissen abgesehen?

Simplicio: So weit ist alles in Ordnung. Was nun weiter?

Salviati: Zieht daraus rechtzeitig selbst den letzten Schluss!

Simplicio: Ihr meint damit, dass dieser Stein diese unveränderliche Bewegung während seines Falls beibehalten wird. Er wird dem Schiff folgen und schließlich an demselben Ort auftreffen wie bei ruhendem Schiff.

Salviati: Wenn aber zwischen ruhendem und fahrendem Schiff kein Unterschied im Fallen des Steins besteht, was muss man erst bei dem von der Turmspitze fallenden Stein erwarten? Dieser hat ja eine natürliche Kreisbewegung, er folgt dem Erdball wie der Turm und die Luft! Habt Ihr noch eine Erwiderung vorzubringen, Signore Simplicio?

Simplicio: Nur die eine, dass ich die Bewegung der Erde bis jetzt noch nicht erwiesen sehe.

## Erfahrung, Hausverstand, oder ...?

Die antike Bewegungslehre (Aristoteles) orientiert sich an der **Erfahrung**. Bewegung ist sichtbar, erkennbar, spürbar. Sie ist zielgerichtet, es wird zwischen natürlichen und künstlichen Bewegungen unterschieden.

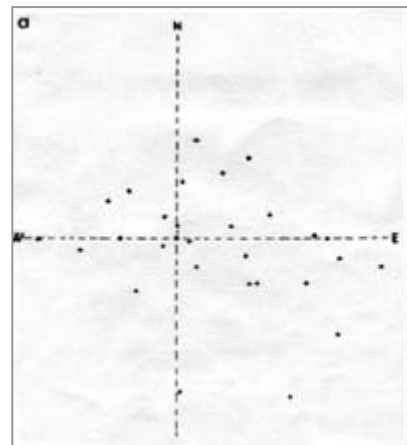
Die Bewegungen der Erde sind allerdings nicht direkt erfahrbare. Um diese möglich werden zu lassen, muss Galilei eine grundlegende Revision der Alltagserfahrung und ihrer Beschreibung vornehmen. Er verlässt die Welt der Erfahrung und wechselt in einem Gedankenexperiment in eine **abstrakte Modellwelt**, aus der er seine Prinzipien entwickelt.

Wie kommt man zu verlässlichem Wissen? Galilei stellt sich gegen das tradierte Wissen von Autoritäten, hat aber hier auch kein Experiment durchgeführt. Er leitet das Wissen scheinbar aus logischem Denken ab, aus einer Art „Hausverstand“. Dies enthält zwar den demokratischen und aufklärerischen Aspekt der Physik, wird aber in der Textpassage mit psychologischen Tricks erreicht. Tatsächlich lässt sich die Erklärung gerade nicht aus der Alltagserfahrung ableiten, Galilei führt einen neuen Bewegungsbegriff ein: Er zerlegt die erfahrbare Bewegung in abstrakte „Bewegungsatome“.<sup>9</sup>

## Der erste „Beweis“

Galilei hatte keine Beweis für seine Behauptung der Bewegung der Erde. Interessanterweise erfolgte dieser auf einen Vorschlag I. Newtons genau mit dem Fall von hohen Türmen. Galilei hatte gezeigt, dass eine fallende Kugel trotz der Bewegung der Erde am Fußpunkt ankommt, da sich die Kugel während des Falls mit der Erde mitbewegt. Allerdings hat der Turm an der Spitze eine höhere Geschwindigkeit als an seiner Basis, daher ist die Kugel etwas schneller und eilt nach Osten voraus.

Die Abweichung ist sehr gering und schwierig zu messen – wesentlich besser funktionierte die Messung der Erdrotation mit dem Pendel von L. Foucault. Das Bild zeigt Messungen von Benzenberg, 1802 in der Michaelskirche in Hamburg (Fallhöhe ca. 76 Meter).<sup>10</sup>



## Warum ist die physikalische Beschreibung von Bewegungen so kompliziert?

Dieser Blick in die Geschichte gibt auch eine mögliche Antwort auf diese Frage: Weil die Bewegungen am Himmel und auf der Erde einheitlich beschrieben werden. Die Physik kam vom Himmel.

