

## **Eigenständiges Arbeiten in Workshops**

*Seit 2002 veranstalten der PhysikClub der Kinder- und Jugendakademie, der Astronomische Arbeitskreis Kassel e.V. und die Albert-Schweitzer-Schule sechstägige Workshops über aktuelle und fachübergreifende Themen aus Naturwissenschaft und Philosophie.*

*70% der Teilnehmer/innen sind besonders interessierte und begabte Jugendliche zwischen 15 und 20 Jahren. Unter den Erwachsenen sind sowohl fachlich hochqualifizierte Naturwissenschaftler als auch besonders begabte und interessierte Laien. Diese bunte Mischung arbeitet eigenständig mit Hilfe eines Moderators in die verschiedenen Aspekte des Workshop-Themas ein.*

*Einige der Workshops, insbesondere der über Quantenmechanik, werden ausführlicher beschrieben, als Anregung zur Nachahmung, vielleicht auch zu inhaltlich anspruchsvoll gestalteten Studienfahrten, die bei einem entsprechenden Freizeitprogramm auch ausreichenden unterhaltenden Charakter haben. Die beschriebene Methode eignet sich aber auch für schulische Arbeitsgruppen oder auch im Einsatz bei projektorientiertem Unterricht.*

### **1. Astronomie und Physik auf einer Berghütte**

Erste Erfahrungen mit der Organisation gemeinschaftlichen Lernens und Arbeitens ergaben sich aus den sog. „Alpenfahrten“ des Astronomischen Arbeitskreises Kassel.

In den letzten 20 Jahren fuhren (überwiegend erwachsene) Mitglieder des Astronomievereins mehrmals für 6 Tage auf eine hochgelegene Berghütte und beschäftigten sich in Arbeitsgruppen mit Beobachtungsaspekten der Astronomie. Die Arbeitsgruppen wurden von Studenten geleitet und waren noch sehr auf Wissenstransfer ausgelegt, aber auch schon auf eigene praktische Tätigkeiten der Teilnehmer/innen. Zahlreiche große Fernrohre und Montierungen, später auch Computer und CCD – Kameras wurden mitgebracht und in großer Höhe aufgebaut und für die praktische Tätigkeit eingesetzt.

Anknüpfend an die positiven Erfahrungen, die aus der Mitorganisation der „Internationalen astronomischen Jugendlager“ stammen, die in entsprechender Form heute immer noch jährlich veranstaltet werden, gab es schon bei diesen „Alpenfahrten“ kommunikative Strategiespiele und eine ganztägige „Outdoor“ – Aktion (damals eine Hochgebirgswanderung oder Kletter- und Abseilübungen).

Nach einer längeren Pause, die sich durch das nachlassende Interesse der bisherigen (erwachsenen) Teilnehmer ergab, konnte 2002 durch Einbeziehung der Jugendlichen aus dem gerade gegründeten PhysikClub eine ausreichende Schar von hochmotivierten Teilnehmern gewonnen werden, mit deutlich erhöhtem Anteil von Jugendlichen.

Auf der Bielefelder Hütte (2400 m Höhe, bei Oetz) gab es in den Herbstferien 2002 einen Workshop über Astronomie und Kosmologie, bei der noch nach der Struktur der Alpenfahrten Studenten und Doktoranden Arbeitsgruppen anboten.

Die Arbeitsgruppen waren:

- Beobachtung von Galaxien mit einer CCD-Kamera
- Bildbearbeitung mit einer Webcam
- Programmierung neuronaler Netze
- Positionsbestimmung und Bau einer Sonnenuhr
- Fotografie in Kunst und Wissenschaft, Astrofotografie mit Film
- Bau eines Spektroskops und Spektralanalyse astronomischer Objekte
- Kosmologie
- Einführung in die Beobachtungen des Sternenhimmels

## 2. Evolutionäre Systeme: Die Struktur der Workshops entsteht

Im Mai 2004 fuhren wir dann für 6 Tage mit 34 Personen zum ersten Mal in das Haus Sonnenfels bei Lichtenstein in der schwäbischen Alb.

Das Haus bietet Platz für ca. 40 Personen (der Workshop wird also nicht durch andere Gäste gestört, eine sehr wichtige Voraussetzung für das Entstehen einer guten Arbeitsatmosphäre), hat zahlreiche Räume für die Arbeitsgruppen und einen mit modernen Medien ausgestatteten Hörsaal. Eine große Wiese mit Fußballplatz und Beachballfeld sowie ein Wildwasserbach mit abenteuerlicher Überquerungsmöglichkeit laden zur körperlichen Aktivität in den Arbeitspausen ein. Bei schlechtem Wetter überbrücken ein Billardspiel, Tischtennis und Tischfußball die Freizeit.

Im PhysikClub war gerade das Thema „Netzwerktheorie“ in Form von kleinen Forschungsgruppen bearbeitet worden. Dabei spielte auch die Entwicklung von Netzwerken und evolutionäre Mechanismen eine Rolle. Deshalb sollte dieses Thema vertieft und auf viele Fächer erweitert werden. Somit war der Workshop auf die Behandlung evolutionärer Systeme ausgelegt.

Die Teilnehmer/innen wählten sich in feste Arbeitsgruppen ein, die mit Hilfe von ausgegebenem Material sich eigenständig in die entsprechende Thematik eingearbeitet haben. Leitfragen und Arbeitshinweise erleichterten die Gliederung des Stoffes und das Erfassen der Inhalte.

Es gab die folgenden Arbeitsgruppen:

- Zelluläre Automaten
- Philosophisch Bewertungen
- Genetische Algorithmen
- Die Bedeutung der Information
- Kosmische Evolution
- Geistige Evolution
- Spencer-Browns Laws of Form und der Informationsbegriff
- Leben und künstliches Leben

In regelmäßigen Plenumsveranstaltungen unterrichteten sich die Arbeitsgruppen gegenseitig über den Stand ihrer Erkenntnisse und diskutierten gruppenübergreifende Aspekte.

Diese Form des Zusammenführens der verschiedenen Arbeitsgruppen hat sich nicht unbedingt als optimal herausgestellt, da durchaus die ein oder andere längere Monologisierung zu Ermüdungserscheinungen bei den Zuhörern führte.



Die Darstellung von Arbeitsergebnissen, Thesen und Anregungen an einer Pinwand war dagegen eine weitere gut genutzte Möglichkeit der Kommunikation über die Gruppengrenzen hinweg.

Der erste Abend des Workshops wurde durch einen Vortrag von Prof. Dr. H. Ruder aus Tübingen gestaltet, der gekonnt und motivierend anspruchsvolle Aspekte der kosmischen Evolution darstellte und so einen übergreifenden Ansatz als Input in die Arbeit lieferte.



