

Ein Besuch im Science-Zentrum – Ersatz oder Ergänzung des Physikunterrichts?

Michael Kiupel

In Science-Zentren ist immer wieder zu beobachten, wie sich Menschen jeden Alters mit Freude und intensiv physikalischen Fragestellungen widmen. Untersuchungen zum Physikunterricht zeigen ein anderes Bild [1]. Beispielhaft sei auf die Veröffentlichungen von Dengler [2] hingewiesen. Er stellt u.a. fest, daß sich das Fach Physik auf dem vorletzten Platz der "Beliebtheitskala" der Fächer in der Oberstufe des Gymnasiums befindet. Haben Science-Zentren ein Erfolgsrezept? Wo liegen Möglichkeiten und Grenzen der Science-Zentren in Bezug auf die Vermittlung physikalischer Inhalte? Kann Physikunterricht an die Erfahrungen dieser außerschulischen Felder anknüpfen?

Ein Blick in die Geschichte

Im Jahre 1968 eröffnete der Physiker Frank Oppenheimer in San Francisco das EXPLORATORIUM, das weltweit erste Science-Zentrum. Er entwickelte damit die bereits vorhandenen Ideen anderer physikalisch-technischer Museen konsequent weiter, die schon einfache, von Besuchern und Besucherinnen manipulierbare Exponate bzw. Experimente [3] in ihre Sammlungen aufgenommen hatten, wie sie heute noch als sog. Knopfdruckexperimente in der Physik-Abteilung des Deutschen Museums zu finden sind. Erste Gedanken, öffentliche Experimentiersäle zu schaffen, finden sich schon bei dem englischen Philosophen Francis Bacon, der in seinem Roman *New Atlantis* das *Haus des Salomon* beschreibt, dessen Schilderung sehr an moderne Science-Zentren erinnert. In Berlin öffnete im Juni 1889 die URANIA ihre Pforten. Neben einer Volkssternwarte gab es dort ein physikalisches Theater und den ersten physikalischen Experimentiersaal der Welt, in dem der Entdecker der Kanalstrahlen, Eugen Goldstein, Experimente entwickelte, die mit einem Druckknopf ausgelöst wurden. Zeugnisse belegen, daß beispielsweise Max von der Laue, Manfred von Ardenne und Wernher von Braun die URANIA kannten und schätzten [4].

Eine zweite Wurzel der Science Zentren kann in den Arbeiten von Hugo Kükelhaus gesehen werden, der als Handwerker und Philosoph auf die Bedeutung der Sinneswahrnehmungen hinwies. Für ihn ist die Nicht-Inanspruchnahme von Kräften und Fähigkeiten Ursache für Erschöpfung und Mißbehagen: "Man stelle sich vor, eine schnurgerade, ebene, hellerleuchtete, völlig hindernisfreie Betonbahn gehen zu müssen. Daß man nach 4 oder 5 km solcher eintöniger Lauferei ermattet sein wird, leuchtet ohne weiteres ein. Es leuchtet aber auch ein, daß es einem ganz anders erginge, wenn man die gleiche Strecke durch den Wald gehen würde. Dort ist der Weg nicht schnurgerade, sondern gewunden. Es

geht auf und ab: über Stock und Stein. Da sind schlüpfrige Stellen. Das Licht ist dämmrig ... Ergebnis des Waldgangs: man ist erfrischt, fühlt sich wie neugeboren." [5] Veränderte, immer monotonere Umweltbedingungen und eine zunehmende Nicht-Inanspruchnahme menschlicher Sinne veranlaßten ihn schon früh, Bereiche neuer Erfahrungen zu fordern. Dort soll die Auseinandersetzung der Sinne mit Neuem möglich werden. So entwickelte er für den deutschen Pavillon auf der Weltausstellung 1967 in Montreal Stationen zur Schulung der Sinne. Im Jahre 1975 gestaltete er ein Erfahrungsfeld unter dem Namen EXEMPLA. Er wirkte bei der Entwicklung der PHÄNOMENA mit, einem Erfahrungsfeld, welches 1984 in Zürich, 1985 in Rotterdam und 1989 in Bietigheim bei Stuttgart aufgebaut wurde.