Galileis Beispiel zeigt:

Physikalische Objekte sind das Ergebnis einer **Komplexitätsreduktion** – von individuellen Eigenschaften wird abgesehen – dafür gelingt in der Folge eine quantitative Behandlung.<sup>11</sup>

*„Physikalische Ordnungen bzw. Gesetze werden weder in der Welt vorgefunden noch von den Forschern spontan gesetzt. Sie sind vielmehr das Ergebnis der Herstellung von Ordnung: Die forschenden PhysikerInnen legen sich aufgrund theoretischer Ideen, allgemein akzeptierter Normen und einer ausgefeilten experimentellen Praxis die Sachverhalte so zurecht, dass sie am verständlichsten, einfachsten, überschaubarsten und plausibelsten erscheinen.“<sup>12</sup>*

<sup>9</sup> Eine ausführliche Diskussion des Turmarguments findet sich in: P. Feyerabend: Wider den Methodenzwang. Frankfurt/Main 1986; Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft 597

<sup>10</sup> Teichmann, J.: Wandel des Weltbildes. Deutsches Museum München 1980, S. 158.

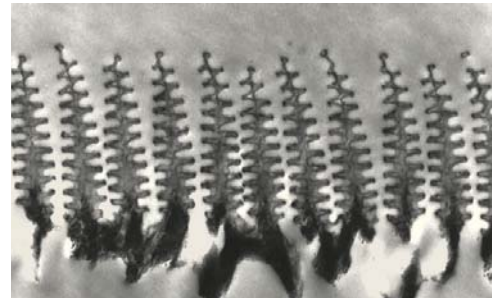
<sup>11</sup> Schlichting H.J.: Zwischen common sense und physikalischer Theorie. In: MNU 44/2, 74 (1991)

<sup>12</sup> Schlichting, H.J.: Physik – Eine Perspektive der Realität. In: Physik in der Schule 34/9 (1996), S. 339 ff

## Die naturwissenschaftliche Methode

Wir verstehen sie als ein Wechselspiel von Theorie und Experiment, in der Gemeinschaft der Forschenden. Ziel ist dabei, „**Sicheres Wissen**“<sup>13</sup> herzustellen – also allgemeingültige Erkenntnisse, die uns zu Vorhersagen und Handlungen unter bestimmten Bedingungen befähigen. Forschende agieren allerdings in einem gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Umfeld und bringen eine Reihe von impliziten Überzeugungen und Einstellungen in ihre Arbeit ein.

Die „**physikalische Brille**“ zeigt also *einen*<sup>14</sup> Aspekt der Natur, sie folgt strengen Regeln. So sehen wir im Schmetterlingsflügel ein Konstrukt von Nanostrukturen.



Diese Methode bewirkt also eine Art von „**Entzauberung**“ der Welt. Eine Symphonie lässt sich physikalisch auf Luftdruckkurven und Frequenzspektren reduzieren (A. Einstein spricht von „*Verarmung*“). Diese Einschränkung eröffnet uns aber neue Sichtweisen und Erkenntnisse – die Analyse von Musik etwa die Konstruktion technischer Geräte und Speichermedien (z.B. mp3-player). Durch Vereinheitlichung vieler Phänomene auf eine Theorie kann sie zu unserem Weltverständnis beitragen – zum Beispiel: Mikrowelle, Handy-Strahlung, Wärmestrahlung, Licht und Sehen, Sonnenbrand (UV) werden allesamt durch Frequenzbereiche im elektromagnetischen Spektrum beschrieben.

## 3. Verstehen

**Experiment 2:** *Sie haben eine Batterie, einen Draht, einen Magneten und eine Schraube. Bauen Sie damit einen Elektromotor! Verstehen Sie dieses Gerät?*

Wir können eine Erklärung dieses Motors geben, diese lässt sich auch niederschreiben. Eine „VerstehUNG“ gibt es allerdings nicht – wohl aber das Verständnis, das vollzogene Verstehen. Was meint eigentlich Verstehen, insbesondere Verstehen von physikalischen Phänomenen?

*„Das physikalische Verstehen ist fast immer ein individueller, einsamer, oft schubhafter Prozess einer plötzlichen Erhellung.“<sup>15</sup>*

*„Verstehen heißt Verbinden. Im Seltsamen wird ein Gewohntes erkannt.“<sup>16</sup>*

Im Prozess des Verstehens verbinden wir Neues mit Bekanntem. Verstehen ist etwas Individuelles, jeder versteht anders. Will man mit Erklären Verstehen erreichen, muss man auf den Adressaten eingehen, insbesondere auf sein Wissen und Kennen der notwendigen physikalischen Bezüge.