Auch bei diesem Workshop gab es wieder eine Reihe von nichtfachlichen Aktionen:

- In kleinen Gruppen wurde eine kleine nicht ausgebaute Höhle befahren. Für jeweils 45 Minuten lernten die Teilnehmer/innen eine ihnen bislang fremde Welt unter Tage kennen.
- Als Kommunikationsspiel wurde eine Abwandlung des bekannten „Space Tower Spiels“ angeboten: Es musste aus einer begrenzten Menge von Papier unter bestimmten einschränkenden Regeln und Konstruktionsanweisungen eine Rollbahn gebaut werden, auf der ein Tischtennisball möglichst lange unterwegs war.

### **3. Workshop „Was ist Zeit?“**

Das Thema des nächsten Workshops 2005 war durch das Einsteinjahr beeinflusst, es ging um philosophische und relativistische Aspekte des Zeitbegriffs.

Auch dieser Workshop fand für 6 Tage in Lichtenstein statt. Erneut hielt Prof. Ruder einen Vortrag, diesmal mit den von ihm und seinem Team produzierten Simulationen zu relativistischen Effekten („Was Einstein gern gesehen hätte...“).

Eröffnet wurde der Workshop aber durch einen Besuch in einer benachbarten kleinen Schauhöhle, in der die Teilnehmer bei absoluter Dunkelheit und Stille isoliert voneinander eine besondere Erfahrung von Zeit machen sollten. Danach wurden subjektive Phänomene der Zeitwahrnehmung von einem Psychologen vorgeführt und erläutert.

Ansonsten aber wurde die Arbeitsstruktur beibehalten, auch bei diesem Workshop blieben die Teilnehmer in festen Arbeitsgruppen. Die Plenumsveranstaltungen wurden aber etwas anders organisiert. Es gab kleine Aufgaben für die einzelnen Teams, die jeweils ein Vertreter der Arbeitsgruppe dem Plenum erläutern sollte. Das war etwas spannender, wenn auch die vorgegebene Redezeit nicht immer eingehalten wurde. Gerade für die Jugendlichen aber war (und ist es) eine wichtige Erfahrung prägnant und zielorientiert vor einem Fachplenum einen Sachverhalt darstellen zu müssen.

Besonderen Anklang fand die Darstellung der Philosophiegruppe, deren Mitglieder in die Rolle berühmter Philosophen und Naturwissenschaftler schlüpften und in einer die Kulturgeschichte übergreifenden Podiumsdiskussion den Zeitbegriff erörterte.

Trotzdem zeigte sich auch hier nach mehreren Plenumsveranstaltungen eine gewisse Ermüdung, die zu einer neuen Arbeitsform beim nächsten Workshop führte. Der Ablauf des Workshops wird an der Zusammenstellung der Arbeitsaufträge (Tasks) deutlich:

*Arbeitsaufträge für die AGs:*

*Jede der Arbeitsgruppen erhält drei Aufgaben (Tasks), die während des Workshops gelöst werden sollen. Zu den Aufgaben gibt es Literatur und Hilfsmittel. Die Aufgaben selbst sind weitestgehend auf die Mitglieder der AGs ausgerichtet.*

*In regelmäßigen Abständen werden die Lösungen dem ganzen Plenum präsentiert (maximal in 15 Minuten). Dadurch erhält jeder Teilnehmer weitgehende Übersichten über die Zeitproblematik. Ein Teil der Aufgabe ist es also, das erarbeitete Wissen für andere darzustellen. Dadurch werden die Plenumssitzungen ein Informationspool für alle.*

*Der Umfang der Aufgaben ist so gestellt, dass auch genügend Zeit für freie Gespräche bleibt.*

AG 1: Die Richtung der Zeit

*Task 1: Veranschaulichen von Entropie und Information mit Hilfe eines Papierstapels, Vergleich der Einheiten Bit und Carnot für die Entropie.*

*Task 2: Das zerplatzte Ei: Warum kann die Ordnung in unserem Kosmos überhaupt abnehmen? Dazu: Sterne und Menschen als Entropieerzeuger, Urknall als niederentropischer Zustand*

*Task 3: Die Verletzung der Zeitumkehrsymmetrie durch die CPT – Verletzung bei Kaonen*

AG 2: Zeit ist relativ

*Task 1: Zeitdilatation und die Relativität der Gleichzeitigkeit mit Minkowski – Diagrammen soll dargestellt werden.*

*Task 2: Das Prinzip der maximalen Eigenzeit soll erläutert werden.*

*Task 3: Die Illusion des Jetzt in der Raum-Zeit: Die Relativität der Gegenwart*

AG 3: Die gekrümmte Raum-Zeit

*Task 1: Zeige, dass an gekrümmten Flächen der Winkelüberschuss mit der Fläche des Dreiecks wächst.*

*Task 2: Bau eines Modells für eine Wurmloch – Zeitmaschine*

*Task 3: Zeitmessung im Gravitationsfeld: Das Modell der rotierenden Scheibe*

AG 4: Der Anfang der Zeit

*Task 1: Eine räumliche Darstellung einer Zeitreise zum Urknall*

*Task 2: Wieso kann eventuell der Planck – Satellit eine Zeit vor dem Urknall nachweisen?*

*Task 3: Was versteht man unter einem „Universum ohne Rand“?*

AG 5: Zeitquanten

*Task 1: Was bedeutet eine Quantelung von Raum und Zeit?*

*Task 2: Wie entsteht die Zeit im Modell der Quanten – Loop – Gravitation?*

*Task 3: Die Vergangenheit ausradieren: delayed choice - Experimente an Gravitationslinsen*

AG 6: Zeit zum Philosophieren

*Task 1: Aufführung eines Streitgesprächs zwischen Kant und Leibniz über die Zeit*

*Task 2: Zerstört ein freier Wille die Möglichkeit von Zeitreisen?*

*Task 3: Ist das Jetzt eine Illusion?*

Die Teams erhielten beim Workshop Infomaterial (Artikel aus Spektrum der Wissenschaft, Auszüge aus populären Büchern und aus Fachbüchern) und Material für die jeweilige Präsentation, sowie weitere Hilfen durch den Moderator. Recherchen im Internet waren möglich und erwünscht, aber auch die Entwicklung eigener Ideen und Fragen zu den Tasks.