Der "Tastpfad": Wenn man allein auf den Tastsinn angewiesen ist...

Die Erfolge des EXPLORATORIUMS, die sich zunächst in hohen Besucherzahlen ausdrückten, führten zur Gründung einer Reihe weiterer Science-Zentren in den USA, in Großbritannien, in den skandinavischen Ländern und in Indien. In Deutschland entstand nach einer 5-jährigen Aufbau- und Erprobungsphase aus der Universität Flensburg heraus das erste deutsche Science-Zentrum – die PHÄNOMENTA, die zwischenzeitlich die Gründung weiterer Zentren gleichen Namens in Lüdenscheid und Bremerhaven ange-regt hat. Im MUSEUM FÜR VERKEHR UND TECHNIK in Berlin (heute: DEUTSCHES TECHNIKMUSEUM) wurde mit der Eröffnung im Jahre 1983 eine Abteilung mit 40 interaktiven Exponaten eingerichtet. Das "Versuchsfeld" firmiert inzwischen unter dem Namen SPEKTRUM und ist in einem eigenen Gebäude untergebracht.

Experimente – die Exponate eines Science-Zentrums

Einige typische Exponate aus der PHÄNOMENTA in Flensburg sollen deutlich werden lassen, daß in einem solchen Feld nicht nur vergrößerte Schulversuche aufgebaut werden. Vielmehr finden Besucher und Besucherinnen eine Vielzahl verschiedener Exponate, die verschiedenste Phänomene aus Natur und Technik unmittelbar erfahrbar machen. Sie fügen sich zu einem typischen Gesamtbild der

Dr. Michael Kiupel, Inst. f. Physik und ihre Didaktik,
Bildungswissenschaftliche Hochschule Flensburg, Mürwiker Str. 77,
D-24943 Flensburg

Ausstellung zusammen. Fiesser stellte eine Liste von Kategorien zusammen, wie die Exponate in der Phänomenta eingeordnet werden können [6].

Einen Bereich bilden Stationen, die als Schule der Sinne, als Exponate zur Förderung von Wahrnehmungsmöglichkeiten oder durchaus als Experimente im Sinne von Kükelhaus verstanden werden können, wie z.B. der "Tastpfad"

Der "Tastpfad"

In einem unten offenen Holzquader – daher für Besucher nicht sichtbar – befinden sich verschiedene Gegenstände, die sich in ihrer Oberflächenbeschaffenheit stark unterscheiden: eine Bürste, eine Holzkugel, ein Korkstück, ein Glas usw. Besucher ertasten die nicht sichtbaren Gegenstände mit der Hand. Der Aufbau zeigt, wie erstaunlich empfindlich der Tastsinn auf verschiedene Oberflächen reagiert. Erst durch die Verhinderung des Blickkontakts wird man sich dessen bewußt.

Andere Exponate bilden weitere Schwerpunkte, wie die folgende Zusammenstellung zeigt.

Das "Wellenbecken"

Ein quaderförmiges Glasgefäß mit den Maßen 1,5 m x 40 cm x 8 cm ist etwa zur Hälfte mit blau gefärbtem Wasser und zur anderen Hälfte mit Petroleum gefüllt. Mit einem Griff kann das Becken um etwa 10° gekippt werden. Ein eingebauter Stoßdämpfer verhindert zu schnelle Bewegungen. An der Grenzfläche können langsam ablaufende Wellenerscheinungen beobachtet werden.

Obwohl beim Wellenbecken der ästhetische Reiz stark im Vordergrund steht, lassen sich beispielsweise auch Versuche zu stehenden Wellen durchführen.

Das Exponat "**Hörkurve**" gehört in eine Gruppe von Exponaten, die ein Quantifizieren des eigenen Körpers und der Sinneswahrnehmung erlauben:

Zwei Lautsprecher sind in einer Höhe von etwa 1,30 m im Abstand von etwa einem Meter aufgestellt. Über verschiedene Schieberegler kann die Lautstärke von einzelnen Tönen verschiedener Frequenz (20-20000 Hz) so eingestellt werden, daß sie gerade noch wahrnehmbar sind. Die Lautsprecher sind einzeln abschaltbar. Nach Abschluß des Experiments bilden die Knöpfe der Schieberegler eine Kurve, die die Empfindlichkeit des untersuchten Ohres für verschiedene Frequenzen widerspiegelt.