<sup>13</sup> Pietschmann, H.: Die Phänomenologie der Naturwissenschaften. Ibero-Verlag 2007

<sup>14</sup> Wir erinnern uns an die Definition von Graßmann!

<sup>15</sup> Wagenschein, M.: Die pädagogische Dimension der Physik. Westermann, Braunschweig 1976, S. 131

<sup>16</sup> ebd., S. 193

## Experten und Laien

Wie verstehen Experten die Physik?

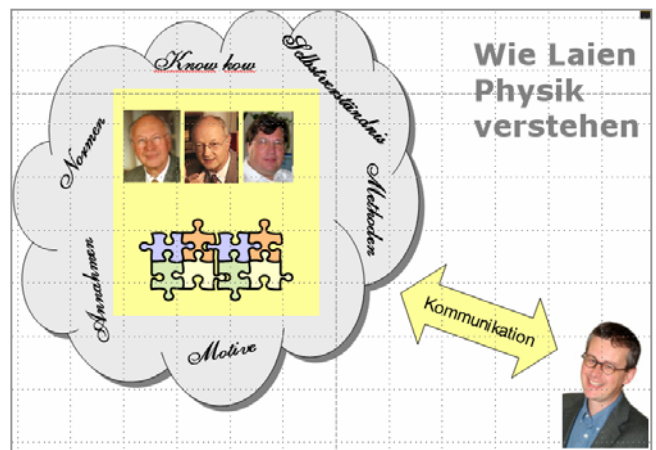
*Sie erlernen ihr „Handwerk“ im wesentlichen informell und wenden es auch meist so an. Dieses „Physik machen“ oder „Physik können“ bedeutet gleichzeitig ein „Physik verstehen“.<sup>17</sup>*

Forschende verstehen die Physik von Innen, sie generieren „explizites Wissen“ in Büchern, Zeitschriften und Vorträgen.

Laien steht dieser Zugang nicht zur Verfügung. Sie verstehen Physik von Außen und sind daher auf die **Kommunikation** mit Experten angewiesen. Hier kommt nun das „implizite Wissen“ der Forschenden ins Spiel. Es liefert den Kontext für das Verstehen.

*„Dazu gehören z.B. die Motive, Hintergrundannahmen, Konzeptionen, Methoden und Normen des wissenschaftlichen Arbeitens und Urteilens, und ebenso die philosophischen, erkenntnistheoretischen, konzeptionellen, historischen und gesellschaftlichen Implikationen der Physik, desgleichen das geistige Klima oder Milieu, das in den wissenschaftlichen Institutionen und Gesellschaften herrscht.“<sup>18</sup>*

Somit können wir den Prozess des Verstehens der Physik durch Laien in Analogie mit der Interpretation von Texten beschreiben. Zum Verständnis von Text gehört immer der Kontext, zum Verständnis des expliziten Wissens das implizite Wissen. Erst diese Interpretation ergibt den Sinn und damit das Verstehen.



## 3. Physik verstehen – aber wie?

Zu dieser Frage seien einige Grundsätze genannt, die sich zum Teil aus dem bisher Dargelegten ergeben. Allesamt sind sie durch die fachdidaktische Forschung insbesondere der letzten Jahrzehnte erhärtet.

**Experiment 3:** Lassen Sie den Magneten durch das Kupferrohr fallen. Was könnte der Sinn dieses Versuches sein?



<sup>17</sup> Fichtner, R.: Physik verstehen – was ist das? In: Schneider W. (Hrsg.): Wege in der Physikdidaktik 4. Schriftenreihe des Arbeitskreises Bayerischer Physikdidaktiker, Verlag Palm und Enke, Erlangen und Jena, 1998, S. 203

<sup>18</sup> ebd., S. 205

## Verstehenskompetenz

Die Art des Umgangs mit physikalischen Fragen kann man in Form von Kompetenzstufen werten. Ich möchte das Modell von Bybee<sup>19</sup> auf das Experiment anwenden. Auf diesem Modell bauen auch die Kompetenzstufen der PISA Untersuchungen auf.