Eine weitere Möglichkeit, sich über die Thesen der anderen Gruppen zu informieren war die Zeitwand:

Ihre Bedeutung wird aus der Ankündigung sichtbar:

*„Was ist Zeit?“ ist unsere zentrale Frage. Jede Idee zu einer Beantwortung, jede wissenschaftliche Erkenntnis und jede fantasievolle Äußerung soll fortwährend an einer immer umfangreicher und komplexer werdenden Wand dargestellt werden. An einem Abend werden wir uns besonders dem Aufbau der Zeitwand widmen und über Zeit ins Gespräch kommen.*

Erneut gab es auch zwei nichtfachliche Aktionen:

- Betreut durch ein Expertenteam befuhren wir eine der größten deutschen aktiven Wasserhöhlen, bei der die Teilnehmer sogar durch einen Siphon tauchen mussten. Wenn vielleicht mancher der Teilnehmer bei den Themen der Arbeitsgruppen nicht an (kognitive) Grenzen gestoßen war, so machte jeder in dieser Höhle eine Grenzerfahrung, entweder bei der Überwindung der Ängste oder durch den Entschluss, nicht zu tauchen und vor dem Siphon umzukehren. Viele aber liefen für viele Stunden durch das teilweise bis zum Hals reichende eiskalte Wasser und tauchten zweimal durch den Siphon, denn raus aus der Höhle wollten schließlich alle.
- An einem der Abende musste eine Flugmaschine gebaut werden, die bei möglichst langer Flugzeit aus vorgegebener Höhe ein rohes Ei unzerstört auf den Boden befördert. Das Baumaterial (Gelbe Säcke, Seile, Papier, Klebstoff) war auf die einzelnen Gruppen aufgeteilt und musste durch Tauschverhandlungen unter den Gruppen, je nach Bauplan und Idee, nach einem festgelegten Währungssystem eingekauft und verkauft werden.

Die nichtfachlichen Aktionen dienen einmal dazu, körperliche Grenzerfahrungen zu machen und dabei möglichst über die eigenen Grenzen zu gehen. Die Strategiespiele fördern Kommunikation und gruppenspezifische Erfahrungen und sind nicht selten Anlass zu anschließenden beratenden Gesprächen.

#### **4. Workshop: Die Welt der Quanten**

Zum vierten Mal in Folge fand 2006 ein Workshop statt. Manche der Teilnehmer haben an allen vorherigen Workshops teilgenommen, aber nur ca. ein Drittel der Teilnehmer fluktuiert. Deshalb müssen auch die Freizeitangebote variiert werden. So stand 2006 nicht eine Höhlenbefahrung im Zentrum der Outdoor-Aktion, sondern ein Geländestrategiespiel, bei dem neben einer Tageswanderung die Gruppen gemeinsam eine Strategie zum Abseilen an einem 100 m hohen Kalkfelsen überlegen und durchführen mussten (natürlich unter den wachsamen Augen von Profikletterern). Hierbei und bei der gemeinsamen Überquerung eines



„Wildwasserflusses“ mit Seilen, Leitern oder anderen zu „kaufenden“ Hilfsmitteln war wieder Teamarbeit und gruppeninterne Kommunikation gefragt. Natürlich musste auch ein „Goldschatz“ in einer kleinen (schlammigen) Höhle gesucht werden, ganz ohne Höhlenbefahrung kann man einen Workshop in der schwäbischen Alb einfach nicht durchführen.....



Für die Neulinge unter den Teilnehmern gab es erneut ein Bastelspiel, es musste eine Achterbahn mit zweifachem Looping für einen Billardball konstruiert und aus Bastelpapier gebaut werden.

Da viele der Teilnehmer auch musikalisch interessiert sind und Instrumente (teilweise bis zur Konzertreife) spielen, formierte sich an zwei Abenden ein kleines Workshop-Orchester.

Am Eröffnungsabend hielt Nobelpreisträger Prof. Dr. v. Klitzing einen Vortrag über die Bedeutung der Quantenmechanik in der Nanoelektronik. Prof. Dr. H. Ruder hielt am nächsten

Abend einen spezielleren Vortrag über quantenmechanische Effekte bei der Aufspaltung von Spektrallinien in den starken Magnetfeldern von Neutronensternen.

Beiden Wissenschaftlern ist es gelungen, die Motivation zu schaffen, auf der dann an den folgenden Tagen die eigenständige Beschäftigung mit der Quantenmechanik aufbauen konnte. Deswegen sind solche Inputs von Außen ganz wichtige Aspekte für die Gestaltung eines Workshops. Während am Einführungsvortrag die Bedeutung der Quantenmechanik für aktuelle Entwicklungen der Nanotechnologie sichtbar wurde, gab der Vortrag von Prof. Ruder einen Einblick in die Arbeit der Grundlagenforschung.

Die eigenständige Beschäftigung mit der Quantenmechanik stellte nun eine besondere Herausforderung an die Planung.

Konnten bei den früheren Workshops die Themen ohne große Vorbereitung erarbeitet und die Aufgaben bewältigt werden, so benötigt man für die Quantenmechanik doch gewisse Grundlagen und Begriffe, um sich mit ihren Phänomenen auseinanderzusetzen.

Da die meisten der Teilnehmer Jugendliche der Klassen 10 bis 12 sind, lassen sich Grundkenntnisse über Wellenfunktionen und quantenmechanische Zustände nicht voraussetzen.

Trotzdem sollte nicht ständig ein Informationsinput gegeben werden, außerdem war geplant, die Plenumsveranstaltungen aus oben erwähnten Gründen noch weiter zu reduzieren.

Deswegen wurde ein Konzept entwickelt, bei dem die Teilnehmer nicht mehr in einer festen Gruppe blieben, sondern jedes neue Thema in einer anderen Gruppenzusammensetzung bearbeiteten. Dadurch konnten die unterschiedlichen Inhalte verschiedener Gruppen in den nächsten Themen mit



einfließen, es entstand eine Art „Gruppenpuzzle“, das die Vernetzung der Teilnehmer ohne zentrale Plenumsveranstaltung förderte. Die Themenfolge selbst sollte einen individuellen Lehrgang von einführenden Fragestellungen bis zu komplexen Anwendungen ermöglichen.

Aus den Wünschen der Teilnehmer wurden für jeden Themenbereich 7 bis 8 AGs zusammengestellt. Einführende Literatur hierzu wurde schon vorher an die Teilnehmer verschickt, aber auch die Einwahl selbst erforderte schon eine gewisse Einsichtnahme in die Fragestellungen.

Jede AG bekam dann wieder speziellere Literatur, die sie mit Hilfe einer vorgegebenen Fragestellung durchgearbeitet und besprochen hat.

Außer der ersten AG-Sitzung begannen alle anderen AG – Sitzungen mit einer Aufgabenstellung aus dem letzten Themenbereich, die die aus unterschiedlichen AGs kommenden Teilnehmer der neuen Gruppe gemeinsam lösen und besprechen sollte. Dadurch wurden die verschiedenen Schwerpunkte der unterschiedlichen Lehrgänge des letzten Themenbereichs zusammengeführt und grundlegende Aspekte des Themas herausgearbeitet.