Exponat "Hörkurve": Nach der Durchführung des Experiments zeigt die Stellung der Schieberegler recht genau das Hörvermögen über den gesamten Frequenzbereich.

Der "**Mitdrehende Kopf**" ist Beispiel für die Gruppe von Exponaten, die Täuschungsmöglichkeiten der Wahrnehmung thematisieren:

In einem Rahmen ist eine räumliche Negativkopie eines Kopfes angebracht. Diese Darstellung hat zur Folge, daß die Augen der

Maske den Besucher/die Besucherin in jeder Richtung anzusehen scheinen.

Das "**Große Klick-Klack**" ist typisch für eine Gruppe von Stationen, an denen es Besuchern selbst überlassen bleibt, in welcher Weise sie weiterexperimentieren. So kann es im Rahmen der durch den Aufbau gegebenen Möglichkeiten zu einer intensiven Beschäftigung mit dem physikalischen Phänomen kommen.

In einem ca. zwei Meter hohen Gestell befinden sich sieben Stahlkugeln, die an ca. 1,2 Meter langen Seilen bifilar aufgehängt sind. Wird eine der Kugeln, deren Masse etwa 250 g beträgt, ausgelenkt und losgelassen, so trifft sie die verbleibenden 6 Kugeln, von denen die letzte durch den Stoß ausgelenkt wird. Es können auch 2 oder mehr Kugeln angehoben und losgelassen werden, um das Verhalten der anderen Kugeln zu beobachten.



Beobachtung der Impulserhaltung am "Großen Klick-Klack"

Die "**Große Feder**" gehört in die gleiche Gruppe. Versuchsweise wurde ein mit diesem Exponat gekoppelter Computer aufgestellt, so daß kontextabhängig Hilfen und Informationen zur Verfügung gestellt werden können.

Eine Feder aus ca. 5 mm dickem Federstahldraht mit etwa 200 Windungen ist auf ca. 8 Meter gedehnt und an jeder zweiten Windung aufgehängt. An einem Ende ist die Feder am Stahlrohrgestell fixiert. Am anderen Ende ist sie an einem Hebel befestigt, mit dem die Feder zu transversale oder longitudinale Wellen abgeregt werden kann. Durch den robusten Aufbau ist es möglich, den Aufbau vollständig zugänglich zu gestalten. Bei entsprechender Anregung lassen sich Ausbreitung, Reflexion und Interferenz von Wellen beobachten und verschiedene stehende Wellen erzeugen.

Einzelne Exponate wird man in fast allen Science-Zentren wiederfinden – andere sind eher typisch für den Ansatz, der in der PHÄNOMENTA verfolgt wird. Auch die äußere Gestaltung ist i.allg. in den verschiedenen Feldern unterschiedlich: von hochglanzpolierten Metallflächen über schlichtgrau lackierte Flächen (wie in der PHÄNOMENTA) bis hin zu einfachen, rohen Holzflächen reichen die verwendeten Oberflächen. Entsprechendes gilt für die Anordnung der Exponate. Vielfach sind sie in großen Hallen (z.B. in ehemaligen Fabrikhallen) untergebracht. Die PHÄNOMENTA in Flensburg befindet sich in einem alten Kaufmannshof, der in Bereiche sehr unterschiedlicher Atmosphäre gegliedert ist.

Besucherverhalten

Im Rahmen der Forschungsarbeiten in der PHÄNOMENTA wurde versucht, das Besucherverhalten zu analysieren. Es



Eine stehende Welle auf der "Großen Feder"

zeigte sich, daß die folgenden typischen Handlungsweisen auftraten und beobachtet werden konnten:

- *Lesen:* Bezieht sich auf den Text der Hinweistafel. Die Fragestellung am Exponat wird wahrgenommen.
- *Verstehen:* Der Besucher entnimmt der Tafel den Sinn; er weiß, welche Handlung von dem Erbauer der Exponate beabsichtigt worden ist.
- *Fragen:* Die ersten Handlungsschritte werden nicht der Texttafel entnommen, es werden in der Nähe stehende Personen befragt.
- *In Betrieb nehmen:* Der Besucher/die Besucherin

beginnt mit einer tätigen Auseinandersetzung. Es wird aufgebaut, zusammengesetzt, angestoßen usw.