### 1. Nominal

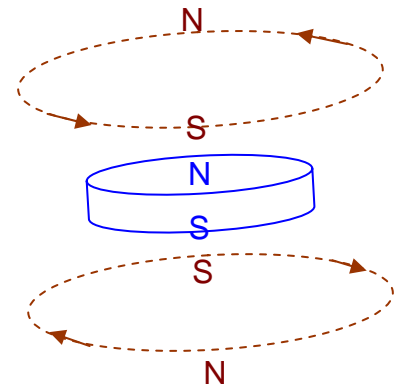
- Naturwissenschaftliche Fragen werden als solche erkannt
- Naturwissenschaftliche Begriffe und Modelle werden zwar verwendet, aber nicht richtig
- Schlussfolgerungen werden auf der Basis von Alltagsvorstellungen gezogen.

*Beispiel: Der Magnet reibt sich am Kupfer, es entsteht eine Bremskraft*

### 2. Funktional

- Naturwissenschaftliche Begriffe werden korrekt verwendet.
- Schlussfolgerungen können aufgrund von physikalischen Daten oder Gesetzen gezogen werden.

*Zum Beispiel: Der Magnet erzeugt Wirbelströme im Kupfer. Diese induzieren bremsende Magnetfelder*



### 3. Konzeptionell und prozedural

- Innerfachliche Zusammenhänge werden hergestellt
- Prozesse und Methoden der Physik werden verstanden

*Zum Beispiel: Dieses Experiment zeigt die Erhaltung der Energie – die induzierten Magnetfelder sind den erzeugenden entgegengerichtet. Man verwendet dieses Prinzip technisch bei Wirbelstrombremsen. Bei jeder magnetischen Erzeugung von Elektrischer Energie tritt diese bremsende Kraft auf – daher braucht ein Auto etwas mehr Benzin, wenn das Licht eingeschaltet ist, da die Lichtmaschine belastet wird.*

Das Verstehen können wir beginnend mit dieser Kompetenzstufe ansetzen.

### 4. Multidimensional

- Geschichte und Wesen der Physik sind bekannt
- Zusammenhänge können über die Physik hinaus hergestellt werden
- Argumentationen und Bewertungen können auf naturwissenschaftlicher Basis durchgeführt und kommuniziert werden.

*Zum Beispiel: Was ist der Sinn dieses Experiments? Spiel, Spaß? Präsentieren eines Gesetzes? Ein Modellversuch für technische Anwendungen?*

## Fünf Didaktische Prinzipien

Wie können oder sollen wir – als Lehrende oder als Experten – vorgehen, um das Verstehen von Physik zu begünstigen?

### 1. Laien als die wichtigste Zielgruppe der Vermittlung

Diese Gruppe stellt nicht nur die Mehrheit, es sind auch jene Personen, die in der Gesellschaft mehr Einfluss haben als spätere Forscherinnen und Forscher. In einer durchschnittlichen Schulklasse sitzen spätere Journalisten, Politiker, Beamte, Künstler, Wirtschaftstreibende, Juristen... - sie werden als Erwachsene die öffentliche Meinung bestimmen.

### 2. Vorstellungen wichtig nehmen

Verstehen ist nur möglich, wenn wir auf die vorhandene Wissens- und Denkstruktur Bezug nehmen. Alltagsvorstellungen (auch Präkonzepte genannt) erklären für Laien befriedigend ihre Welt. Wir müssen diese gezielt ansprechen und an sie anknüpfen.

<sup>19</sup> Bybee, R. W.: Towards an understanding of scientific literacy. In: Gräber, W., Bolte, C. (Hrsg.): Scientific Literacy. An international symposium. Kiel: IPN, 37 – 68.