Am Ende einer Gruppensitzung wurde dann von jeder Gruppe wieder eine zentrale These auf der im Aufenthaltsraum hängenden Pinwand festgehalten. Wie sich herausstellte ein nicht unbedeutender, durchaus angenommener Vernetzungs- und Informationsaspekt, bei dem interessante Begriffserklärungen und Zusammenfassungen entstanden. Am Ende des Workshops gab es nur ein gemeinsames kurzes Plenum, an dem viele Teilnehmer noch einmal unter der Aufforderung: „Was ich nicht verstanden habe, jetzt aber doch erklären kann“ zentrale Erkenntnisse herausstellten.

In dieser Fragestellung des Abschlussplenums äußert sich eine der zentralen Thesen des Workshops: Die Quantenmechanik ist in der Lage, Vorgänge im Mikrokosmos (und nicht nur dort) zu erklären, d.h. auf wenige grundlegende Axiome und Rechenverfahren zurückzuführen. Ein Verständnis ist aber nicht möglich. Verstehen bedeutet, einen Sachverhalt in unserer Anschauung, die sich nur auf klassische Erfahrungen beschränkt, zu erfassen und mit Hilfe unserer in der klassischen Welt entstandenen Sprache zu beschreiben. Dies kann nicht gehen, da klassische Eigenschaften aus quantenmechanischen Wirkungen entstehen, die mit unserer Sprache erfassbaren klassischen Größen wie Ort und Impuls also emergente Eigenschaften einer Quantenwelt sind.

Einige ungewöhnliche, aber aussagekräftige Thesen von der Pinwand sind im folgenden dargestellt:

- „Ist die Welt noch determiniert? Antwort: 1. ja 2. nein ja 3. ja nein 4. nein“

- „Das EPR-Paradoxon ist kein Paradoxon“

- „Individualität: Je mehr Wechselwirkungen ein Objekt mit seiner Umgebung hat, desto individueller wird es.“

- „Ein Volleyball ist die lokalisierte Eigenschaft eines Volleyballfeldes“

- „Löscht sich ein Photon im Mach-Zehnder-Interferometer aus? Nein, denn das Photon kommt auf Grund der stochastischen Verteilung nie im Minimum an.“

- „Sind Teilchen die interpretierten Orte des Geschehens?“

- „Unbestimmtheitsbeziehung: Wenn  $\Delta x$  klein ist, bekommt das Objekt Teilcheneigenschaften, es entsteht kein Interferenzmuster. Wenn  $\Delta p$  klein ist, bekommt das Objekt Welleneigenschaften, es entsteht ein Interferenzmuster.“

- „Die Quantenphysik ist der hochbrisante neuzeitliche Impuls zu einem Paradigmenwechsel! Sie ist damit fundamental bewusstseins- und weltbildverändernd wirksam. Sie löst das gewohnte jahrtausend alte 'naive' antike Materie-Alltags-Konstrukt auf und erweitert/bereichert es um gänzlich neue mikrokosmische Realitäten.“

Es gab 6 Sitzungen zu den Oberthemen, 5 von ihnen waren mit 3 Zeitstunden, eine mit 6 Zeitstunden angesetzt. Zu diesen 21 Stunden kommen noch 4 Stunden Vorträge und zwei Stunden Plenumsitzungen. Insgesamt wurde also an den vier „Arbeitstagen“ des Workshops ca. 27 Zeitstunden (36 Schulstunden) an quantenmechanischen Themen gearbeitet. Solche Workshops sind für die Teilnehmer also eine sehr arbeitsintensive Zeit.

Im folgenden ist die Ankündigung der AGs abgedruckt. Die dann wirklich ausgewählten und durchgeführten Arbeitsgruppen sind mit kleinen Einführungstexten versehen. Die Auflistung soll eine Anregung dafür geben, mit welchen Themen sich Jugendliche eigenständig über Quantenmechanik informieren können. Eine Angabe von möglichen Quellen für die Informationstexte folgt.

*Jeder der Teilnehmer/innen sollte einen Weg durch die Quantenmechanik gehen. Der Weg selbst ist unbestimmt, er besteht aus der Überlagerung verschiedener Möglichkeiten. Am Ende des Weges gibt es eine Lokalisierung, d.h. alle befinden sich auf einer Position und tauschen vor dem Beginnen neuer individueller Wege ihre Erfahrungen und Informationen aus.*

*Das hört sich kompliziert an, ist es aber nicht, eben so wie die Quantenmechanik. Es erspart uns aber langwierige Plenumsveranstaltungen, an denen wir uns in einer Großgruppe gegenseitig über unsere Arbeit in Kenntnis setzen, was letztlich nur sehr oberflächlich und auch ermüdend sein kann.*

*Deshalb wird folgendes Prinzip im Workshop durchlaufen:*

*Es gibt 6 Arbeitsgruppensitzungen, die jeweils zu einem Themenbereich gehören. Zu jedem dieser Themenbereiche gibt es ca. 10 verschiedene mögliche Schwerpunktthemen, aus denen insgesamt 8 nach erfolgter Einwahl angeboten werden. Jede(r) Teilnehmer/in wählt sich schon vor Beginn des Workshops (sonst ist es organisatorisch nicht zu bewältigen) in einen der Schwerpunktthemen ein (und das für alle Themenbereiche). Dann wird in der Gruppensitzung in Kleingruppen von 3...4 Personen das jeweilige Schwerpunktthema bearbeitet.*

*Die jeweils folgende Arbeitsgruppensitzung beginnt dann mit einer kurzen Aufgabe oder Problemstellung zum letzten Themenbereich, die in 30 bis 60 Minuten von der neuen Gruppe (die schon für das nächste Schwerpunktthema zusammengesetzt ist) bearbeitet bzw. besprochen wird. In der Regel werden in dieser neuen Gruppe Personen aus unterschiedlichen früheren Schwerpunktthemen dieses Themenbereichs sein und das Problem somit unter verschiedenen Aspekten beleuchten und diskutieren.*

*Danach wendet sich die Gruppe dem neuen Themenbereich zu und bearbeitet gemeinsam das nächste Schwerpunktthema, für die sie sich zusammgefunden hat. Die nächste Arbeitsgruppensitzung beginnt wieder zu einer Aufgabe zu dem gerade abgehandelten Themenbereich.*

*Material, Informationen, aber auch Kurzreferate zu den Schwerpunktthemen werden bereitgestellt, Internetrecherchen könne durchgeführt werden. Die Erarbeitung erfolgt aber weitgehend eigenverantwortlich und eigenständig, mit Hilfe eigener Vorkenntnisse, des ausgegebenen Materials und durch Unterstützung eines Moderators. Die mit (\*) versehenen Themen stellen höhere, teils mathematische, Anforderungen.*