- *Begreifen:* Die Person läßt erkennen, daß sie die Erscheinung, das Phänomen, entdeckt hat und sie als Information aufnimmt.
- *Experimentieren:* Aufgrund des Verständnisses – und häufig durch Staunen bedingt – werden Parameter verändert. Die Person vollzieht das Experiment einige Male mit Variationen und tritt in die unmittelbare Auseinandersetzung mit der durch den Aufbau bedingten Darstellung von Naturphänomenen.
- *Spielen:* Die Person geht ziellos vor, sie gewinnt dem Exponat andere, spielerische Momente ab.

Beobachtet wurden Besucher und Besucherinnen an ausgewählten Exponaten.

- 40% der 365 beobachteten Besucher zeigten etwa folgendes Verhalten: *lesen – verstehen – in Betrieb nehmen – begreifen – experimentieren.*
- 14% der beobachteten Besucher nahmen das Exponat in Betrieb, ohne zuvor zu lesen oder zu fragen und konnten trotzdem den Kategorien begreifen und experimentieren zugeordnet werden. Dieses Verhalten zeigten insbesondere Grundschüler.
- 13% der Besucher verstanden die Texte nicht, kamen so nicht zum erfolgreichen Experimentieren und nutzten das Exponat zum Spielen.

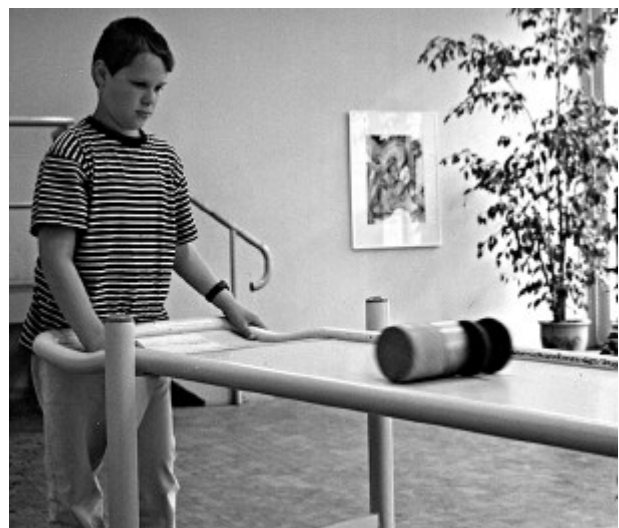
Damit zeigt sich, daß sich etwa die Hälfte der Besucher an einem Exponat so verhält, wie es von den Entwicklern erwartet wird.

Das Verhalten einzelner Besucher und Besucherinnen im gesamten Feld wurde in der PHÄNOMENTA nicht in der Breite untersucht wie das Verhalten an einzelnen Exponaten. Aussagen lassen sich eher aus täglichen Beobachtungen ableiten. Diamond [7] beobachtete das Verhalten von Familien im Exploratorium und in der Lawrence Hall of Science.

Als durchschnittliche Besuchszeit registrierte sie 124 Minuten. In dieser Zeit gab es im Mittel 62 Kontakte zu verschiedenen Exponaten. Die Kontaktzeiten betragen in 57% der Fälle deutlich weniger als eine Minute, an 18% der Exponate betrug die Kontaktzeit mehr als 3 Minuten. Häufig vertiefte sich eine Person in ein Experiment, so daß es zu Kontaktzeiten bis zu 43 Minuten kam. Die beobachteten Gruppen gingen keineswegs zielgerichtet vor. Sie schlenderten eher umher und ließen sich von einzelnen, ihrer Meinung nach attraktiven Exponaten, einfangen. Es scheint so zu sein, daß sich der Besucher für ein Exponat entscheidet und daß dieses und nur dieses während eines Besuchs für ihn lernwirksam werden kann. Dies stimmt mit den Beobachtungen in der PHÄNOMENTA überein.