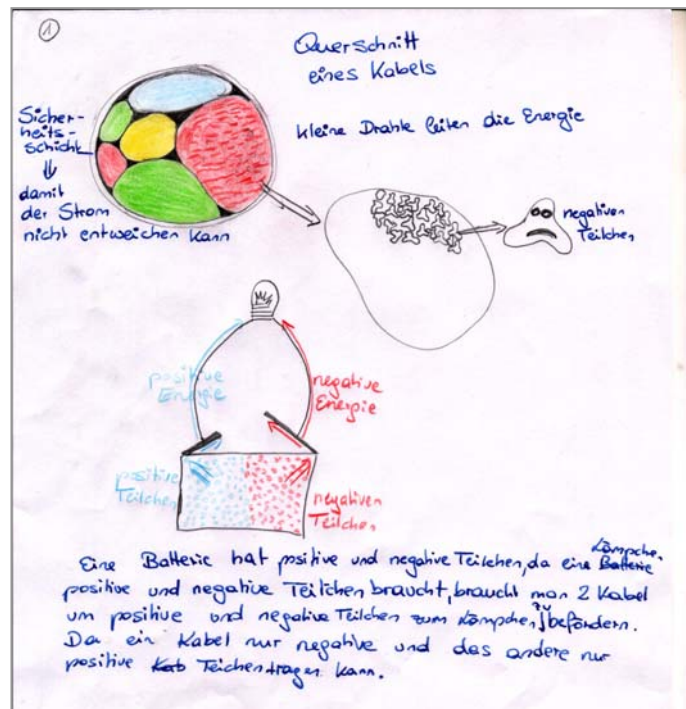
Beispiel: Verbreitete Vorstellung der Funktion eines Stromkreises. Hier die Zeichnung eines Zwölfjährigen. Es wird mit positiven und negativen Teilchen (auch mit positiver und negativer Energie) argumentiert. Die Batterie wird als eine Art Speicher für diese Teilchen gesehen („voll“, „leer“). Das Leuchten der Lampe wird oft mit Reibungs- oder Vernichtungsprozessen erklärt (fehlt hier).

### 3. Sinn und Vorteile der „physikalischen Brille“ zeigen

Untersuchungen haben gezeigt, dass sich diese Alltagskonzepte bei Laien meist nicht nachhaltig ersetzen lassen. Unser Ziel ist daher zu erreichen, dass sich die Schülerinnen und Schüler auf die physikalische Sicht immer wieder einlassen. Einen Sinn in dieser Methode zu finden ist eine zentrale Bedingung für Verstehen.

### 4. Über Physik diskutieren

„NOS“ (nature of science) nennt sich das entsprechende Gebiet der Fachdidaktik. Oft sind Zugänge über Physik besser verständlich als solche in der Physik. Oft benötigen Laien gar nicht so viel explizites physikalisches Wissen, um begründet über historische oder aktuelle Fragen (z.B. Österreich bleibt bei CERN?) diskutieren zu können.



Diskutieren bedeutet Dialog, das Gespräch. Laien sind zum Verstehen von Physik auf die Kommunikation angewiesen. Galilei schrieb seine großen Werke in Dialogform, Wagenschein nannte seine Methode „Sokratisch“<sup>20</sup>, das „Dialogische Lernen“ ist ein aktuelles didaktisches Forschungsgebiet<sup>21</sup>.

### 5. Kontexte als Zugang

Kontext meint hier nicht nur das implizite Wissen von Experten. Es meint Bereiche und Aspekte von Alltag, Technik und Umwelt, an denen physikalische Fragen erarbeitet werden können. Aus Untersuchungen ist bekannt, welche Art von Kontexten für Laien interessant sind und welche weniger. Ansprechend finden sie z.B. alles, was mit Menschen zu tun hat, zum Beispiel Medizin und Sport. Umwelt, Tiere, Pflanzen sind weitere Kontexte, ebenso Wetter, Klima oder der Weltraum. H. Muckenfuß<sup>22</sup> nennt das damit verbundene Wissen „Orientierungswissen“, da es uns hilft, uns in der Welt zurechtzufinden und sie besser zu verstehen. Beim „Verfügungswissen“ geht es dagegen um Technik, um Beherrschung der Welt. Dieses ist für Laien von geringerem Interesse.

### Fazit

Das Ziel des Unterrichts in Bezug auf das Verstehen von Physik heißt also Weltverständnis. Es geht zwar auch darum etwas innerhalb der Physik zu verstehen, aber nicht in erster Linie, sondern: Es geht um ein besseres Verständnis der Welt mithilfe der Physik, und dazu gehört ein Verständnis ihrer Methode, ihrer Möglichkeiten und Grenzen.

<sup>20</sup> Wagenschein, M.: Verstehen lehren. Genetisch – Sokratisch – Exemplarisch. Beltz, 1968

<sup>21</sup> zum Beispiel an der Universität Zürich: Implementing dialogic learning at schools. <http://www.research-projects.uzh.ch/p9611.htm>

<sup>22</sup> Muckenfuß, H.: Lernen im sinnstiftenden Kontext. Cornelsen, Berlin 1995