*Philosophische Fragestellungen kommen in jedem Themenbereich vor, ein ganzer Themenbereich ist der philosophischen Hinterfragung gewidmet.*



*Inhaltlicher Ablauf des Workshops und Folge der Themenbereiche:*

**Einführungsvortrag:** Prof.Dr. v.Klitzing  
„Ein Quantensprung in die Nanoelektronik“

## **Themenbereich 1 : Grundlegende Ideen und Prinzipien der Quantenmechanik**

Schwerpunktthemen:

### 1.1 Welle oder Teilchen? Keins von beiden!

Die Begriffe Welle und Teilchen stammen aus unserer Alltagserfahrung. Quanten gibt es im Alltag nicht, sie sind aber diejenigen Bauteile der Natur, die sich mal so verhalten, dass wir sie mit dem Wellenbegriff und mal mit dem Teilchenbegriff beschreiben können. Die Verbindung der beiden Vorstellungen erfolgt über die Interpretation der Welle als Wahrscheinlichkeitswelle, die die Wahrscheinlichkeit für die Lokalisation eines Quantenobjektes angibt, dabei aber kein Element der Realität ist.

### 1.2 Die Wahrscheinlichkeitsinterpretation der Psifunktion $\psi(x,t)$ .

### 1.3 Prinzipien der klassischen Mechanik und die Übertragung auf die Quantenmechanik (Hamilton) (\*)

### 1.4 Der Doppelspalt: Interferenz mit vielen und mit einzelnen Objekten

Ein Doppelspalt verteilt Quanten zufällig so, dass wir die Verteilung mit der Interferenz zweier Wellen beschreiben können. Es ist also falsch, von der „Interferenz eines Photons mit sich selbst“ zu sprechen.

### 1.5 Wellenpakete, Wellen und stehende Wellen: Beschreibung von beobachtbaren, freien und eingesperrten Objekten

### 1.6 Etwas was es nicht gibt: Der Dualismus Welle – Teilchen

### 1.7 Grundkonzepte der Quantenmechanik: Wahrscheinlichkeit und Überlagerung

### 1.8 Grundkonzepte der Quantenmechanik: Verschränkung von Mikroobjekten

Die Verschränkung von Quanten (an verschiedenen Orten lokalisierbare Quanten sind vor der Lokalisierung als ein Objekt aufzufassen) ist eines der Grundkonzepte der QM. Was versteht man darunter? Wieso widerspricht die Verschränkung unserem anschaulichen Objektbegriff?

### 1.9 Elektronium: Das Wellenmodell der Materie (\*)

### 1.10 Schrödingers Gleichung: Wellen unterwegs (\*)

Die Schrödinger Gleichung ist eine typische Differenzialgleichung, die die Ausbreitung von Wellen beschreibt. Die Krümmung der Wellen an einem Punkt (2. Ableitung nach dem Ort  $x$ ) ist proportional zur seitlichen Beschleunigung des Oszillators an diesem Punkt (erste Ableitung nach der Zeit).

### 1.11 Unbestimmtheitsbeziehung: Ort und Bewegung sind nicht existent!

Aus der Wellenbeschreibung von Quanten ergibt sich, dass Ort und Impuls eines Quants nicht gleichzeitig genau existieren (und somit natürlich auch nicht gleichzeitig genau messbar sind). Damit bewegen sich Quanten nicht längs irgendwelcher Bahnen. Bewegungskurven sind durch Wechselwirkungen entstehende emergente Eigenschaften der Makrowelt.

### 1.12 Ein Ausflug in den Hilbertraum: Ein mathematisches Konstrukt, das alles enthält, was man für die Quantenmechanik braucht (\*)

Zustände von Quanten kann man durch Vektoren beschreiben, die allgemeinen mathematischen Regeln gehorchen.

### 1.13 Stehende Wellen und Energiequantelung

### 1.14 Wellenpakete und die Unbestimmtheitsbeziehung

Arbeitszeit incl. Pausen: 3 Zeitstunden

## **Themenbereich 2 : Interpretationen der Quantenmechanik**

Bearbeitung einer Aufgabe zum ersten Themenbereich in neuer gemischter Gruppenzusammensetzung!

Charakterisiere die besonderen Eigenschaften von Quantenobjekten und stelle den Unterschied zu klassischen Objekten heraus.

Schwerpunktthemen:

2.1 Bohrs Kopenhagener Deutung

2.2 Einsteins Vorstellungen einer real existierenden Welt

Einstein geht von einer Welt aus, in der alle irgendwie messbaren Größen auch reale Bedeutungen haben. Für ihn haben Mikroobjekte Ort und Impuls im Sinne des Besitzens. Das aber ist laut Quantenmechanik falsch!

2.3 Gibt es Psi-Kräfte? Die Vorstellungen von Bohm

Bohm versucht durch eine Quantenkraft das zufällige Verhalten von Quanten determiniert zu beschreiben. Es gelingen aber keine über die Quantenmechanik hinausgehende Erklärungen.

2.4 Das Problem der Messung: Der nicht existierende Kollaps der Wellenfunktion

Wenn es mehrere mögliche Messergebnisse gibt, dann befindet sich ein Quant vor der Messung in einem Überlagerungszustand von Wellen. Bei der Messung müssen diese Wellen überall im Universum schlagartig verschwinden, da das Quant ja eine bestimmte klassische Eigenschaft erhalten hat. Diesen sog. Kollaps der Wellenfunktion versucht man inzwischen durch sehr schnelle Wechselwirkungen der Quanten mit der Umgebung zu beschreiben.

2.5 Paradoxien der Quantenmechanik: Schrödingers nicht ganz tote Katze und de Broglies Zauberkasten

Schrödingers Katze ist in einem Überlagerungszustand. Durch Wechselwirkung mit der Umgebung entsteht aber in extrem kurzer Zeit entweder eine tote oder eine lebendige Katze. Dies gilt auch für das berühmte Kastenexperiment. Schon während des Trennens der beiden Hälften ist ein klassischer Zustand durch Wechselwirkung des Elektrons mit der Umgebung eingetreten. Es war somit schon immer in der Kastenhälfte, in der es auch gefunden wurde.

2.6 Dekohärenz und die Entstehung der klassischen beobachtbaren Welt

Dekohärenz bedeutet der Verlust der Interferenzfähigkeit durch Wechselwirkungen. Es bilden sich stabile, lokale Zustände aus, die wir als klassische Welt beobachten.

2.7 Es gibt keine Trennung! Das Einstein-Podolski-Rosen-Paradoxon

1935 hat Einstein auf die seltsamen Eigenschaften von verschränkten Quanten hingewiesen. Es gibt keine Lokalisation verschränkter Objekte mehr. Heute akzeptieren wir dies als Grundeigenschaft der Quantenwelt und bauen Teleportationsgeräte, die die nichtlokalen Eigenschaften verschränkter Objekte ausnutzen.