Lernen im Science-Zentrum

H. Treinen, der zusammen mit B. Graf eine umfassende Untersuchung zum Verhalten der Besucher im technischen Museum vorlegt, formuliert zur Frage des Lernens im Museum: "Folgende Bedingungen, die erfolgreiches Lernen in Bildungseinrichtungen herkömmlicher Art auszeichnen, werden meist nicht mitgedacht: eindeutige Lernziele, Aufgeschlossenheit der Teilnehmer diesen Zielen gegenüber, eigene, auf diese Lernziele ausgerichtete Aktivitäten der Teilnehmer, die Möglichkeit der Rückkopplung zwischen



Das "Rollenrennen" – ein Experiment zum Trägheitsmoment

Teilnehmern, Vermittlern und den dazugehörigen Symbolen, ein durch die Situation geschaffener direkter oder indirekter (wenn auch leichter) Lerndruck sowie eine der Lernsituation entsprechend didaktisch aufbereitete sachlogische Exponatstruktur" [8] Gewöhnlich fehlen diese Voraussetzungen in Museen und Ausstellungen schon aus strukturellen Gründen. Insofern sieht Treinen, "daß trotz aller Unterschiede Museen Eigenheiten von Massenmedien aufweisen" [9]. Allerdings bezieht er sich dabei im wesentlichen auf eine Schausammlung, die "Inhalte an ein heterogenes Auditorium (Publikum)" ausstrahlt [10]. Werden die oben genannten Kriterien vor dem Hintergrund eines Science-Zentrums analysiert, so scheinen eine Reihe von ihnen unter der Voraussetzung zuzutreffen, daß sich ein Besucher von einem bestimmten Exponat "einfangen" läßt: Lernziele, "Lerndruck", Aktivitäten ergeben sich aus dem Wunsch, das

Phänomen verstehen zu wollen. Damit wird Lernen im Museum bzw. Lernen im Science-Zentrum allerdings nicht mit dem Lernen in anderen Bildungseinrichtungen, insbesondere mit dem Lernen in der Schule, vergleichbar; wesentliches Unterscheidungskriterium ist die freie Entscheidung des Besuchers oder der Besucherin, sich intensiv mit einer selbstgewählten Fragestellung auseinanderzusetzen.



Nachdenken über das "Drei-Zeiten-Pendel": Ist es möglich, die verschieden langen Pendel mit gleicher Schwingungsdauer schwingen zu lassen?

Lernprozesse lassen sich beschreiben, wenn die Klasse der Besucher an einem Exponat betrachtet wird, die dieses Phänomen zu ihrem eigenen Problem werden ließen.

In einer Langzeitstudie untersuchte J. Stevenson die Wirkungen eines Besuchs im Launch Pad, dem interaktiv gestalteten Science-Zentrum im Londoner Science Museum. Er befragte die Besucher u.a. ca. 6 Monate nach ihrem Besuch im Science-Zentrum. Dabei gliederte er die Ergebnisse in die drei Kategorien *descriptions*, *feelings* und *thoughts*. Er stellte fest, daß 60% der Befragten die Situation (Experiment und eigene Aktion) beschreiben konnten, daß sich 14% der Besucher an die Gefühle im Zusammenhang mit dem Exponat erinnerten (z. B.: "It was quite amazing watching it shoot up into the air" [11]) und daß 26%

der Besucher sich an Erklärungen oder Bezüge zu Bekanntem erinnerten (z.B.: "It was like one of those bubble lamps, wasn't it, where the bubbles go elongated and strange shapes" [12]). Insgesamt zeigt sich – auch in anderen Untersuchungen (z.B. von M. Junge in der PHÄNOMENTA [13]), daß die Erlebnisse im Zusammenhang mit solchen interaktiven Stationen auch nach sehr langer Zeit noch erinnert werden können und daß das dort erworbene Wissen in eindrucksvoller Weise zur Verfügung steht.

Betont sei an dieser Stelle noch einmal, daß Lernen in der unmittelbaren Auseinandersetzung mit dem Exponat stattfindet. Es stehen i.a. keine weiteren Informationsmöglichkeiten zur Verfügung, oder es sind keine erforderlich. Der Besucher ist allein auf sein Vorwissen und auf die Ergebnisse des Experimentierens angewiesen. Als zusätzliche Information ist allenfalls eine sehr kurze Anleitung erforderlich, die, wie beispielsweise in der PHÄNOMENTA, in Form einer auf das Phänomen zielenden Frage formuliert sein kann. Durch diese wird die Intention des Entwicklers des Exponats an die Besucher weitergegeben.

