

Evolution des Universums

– BigBang Theory –

MAYR, FLORIAN

FLORIAN_MAYR@STUD.SBG.AC.AT

Zusammenfassung

Der nachfolgende Text beschäftigt sich mit Schülervorstellungen, Lehrplanbezug, Unterrichtsmöglichkeiten zum Thema Evolution des Universums mit dem Hauptaugenmerk auf die Entstehung und Expansion.

1 Einleitung

Dieser Text soll einen kurzen Überblick über die Interessen von Schülern im Bezug auf Kosmologie geben. Ebenfalls werden Schüler-/ Erwachsenen - Vorstellungen zur Entstehung des Universums vorgestellt. Woher weiß man was im Urknall geschah und Schulmodelle zum Thema Expansion.

2 Das Thema in der Schule

Warum soll das Thema in der Schule durchgenommen werden? Die Wichtigkeit eines Themas für den Schulunterricht stellt sich für mich aus drei Punkten zusammen:

- Lehrplan und Bildungsstandards
- Interesse der Schüler
- Interesse der Lehrer



Abbildung 1: Befragung (GfK Austria)

Im Jahr 2009 wurde zum Darwin Jahr 1500 Erwachsene befragt „Was ihrer Meinung nach, Schüler in der Schule über die Entstehung der Welt lernen sollen“. 62% der Befragten sind für die Vermittlung zweier Vorstellungen, eine naturwissenschaftliche Theorie und eine religiöse/theologische Deutung die sich einander ergänzen können.[siehe Abb.1]. Bei der Antwort „die Welt wurde von einem göttlichen Schöpfer geschaffen“ stimmten 21% mit Ja. Dies bedeutet, dass immerhin 21% der Befragten der Meinung sind, dies sollten die Schüler in der Schule über die Entstehung der Welt lernen. 63% der Befragten stimmten mit Nein, der Rest enthielt sich.

2.1 Interessensforschung

Das Interesse der Schüler an physikalischen Inhalten zum Thema Kosmologie unter dem Kontext Kosmologie ist laut einer Umfrage (Kahnt, 2009) überdurchschnittlich hoch.

Ebenfalls für das Thema Kosmologie in Schule spricht die ROSE Studie (The Relevance of Science Education,2010). Das Interesse der befragten Schülern aus Österreich und Deutschland ist laut dieser Studie bei den Themengebieten Kosmologie und Humanbiologie am größten.

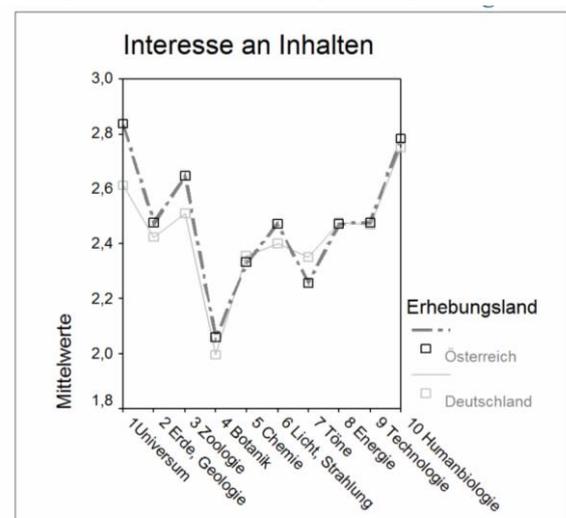


Abbildung 2: Interesse an Inhalten (ROSE,2010)

Ebenfalls für Astronomie im Unterricht spricht, dass alle drei Interessentypen von Schülern gleichermaßen an Astronomie Interessiert sind. (Elster D., 2009)

Typ 1: Die Interessierten M:B=1:1 (wobei M:B das Verhältnis Mädchen zu Buben darstellt) Dieser Interessentyp ist überdurchschnittlich interessiert an allen naturwissenschaftlichen Inhalten unabhängig vom Kontext

Typ 2: Bubenprofil M:B=1:4 Interessiert an Themen der Technologie, Gesundheit „young body“, Weltraum. Nicht interessiert an Mystik und Wunder