2.8 Quantenmechanik kontra Klassik: Die Bellsche Ungleichung (\*)

Quantenmechanische Kopplung ist durch die Verschränkung etwas stärker als die Kopplung bei klassischen Objekten. Dies beschreibt die Bellsche Ungleichung, die begründet werden soll.

2.9 Feynman macht es anders, aber genial!

Durch die Pfadintegrale berücksichtigt Feynman alle möglichen Verbindungen zwischen zwei Zuständen. In der Quantenmechanik liefern auch die nichtklassischen Pfade einen möglichen Beitrag zur Wahrscheinlichkeit.

- 2.10 Warum die Quantenmechanik interpretiert werden muss: Der Unterschied zwischen „Verstehen“ und „Erklären“
- 2.11 Elektronium kontra Elektronen oder warum sich der Photoeffekt doch durch Lichtwellen erklären lässt.

Arbeitszeit incl. Pausen: 3 Zeitstunden

**Vertiefungsvortrag:** Prof. Dr. H.Ruder

„Quantenmechanik in den starken Magnetfeldern von Neutronensternen“

### **Themenbereich 3: Grundlegende Anwendungen der Quantenmechanik / Quantenmechanische Vorstellung von Kräften**

Bearbeitung einer Aufgabe zum zweiten Themenbereich in neuer gemischter Gruppenzusammensetzung!

Inszenierte ein kurzes „Streitgespräch“ zwischen den Anhängern verschiedener Interpretationen der Quantenmechanik.

Schwerpunktthemen:

3.1 Warum fällt das Elektron nicht in den Atomkern? Der Potentialtopf

3.2 Bosonen, Fermionen, Pauli-Prinzip und das Periodensystem der Elemente: Wer braucht schon Chemie, wenn's die Quantenmechanik gibt...

Da gleiche Quanten ununterscheidbar sind, müssen bei der Vertauschung zweier Quanten die Zustände unverändert bleiben. Deswegen gibt es nur symmetrische oder antisymmetrische Wellenfunktionen. Zu ihnen gehören die Kraftvermittlerquanten, die Bosonen, die beliebig gehäuft auftreten können und die Bauquanten der Welt, die Fermionen, die sich immer in mindestens einer Eigenschaft unterscheiden müssen. Durch diese Eigenschaft der Fermionen (Pauli-Prinzip) lässt sich der Aufbau des Periodensystems deuten.

3.3 Entartete Materie: Der Zustand von Weißen Zwergen als fünfter Aggregatzustand

Entartete Materie gehorcht dem Pauli-Prinzip. Dadurch sind Druck und Temperatur entkoppelt, das Eigengewicht eines weißen Zwerges wird somit nicht durch den Gasdruck sondern durch den Entartungsdruck getragen.

3.4 Was sind eigentlich Elementarmagnete und wie entstehen Ferro- und Paramagnetismus?

Elementarmagnete entstehen durch den Spin oder auch den Bahndrehimpuls der Elektronen. In einem äußeren Magnetfeld können diese kleinen Magnete ausgerichtet werden. Wird diese Ausrichtung durch die Kristallstruktur stabilisiert und verstärkt, spricht man vom Ferromagnetismus. Mit dünnen magnetischen Schichten arbeiten inzwischen viele Bauteile der Mikroelektronik. Ihre Arbeitsweise wird untersucht.

3.5 Warum die Sonne leuchtet: Der Tunneleffekt und die Radioaktivität

3.6 Energiebänder in Halbleitern: Ausflug in die Mikroelektronik

Durch die Wechselwirkung der Atome spalten die äußeren Energieniveaus in dicht beieinander liegende Niveaus auf („Bänder“). Bei Halbleitern sind diese Bänder so wenig voneinander getrennt, dass man die Leitfähigkeit leicht beeinflussen kann. Mit Hilfe der Energiebänder kann man die Bewegung von Löchern und Elektronen veranschaulichen und die Wirkung von Dioden und Transistoren deuten.

3.7 Es werde Licht! Die quantenmechanische Vorstellung von der Lichtentstehung

Vakuumfluktuationen treten in Wechselwirkung mit Atomen und lösen so einen Quantensprung eines angeregten Elektrons aus. Es tritt in ein tiefer liegendes Energieniveau

und gibt die überschüssige Energie als Photon ab. In metastabilen Niveaus ist diese Wechselwirkung mit dem Vakuum so gering, dass die Energieabgabe nur durch ein vorhandenes Photon angeregt werden kann (Lasereffekt).

### 3.8 Die Unbestimmtheitsbeziehung als Ausdruck der Fouriertransformation eines Wellenpakets (\*)

Die Wahrscheinlichkeitswelle für den Impuls ist die Fouriertransformierte der Welle, die den Ort beschreibt. Die Unbestimmtheitsbeziehung lässt sich also auf die Eigenschaften von Fouriertransformationen zurückführen.

### 3.9 Das Bosonen-Ball-Spiel: Wechselwirkungsteilchen beschreiben die Kräfte

Auch Felder haben gequantelte Energiezustände, die durch Feldquanten, Bosonen, beschrieben werden. Diese Bosonen stellen den Feldstoff dar und vermitteln die Kraft zwischen Ladungen.

### 3.10 Schwache Photonen und ein Super-Klebstoff

### 3.11 Quantenelektrodynamik: Elektrische Felder sind gequantelt

### 3.12 Quantenchromodynamik: Farbe im Atomkern

In der letzten Stunde: Neuzusammensetzung in den Gruppen für die vierte Arbeitsgruppensitzung!

Bearbeitung einer Aufgabe zum dritten Themenbereich in neuer gemischter Gruppenzusammensetzung!

Nenne und charakterisiere Erscheinungen der Quantenmechanik in Alltag, Technik und Umwelt und wie binden wir sie in unser klassisches Verständnis der Welt ein?

Arbeitszeit incl. Pausen und zwei Gruppenaufgaben: 6 Stunden

## **Plenum: Einblick in eine andere Welt! Das neue Weltbild der Quantenphysik**

Gespräche und Diskussionen

Dauer: 1 Stunde (danach wird die ganztägige Outdoor-Aktion durchgeführt)

## **Themenbereich 4: Moderne Aspekte der Quantenmechanik**

Schwerpunktthemen:

### 4.1 Experimente mit einzelnen Photonen: Können Photonen sich selbst auslöschen?

Wenn man die Intensität eines Lichtstrahls soweit reduziert, dass immer nur ein Photon in der Versuchsanordnung sein kann, treten trotzdem typische Beugungsbilder auf, allerdings nur, wenn man die Orte der Photonen über einen langen Zeitraum registriert. Dachte man früher noch, dass Taylor 1909 das erste Experiment dieser Art gelungen war, so wissen wir inzwischen durch unsere JuFo-Bundessieger dass Interpretationen von Ein-Photonen-Experimenten mit thermischen Lichtquellen das gehäufte Auftreten (bunching) von Photonen im thermischen Licht berücksichtigen müssen.