Unabhängig von der Suche nach einer Erklärung kann sich ein Phänomen als Schlüsselphänomen darstellen, welches in anderem Zusammenhang erinnert wird und so eine Klassifizierung verschiedener Beobachtungen ermöglicht. Auffällig oft verwenden beispielsweise Studierende der Flensburger

Universität in Seminaren Bezüge zu PHÄNOMENTA-Exponaten als Erklärung für physikalische Zusammenhänge.

Physiklernen im Science-Zentrum unterscheidet sich also wesentlich vom Lernen in der Schule. Lernen findet in diesem außerschulischen Bereich auf einer eher vor-formalen Ebene statt: Unmittelbare Wahrnehmung, die durch spürbare Kräfte, beobachtbare Zeiten und große Strecken gefördert wird, kann die Basis für späteres (formales) Lernen bilden. Durch die Möglichkeit der Veränderung verschiedener Parameter am Experiment wird es dem Besucher oder der Besucherin möglich, selbst eine angemessene Erklärung des Phänomens zu finden und Abhängigkeiten zu erkennen. Die Stärkung des Vertrauens, sich auf naturwissenschaftlich-technische Fragestellungen einlassen zu können, muß als wichtiges Ziel solcher außerschulischer Felder angesehen werden. Dazu ist eine gewisse Vielfalt an Exponaten erforderlich: Menschen widmen sich besonders den Phänomenen, die ihren Vorerfahrungen und ihrem Vorwissen entsprechen, die aber andererseits so neu sind, daß ein Weiterfragen lohnt – eine Situation, wie sie in einem Klassenraum kaum denkbar ist.



Immer wieder beeindruckend: Der "Bernoulli-Ball"

Allein durch den Umgang mit dem Exponat, d.h. ohne weitere Informationen durch Texttafeln, durch andere Besucher oder durch Mitarbeiter des Science-Zentrums, findet Lernen in verschiedenen Formen statt. Feher beschreibt vier Stufen: *Experiencing*, *exploring*, *explaining* und *expanding* [14]. Die erste Stufe (*experiencing*) ist zu beschreiben als ein Etwas-Ungewöhnliches-erleben. Es werden eher sensitive und emotionelle Fähigkeiten angesprochen. Eine Auseinandersetzung mit dem Phänomen (an dieser Stelle verwendet Feher den Begriff *aesthetic curiosity*) findet kaum statt. In der zweiten Stufe (*exploring*) werden Manipulationen vorgenommen. Es wird ein handelnder Umgang und eine handelnde Auseinandersetzung mit dem Phänomen beobachtet. In der dritten Stufe (*explaining*) findet eine geistige Auseinandersetzung mit dem Phänomen statt. Diese Stufe setzt nach Feher voraus, daß der Verlauf des Experiments anders ist, als der erwartete Verlauf. Je nach den Vorerfahrungen und dem Vorwissen des Experimentierenden kommt es durch diesen kognitiven Konflikt entweder zu einer Einordnung in bereits vorhandene Strukturen (Assimilation), oder

es kommt zu einer Ausbildung einer neuen kognitiven Struktur (Akkommodation). In der vierten Stufe (expanding) kommt es zu einer Generalisation, in der andere, ähnliche Exponate mit einbezogen werden. "One exhibit by itself cannot carry the whole conceptual message. Multiple exhibits on one topic are necessary to extend the user's world view" [15].

Bei allem Bemühen, das kognitive Lernen im Science-Zentrum zu hinterfragen und weiterzuführen, dürfen affektive Aspekte keinesfalls vergessen werden. Schüleräußerungen wie "I learned that science can be fun" oder "I learned that science is more exciting when you are doing it yourself" [16] erscheinen ebenso wichtig wie die Frage, welche kognitiven Lernfortschritte nachweisbar sind.