Typ 3: Mädchenprofil M: B=4:1

Interessiert an Gesundheit und Fitness, „young body“, Mystik, Weltraum, Gesellschaftsbezug. Nicht interessiert an Technik Technologien, Alltagsnutzen

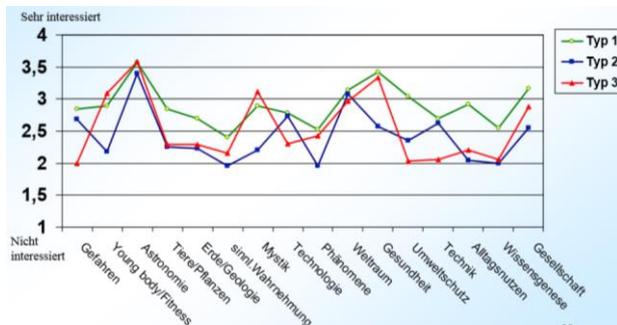


Abbildung 3: Interessenstypen

Die Schlussfolgerung für den Unterricht ist also [Elster D., 2009]

- Mädchen und Buben haben unterschiedliche Interessen an naturwissenschaftlichen Kontexten und Inhalten.
- Die Herausforderung für den Unterricht besteht darin, das situale Interesse zu fangen („catch“) und so lange zu erhalten („hold“), dass individuelles Interesse zur Auseinandersetzung mit den Naturwissenschaften (in weiterbildenden Schulen, Studien und Berufen) entsteht.
- Ein möglicher Zugang ist die verstärkte Kontextorientierung z.B. durch die Verbindung von technischen Anwendungen in humanbiologischen und/oder astronomischen Kontexten.

2.2 Lehrplanbezug

Im AHS Lehrplan der Oberstufe für Physik findet man viele Punkte die sich gut mit dem Thema Urknall verknüpfen lassen.

Laut Lehrplan sollten im Unterricht folgende Punkte durchgemacht werden.

- Vermittlung eines Konzeptes von Raum und Zeit
- Universelle Gültigkeit von Naturgesetzen
- Naturgesetze und deren Grenzen

Für die 5. Und 6. Klasse finden sich folgende Punkte:

- Größenordnungen im Mikro und Makrokosmos kennen
- Unsere Stellung im Universum einschätzen können
- Verständnis für Planetenbewegung

Für 7. und 8. Klasse:

- Einblicke in das Weltbild der modernen Physik
- Einblicke in die Struktur von Raum und Zeit
- Aufbau und Entwicklung des Universums
- Entwicklungsprozesse von Weltansichten zur modernen Kosmologie

2.3 Schülervorstellungen

Antworten von Schülerantworten zur Frage: „Wie seht ihr den Anfang und die Entwicklung des Universums“.

Es zeigte sich, dass viele Schüler dabei die Urknalltheorie ins Spiel bringen, aber, dass dieser Urknall nicht notwendigerweise für die Schüler einen „absoluten“ Beginn darstellt. (Hansson u. Redfords, 2006)

50% der Befragten Schüler verstehen unter dem Begriff Urknalltheorie: Eine Theorie, die den Beginn des Universums beschreibt. Von diesen stellen sich weitere 80% eine Explosion aus vorgebildetem Material vor. (Prather, Slater u. Offerdhal, 2002)

Nachfolgend sind Schülerantworten (11./12. Schulstufe) zum „Anfang der Welt“ angeführt. (Praxis der Naturwissenschaft 2010, 5/59, S.34-37)