### 4.2 Das Bose-Einstein-Kondensat und der Atomlaser

Bei extrem tiefen Temperaturen können Atome in einen gemeinsamen Quantenzustand gehen und einen kohärenten Atomstrahl erzeugen, dessen Eigenschaften mit denen eines Lasers vergleichbar sind, nur bei extrem kürzeren Wellenlängen. Damit werden quantenmechanische Zustände makroskopisch sichtbar.

### 4.3 Scotty, beam me up: Die Quanten-Teleportation

Die Verschränkung von Photonen ermöglicht die Übertragung von Eigenschaften über große Distanzen, wobei aber immer noch eine klassische Information weitergegeben werden

muss, also nicht ganz so wie beim Beamen im Raumschiff Enterprise. Nicht der Körper, nur die Seele kann gebeamt werden, falls überhaupt jemals so komplexe Strukturen teleportiert werden können.

#### 4.4 Geheime Botschaften übertragen: Quantenkryptographie

Die Verschränkung ermöglicht auch abhörsichere Informationsverschlüsselung, zumindest gestattet sie die eindeutige Erkennung eines Spions im Nachrichtenkanal.

#### 4.5 Rechnen mit Eis: Der Quantencomputer

#### 4.6 Der Quanten – Hall –Effekt

#### 4.7 Laser und gequetschtes Licht

#### 4.8 Quantenbits: Wie funktioniert ein Quantencomputer? Quantenalgorithmen: Schneller, aber nur manchmal...

Ein Quantencomputer benutzt Überlagerungszustände und kann somit alle möglichen Ergebnisse gleichzeitig darstellen. Leider kann nur ein Zustand ausgelesen werden. Trotzdem gibt es Algorithmen, bei denen ein Quantencomputer von unschätzbarem Wert wäre.

#### 4.9 Was sind Quantenbits und warum ist Klonen verboten?

#### 4.10 Experimentelle Philosophie: Messungen entscheiden, was wir denken dürfen

#### 4.11 Der Casimireffekt: leerer als leer

Das Vakuum ist eine Substanz, die aus virtuellen Fermionen und Bosonen besteht. Schränkt man das vorhandene Volumen ein, können sich nicht mehr alle Zustände ausbilden und die Leere des Raumes verstärkt sich.

#### 4.12 EPR Experimente: Tests der Nichtlokalität

#### 4.13 Das Quantenradiergummi

#### 4.14 Ist das Interpretationsproblem der Quantenmechanik gelöst?

Arbeitszeit incl. Pause: 3 Zeitstunden

### **Themenbereich 5: Von der Quantenwelt zur sichtbaren Welt**

Bearbeitung einer Aufgabe zum vierten Themenbereich in neuer gemischter Gruppenzusammensetzung!

Welche Erkenntnisse der Quantenwelt werden unser Leben in der Zukunft in Alltag und Technik bestimmen?

Schwerpunktthemen:

#### 5.1 Bohrs Philosophie: Das Korrespondenzprinzip

#### 5.2 Das Prinzip der Dekohärenz

Vor 20 Jahren ist die Bedeutung von Wechselwirkungen für die Zerstörung interferenzfähiger, kohärenter, Zustände erkannt worden. Damit bietet sich eine Möglichkeit an, die Entstehung klassischer Strukturen mit Hilfe der Quantenmechanik beschreiben zu können.

#### 5.3 Nichts geht mehr: Der Quanten – Zeno – Effekt

Eine ständige Folge von Messungen verhindert, dass ein Quantensystem seinen Zustand ändert. Lassen sich so stabile klassische Zustände erklären?

#### 5.4 Das Märchen vom klassischen Grenzfall

#### 5.5 Der Kollaps der Wellenfunktion: Erzeugung klassischer Zustände?

Beim Übergang eines quantenmechanischen zu einem klassischen Zustand kollabiert die Wellenfunktion. Drückt das nur unsere neue Kenntnis über das Messergebnis aus oder steckt ein physikalischer Prozess dahinter?

#### 5.6 Die Umgebung tötet Schrödingers Katze

Ein Überlagerungszustand aus tot und lebendig kann nicht existieren. Damit wollte Schrödinger den Unsinn der quantenmechanischen Beschreibung zeigen. Heute wissen wir, dass das System (die Katze) selbst für einen der beiden klassischen Zustände sorgt: Nur tote Katzen könnten leben und lebende Katzen können sterben.

#### 5.7 Frag nie nach dem Weg! Wege als emergente Eigenschaften

#### 5.8 Realität und Wirklichkeit: Die klassische Welt ist konstruiert!

Vergeblich hat man versucht die quantenmechanische Welt durch klassische Physik zu erklären. Heute wissen wir, dass die uns erfahrbare klassische Welt ein Konstrukt der Wechselwirkung von Quanten ist.

#### 5.9 Bosonen und Fermionen als Bausteine der Welt

Bosonen haben den Spin 0 oder 1, Fermionen einen halbzahligen Spin. Deswegen gilt für Fermionen das Pauli-Prinzip und sie können komplexere Strukturen bilden. Letztlich aber steckt nur die Ununterscheidbarkeit gleichartiger Quanten dahinter. Welche verschiedenen Arten von Fermionen und Bosonen gibt es und wie werden sie durch das Standardmodell der Elementarteilchenphysik beschrieben?

#### 5.10 Sind Quantenfluktuationen die Keime der Strukturbildung im Kosmos?

Die Inflation des Kosmos hat wahrscheinlich zufällige Quantenfluktuationen auf makroskopische Größe ausgedehnt. Diese Strukturen beobachten wir als Fluktuationen der kosmischen Mikrowellenhintergrundstrahlung. Sind daraus die heutigen Strukturen (Galaxienhaufen) entstanden?

Arbeitszeit incl. Pausen: 3 Zeitstunden

### **Themenbereich 6: Philosophische, historische und gesellschaftliche Aspekte der Quantenmechanik**

Bearbeitung einer Aufgabe zum fünften Themenbereich in neuer gemischter Gruppenzusammensetzung!

Es werde klassisch! Aber wie??

#### Schwerpunktthemen:

#### 6.1 Das Streitgespräch Einstein-Bohr zur Deutungsproblematik

Immer wieder hat Einstein versucht Bohrs Vorstellung zu widerlegen. Dadurch ist es Einstein gelungen, Bohr zu einer halbwegs konsistenten und plausiblen Interpretation zu treiben, der Kopenhagener Deutung.