Spiegelbild – Bilder im Spiegel

... und im Physikunterricht

Kann ein Besuch im Science-Zentrum sechs Jahre Physikunterricht ersetzen? Sicher nicht. Aber vielleicht kann er Grundlagen für einen erfolgreicherer Unterricht bereitstellen, sei es durch die unmittelbaren Erfahrungen, die zu einem vor-formalen Verständnis führen können, durch ein zurückgewonnenes Selbstvertrauen in Bezug auf naturwissenschaftlich-technische Probleme oder (nur?) durch die Erfahrung, daß die Beschäftigung mit solchen Fragestellungen Freude bereiten kann.

Vieles von dem, was in diesem Artikel vielleicht zwischen den Zeilen als das Erfolgsrezept der Science-Zentren herauszulesen war, ist in der Pädagogik seit langem bekannt. So formuliert bereits J. Locke (1632-1704): "Nichts dringt bis zu unserem Verstand vor, was nicht zuvor von unseren Sinnen wahrgenommen worden ist." Comenius (1592-1670) schreibt: "Nicht der Schatten der Dinge, sondern die Dinge selbst, welche auf die Sinne und die Einbildungskraft Eindruck machen, sind der Jugend nahezubringen. Mit realer Anschauung, nicht mit verbaler Beschreibung der Dinge muß der Unterricht beginnen. Aus solcher Anschauung entwickelt sich sicheres Wissen." [17]. Erinnert sei auch an Pestalozzi, für den die Anschauung das absolute Fundament allen Erkennens war.

Vielleicht kann ein Erinnern an diese Forderungen auch den Physikunterricht ein Stück weit aus der Krise herausführen.

Anmerkungen und Literatur

- [1] Vgl. Daumenlang, K.: *Physikalische Konzepte junger Erwachsener*. Erlangen-Nürnberg, 1969 und Born, G./Euler, M.: "Physik in der Schule". In: *Bild der Wissenschaft*, 1978, Nr. 2, S. 74-81
- [2] Dengler, R.: "Einstellung zur Physik". In: *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik*, 6. Jg., Nr. 3, S. 25-29
- [3] Nach wie vor herrscht Unklarheit über die treffende Bezeichnung für die Exponate von Science-Zentren. Vorgesprochen wird u. a. Exhibit, Experiment, interaktives Exponat, Phänomentum, Plore, Station.
- [4] Vgl. Lührs, O.: "Von der Urania zum SPECTRUM". In: *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik*, 7. Jg. Nr. 4, S. 10-13
- [5] Kükelhaus, H. und zur Lippe, R.: *Entfaltung der Sinne*. Frankfurt/M., 1982
- [6] Die ausführlichen Ergebnisse sind in Fiesser, L.: *Anstiften zum Denken – die PHÄNOMENTA* (Flensburg 1990) veröffentlicht.
- [7] Diamond, J.: "The Behavior of Family Groups in Science Museums". In: *Curator*, Vol. 29 (1986), Nr. 2, S. 139-154
- [8] Graf, B. und Treinen, H.: *Besucher im technischen Museum*. Berlin, 1983. S. 125
- [9] ebd. S. 126
- [10] ebd. S. 129
- [11] Stevenson, J.: "The long-term impact of interactive exhibits". In: *International Journal of Science Education*, Vol 13 (1991), Nr. 5, S. 529
- [12] ebd.
- [13] M. Junge untersuchte den Einfluß von Phänomenta-Experimenten auf schulisches Lernen. Dabei befragte er Schüler und Schülerinnen nach ca. 4 Monaten über die Experimente, die über einen Zeitraum von 14 Tagen in der Schule aufgestellt waren. Er stellte fest, daß sich sehr viele Schüler und Schülerinnen an die Experimente und deren Details erinnerten und daß sie in der Lage waren, die zu der Zeit gemachten Erfahrungen und gelernten Zusammenhänge wiederzugeben.
- [14] Feher, E.: "Interactive museum exhibits as tools for learning: explorations with light". In: *International Journal of Science Education*, Vol. 12 (1990), Nr. 1, S. 35-49
- [15] ebd., S. 47
- [16] Tuckey, C.J.: "Schoolchildren's Reactions to an Interactive Science Center". In: *Curator*, Vol. 35 (1992), Nr. 1, S. 36
- [17] zit. nach Schöler, W.: *Geschichte des naturwissenschaftlichen Unterrichts*. Berlin 1970, S. 23