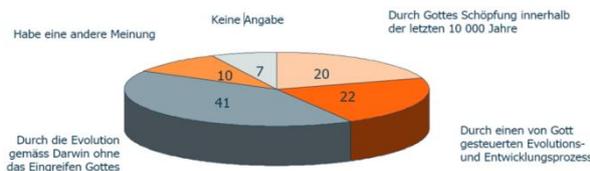
- „Ich glaube, dass Gott die Welt erschuf. Weil ich nicht glauben kann, dass sich aus nichts Materie gebildet haben soll und das gesamte Universum aus einem „Urknall“ entstanden sein soll und das Leben einfach so auftauchte. Außerdem glaube ich kaum, dass sich aus einem Kleinstlebewesen ein Mensch entwickeln kann mit so komplexen Dingen wie z.B. das Auge. Ich finde es daher einfacher an Gott zu glauben.“
- „Ich selber weiß nicht genau, an was ich glaube. Manchmal denke ich, wie es die Physik beschreibt also, dass das Universum durch den Urknall entstanden ist, nicht sein kann. Ich denke dann, es muss ein „höheres Wesen“ bzw. Gott das Universum erschaffen haben. Natürlich nicht wie es in der Bibel steht. Manchmal aber eher selten denke ich, dass es auch einfach aus dem Nichts entstanden ist.“
- „Meiner Meinung nach kann die Welt nicht auf einen Schlag entstanden sein. Ich denke, dass Prozesse, die über Millionen Jahre andauern haben, die Welt nach und nach haben entstehen lassen. Von der Schöpfungsgeschichte der Bibel halte ich wenig.“
- „Das Universum ist zeitlos. Es besteht schon immer und wird auch immer bestehen. Allerdings verändert es sich natürlich im Lauf der

Zeit. Doch es wird nie ganz verschwinden. Ich glaube an die Urknall-Theorie und daran, dass sich das Universum immer weiter ausdehnt. Ich denke aber auch, dass es sich irgendwann wieder zusammenzieht, bis es schließlich zu einem weiteren Urknall kommt. Des Weiteren glaube ich, dass es, wie es viel Sonnensysteme, Galaxien, etc. mehrere Universen geben muss. Da ein Sonnensystem wie ein Atom aufgebaut ist, könnte ich mir sogar vorstellen, dass die Universen zusammen etwas größeres sind...“

2.4 Vorstellungen der Bevölkerung

Eine Umfrage der GfK (Marktforschungsunternehmen) zur Frage: Wie denken Sie, sind das Universum, die Erde und das Leben entstanden? Auf diese Frage haben von den 500 befragten Erwachsenen 41% mit „Durch die Evolution gemäß Darwin ohne das Eingreifen Gottes“, 22% mit „Durch eine von Gott gesteuerten Evolutions- und Entwicklungsprozess“, 20% „Durch Gottes Schöpfung innerhalb der letzten 10000 Jahre“ geantwortet. Die restlichen 17% sind anderer Meinung oder machen keine Angaben.

Fragestellung: Wie denken Sie, sind das Universum, die Erde und das Leben entstanden, ist das ...?



Angaben in %

Abbildung 4: Vorstellungen der Bevölkerung (GfK Austria)

2.5 Woher weiß man eigentlich was während des Urknalls geschah?

Die Frage könnte genauso von Schülern an die Lehrperson gerichtet sein. Aber was soll man darauf antworten und was weiß man tatsächlich und woher kommen die gängigen Theorien?

Grundlage für die Urknalltheorie liefen Beobachtungen, Computersimulationen, Experimente und Theorien. Aus diesen vier Grundbausteinen entwickelt sich jede Theorie und auch die des Urknalls.

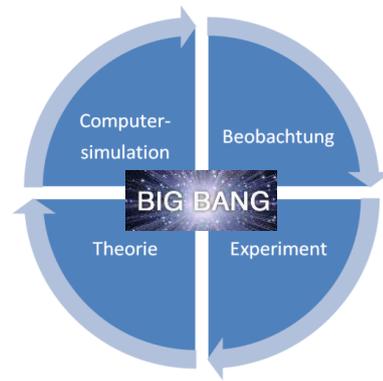


Abbildung 5: Kreislauf der Theorieentwicklung

Beobachtung: Gewinnung von Daten aus Astronomie und Astrophysik z.B.: Messung von Gammastrahlung.

Computersimulation: Darunter versteht man die praktische Anwendung der „Theorie“ und die Visualisierung unter verschiedenen Annahmen.

Experimente: Aus der Grundlagenforschung wie sie beispielsweise in Teilchenbeschleunigern im CERN gemacht werden.

Theorie: Aus schon vorhandenen Theorien werden neue entwickelt. Die Allgemeine Relativitätstheorie, Thermodynamik, Quantenphysik bilden die Grundlagen vieler weiterer Theorien und auch die Urknall Theorie.