#### 6.2 Experimentelle Philosophie: Die Natur entscheidet was wir denken dürfen

Die Gedanken sind frei? Nicht mehr, denn philosophische Vorstellungen lassen sich naturwissenschaftlich widerlegen. Was halten Philosophen von dieser experimentellen Philosophie?

#### 6.3 Quantenmechanischer Zufall als Rettung für den freien Willen?

Das System Mensch folgt streng determinierten Naturgesetzen. Aber da unser Verhalten so komplex ist und unser Bewusstsein vom Gehirn generiert ist, meinen wir einen freien Willen zu haben. Die Illusion eines freien Willens erfordert aber eine determinierte Umgebung und kann deswegen nicht mit dem quantenmechanischen Zufall in Verbindung gebracht werden.

6.4 Die Foreman - Thesen: Der Einfluss der Weimarer Republik auf die Entstehung der Quantenmechanik

6.5 Schrödinger: Ist die Naturwissenschaft milieubedingt?

6.6 Wissenschaft als Kulturprodukt: Die Thesen von Kuhn, Lakatos und Feyerabendt

6.7 Das Einstein –Podolski – Rosen Paradoxon aus philosophischer Sicht

6.8 Historische Entwicklung der Quantenvorstellung: Von Planck zur Quanteninformation

6.9 Ausschluss von Individualität und Kausalität?

Individualität gibt es in der Quantenwelt nicht. Quanten sind ununterscheidbar. Quanten unterliegen auch nicht dem Kausalitätsprinzip. Individualität und Kausalität entstehen erst als emergente Eigenschaften der Quantenwechselwirkungen in einer makroskopischen Welt.

6.10 Ist die Welt noch determiniert?

Die makroskopische Welt muss determinierten Gesetzen folgen, sonst wäre eine Existenz von Leben in ihr nicht möglich. Aber Quantenprozesse unterliegen dem echten Zufall (das Ziehen der Lottozahlen ist determiniert!). Wie passt das zusammen?

6.11 Quantenmechanik in der Schule: Wer entstaubt die Lehrpläne?

6.12 Die Quantenmechanik als Herausforderung für die Philosophen

Arbeitszeit incl.Pausen: 3 Zeitstunden

**Abschlussplenum: Was ich nicht verstanden habe und was ich jetzt trotzdem erklären kann**

Dauer: 1 Stunde

## **5. Frischer Wind für die Workshops**

Für das Jahr 2007 wird die Lokalisation des Workshops geändert. Es geht mit ca. 40 Personen auf ein altes Drei-Masten-Segelboot. Die Teilnehmer sind die Mannschaft, sie müssen unter Anleitung des Kapitäns Segel setzen und steuern.

Das Thema des Workshops ist der Unterkunft angebracht: Es geht um Navigation.

Die klassischen astronomischen Navigationsmethoden und die Bedeutung der Zeitmessung für die Längenbestimmung werden erarbeitet. Aber auch das moderne GPS-System soll sowohl von der geometrischen Seite her als auch über die relativistischen Korrekturen verstanden werden. Natürlich interessieren auch Kinematik und Dynamik des Segelns, insbesondere beim Segeln gegen den Wind. Am Nachmittag werden vereinzelt Institute und Forschungseinrichtungen im Küstenbereich angelaufen und besucht.

## **6. „Hilf mir es selbst zu tun!“**

Die Workshops sind die konsequente Fortführung der Arbeitsmethode des PhysikClubs (siehe Bericht in Heft 12/05 von Spektrum der Wissenschaft). Der Wissenstransfer erfolgt durch Konstruktionsprozesse innerhalb einer Gruppe.

Dazu gibt es einen motivierenden Einstieg (Vortrag oder Selbsterfahrung wie beim Workshop über die Zeit) und dann offen formulierte Aufgabenstellungen. Das Material, welches notwendige Informationen enthält, wird zur Verfügung gestellt, aber nicht vorgetragen oder erläutert.

Die Gruppen besprechen eigenständig ihr Vorgehen, entwickeln Ziele und Schwerpunkte zur Aufgabenstellungen und organisieren den Informationsinput.

Die konstruktivistische Lehr-Lerntheorie zeigt, dass durch Gespräche und Dispute der Lernenden untereinander und mit einem Lernberater (hier der Moderator des Workshops) eine vertiefte und nachhaltige Beschäftigung mit den Inhalten erfolgt. Nur in wenigen Fällen

müssen die Gruppen darauf hingewiesen werden, dass die Informationen nicht in individueller Stillarbeit aufgenommen werden sollen, sondern möglichst sofort und während des direkten Inputs in Gesprächen hinterfragt und besprochen werden sollen.

Eine Absicherung des Wissens geschieht durch die Thesenformulierung für die Pinwand und die anschließende Erörterung in einer neuen Gruppe, deren Mitglieder zum Thema andere Informationen erarbeitet haben oder ganz traditionell in einer Plenumsveranstaltung. Ganz wesentliche Aspekte werden dann in einem kurzen abschließenden Plenum noch einmal herausgestellt.

Der Moderator steht in Fachfragen zur Verfügung, gibt Anregungen und hält sich ansonsten zurück (da ein Moderator für 8 Gruppen zuständig ist, funktioniert diese Zurückhaltung zwangsläufig). Zur Eigenständigkeit der Gruppen gehört untrennbar auch die Eigenverantwortung für die Gestaltung des gruppeninternen Lernprozesses.

Das Loslassen des „Lehrers“ führt zum Festbeißen der „Schüler“ an den physikalischen Fragestellungen. Bewusst sind im letzten Satz die schulischen Attribute Lehrer und Schüler benutzt worden. Die eigenständige Konstruktion von Wissen in kleinen Lernteams sollte eigentlich nicht mehr die Ausnahme sondern Alltag in unseren Schulen sein.

Aber bis dahin bedarf es mehr als eines Quantensprungs.....

## **7. Literatur zu den Workshops**

Für die beiden Workshops über Zeit und Quantenmechanik haben sich viele in Spektrum der Wissenschaft erschienene Artikel als ideal für den Informationsinput gezeigt.

Zu den angesprochenen Themen findet man auch gute, für begabte Jugendliche geeignete, Abschnitte in den folgenden Büchern:

Silvia Arroyo Camejo Skurille Quantenwelt , Springer, 2006

Jürgen Audretsch Verschränkte Quanten , Wiley-VCH, 2002

Tony Hey, Patrick Walters Das Quantenuniversum, Spektrum Akademischer Verlag, 1998

Brian Greene Das elegante Universum, Siedler Verlag Berlin, 2000

Markus Pössel Das Einstein Fenster, Hoffmann und Campe, 2005

Paul A. Tipler, Gene Mosca Physik , Spektrum Akademischer Verlag, 2004