So kann mithilfe der Relativitätstheorie auf die Kosmische Expansion und das Alter rückgeschlossen werden. Beobachtung und Messungen von sich entfernenden Galaxienhaufen unterstützen dies.

Um die Vorgänge in den ersten Sekundenbruchteilen nach dem Urknall verstehen zu können, dienen Experimente aus Teilchenbeschleunigern und Beobachtungen des Quark-Gluon-Plasmas. Die Theorie der Hochenergie Teilchenphysik steht dabei zur Beschreibung der Vorgänge im Hintergrund.

Aus der Urknall-Theorie konnten viel „Annahmen“ gemacht werden.

- Expansion des Universums
- Kosmische Hintergrundstrahlung
- Neutrino Hintergrund
- Dunkle Energie
- Kosmische Inflation

Bestätigt wurden diese „Annahmen“ durch Messungen:

- Vermessung der Hintergrundstrahlung
- Supernova Helligkeit
- Galaxienhaufen
- Eigenschaften von Sternen
- Materialverteilung

• Elementhäufigkeiten
Schwierigkeiten bei Messungen und Beobachtungen im Kosmos:

- Das beobachtbare Universum ist für uns einmalig und nicht von „außen“ zu beobachten
- Wir können nicht mit dem Kosmos experimentieren und es unter modifizierten Bedingungen betrachten
- Wir können unser Universum nicht mit anderen Universen vergleichen (falls es die gibt)
- Wir kennen nur einen winzigen Ausschnitt des Universums, von dem wir nicht wissen wie repräsentativ er ist

Jedoch hat auch die Urknall-Theorie ihre Schwächen. So kann diese Theorie auf folgende Fragen keine ausreichende Antwort liefern:

- Was hat die Expansion verursacht?
- Warum ist das Universum in alle Richtungen gleichförmig?
- Woher kommen die winzigen Temperaturunterschiede der kosmischen Hintergrundstrahlung?
- Warum gibt es $\sim 10^{80}$ Elementarteilchen?

Um auf diese Fragen eine Antwort zu finden muss die Theorie erweitert werden. So kann beispielsweise die ursprüngliche Theorie mit dem Inflationsmodell erweitert werden.

Das Inflationsmodell ist jene Erweiterung der ursprünglichen Theorie des Urknalles, welche zurzeit am Meisten Zuspruch findet. Das Inflationsmodell beschreibt das „Aufblähen“ des Universums mit extrem hoher Geschwindigkeit unmittelbar nach seiner Entstehung. Das Modell hat Gültigkeit ab der Planckära (10^{-43} Sekunden nach dem Urknall). Erst ab diesem Zeitpunkt wird/kann von Raum und Zeit gesprochen werden. Im Modell von Alan Guth setzt die Inflation nach 10^{-35} s ein und das Universum verdoppelt sich auch alle 10^{-35} s.

Es gibt natürlich viele verschiedene Möglichkeiten wie eine Theorie erweitert werden kann. Jedoch braucht jede Erweiterung einer Theorie erneut Messungen und Beobachtungen die diese unterstützen und kräftigen. (Vaas, 2009)

2.6 Weitere Theorien zum „Anfang“

- Absoluter Anfang
- Big Bounce
- Gleichförmige Vergangenheit
- Zeitschleife
- Stady-State

Anmerkung: Schüler sollen die verschiedenen Theorien vergleichen (z.B.: in Gruppenarbeit). Verschiedene Sichtweisen wie Religion, Metaphysik und klassische Modelle (BigBang, StadyState,...) miteinander vergleichen.

3 Möglichkeiten im Physikunterricht

3.1 Expansionsmodell: von Gummiband über Luftballon zu Rosinenkuchen

Zu Beginn sollte man den Schülern klarmachen, dass wir uns das Weltall über einen riesigen Bereich ansehen (einige hundert Millionen Lichtjahre), hier macht sich der systematische Effekt der Kosmische Expansion bemerkbar.

Wir vernachlässigen die lokale Schwereanziehung. Das Universum ist mit gleichmäßig verteilten, sich voneinander entfernenden Galaxien aufgefüllt. (Pössel M.,2009)

Wir beginnen zur Erklärung mit dem einfachsten Modell, nämlich dem **Gummibandmodell**:

Dieses Modelluniversum besitzt nur eine Raumdimension und wird mittels eines Gummibandes (Thera-Band) mit aufgeklebten Galaxien (Eurostücke) dargestellt. Zieht man nun an den Enden des Bandes entfernen sich die Eurostücke voneinander.

Wichtig ist, wie sich die Euro-Galaxien voneinander entfernen: alle Abstände verändern sich um denselben Faktor, genau wie die kosmische Expansion.

Aus diesem Effekt lässt sich der Hubbel-Effekt ableiten: je weiter der Abstand zwischen zwei Galaxien bereits ist, umso schneller nimmt er in einem gegebenen Zeitintervall zu. Oder, aus unserer eigenen Sicht als Beobachter, die auf einer der Galaxien sitzen: je weiter eine Galaxie von uns entfernt ist, umso schneller wächst die Entfernung zwischen uns und dieser Galaxie.

Einen gravierenden Nachteil des Gummibanduniversums bilden die Ränder (des Bandes). Bei seiner kosmischen Expansion spielen die Ränder, an denen ich das Gummiband schließlich auseinanderziehe, eine wichtige Rolle! Beides ist im Vergleich mit den tatsächlichen kosmologischen Modellen irreführend, denn dort hat das Universum keinen Rand.

Die Grundlage für das nächste Modell ist ein **Luftballon**, auf dessen Oberfläche Euro-Galaxien geklebt sind. Bläst man den Luftballon auf, entfernen sich die Galaxien wieder um einen Faktor voneinander (Kosmische Expansion). Das Ballonuniversum bildet unser dreidimensionales Universum ohne Rand.

Grundlage der modernen kosmologischen Modelle ist die Annahme, dass alle Orte im Weltall

gleichberechtigt sind, und dass es keinen vor allen anderen ausgezeichneten Ort und insbesondere keinen Mittelpunkt gibt. Aber der dreidimensionale Luftballon hat einen ganz klaren Mittelpunkt, im Luftraum in der Ballonmitte. Nur ist dies nicht der Mittelpunkt des Modelluniversums, denn das (dreidimensionale) Universum wird in diesem Modell allein durch die (zweidimensionale) Ballonoberfläche repräsentiert. Der Mittelpunkt des dreidimensionalen Gebildes "Luftballon" ist ein Teil der Einbettung des Modelluniversums, und diese Einbettung inklusive des Ballonmittelpunkts muss man sich wegdenken. [Pössel M.,2009]

Das Modell des **unendlich großen Rosinenkuchens**:

Dieses Modell ist dreidimensional (Wie das wirkliche Universum). Der Teig ist dabei der dreidimensionale Raum und die Rosinen sind Galaxien. Ein unendlich ausgedehnter Rosinenkuchen, dessen Teig während des Backvorgangs aufgeht → Die Rosinen bewegen sich in einem gegebenen Zeitraum um den gleichen Faktor auseinander, wie bei der Kosmischen Expansion.

Da der Rosinenkuchen unendlich groß ist hat er keinen Rand und keinen Mittelpunkt (alle Rosinengalaxien sind gleich → ein Beobachter auf einer Rosine würde sehen wie der Abstand zu den anderen Rosinen immer größer wird)

Die Ausdehnung ist hier eindeutig kein äußerer Effekt: Im Gegensatz zum Gummiband, an dessen Ende gezogen wird, oder der sich durch inneren Luftdruck blähenden Luftballonhaut dehnt sich hier in der Tat der Raum (der Teig) aus.

Nachteil bei diesem Modell ist einerseits die Analogie zwischen Raum und Teig. Da in Wirklichkeit dieser Raum zwischen den Galaxien (fast) leer ist und im Rosinenkuchenmodell eben Teig ist. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass sich das Modell nicht nachbauen lässt im Vergleich zu Gummiband und Luftballon.

Letztendlich, und das ist nicht überraschend, sollte man sich alle drei Modelle anschauen, um einen zutreffenden Eindruck von der kosmischen Expansion zu erhalten.

3.2 Expansionsmodell [Kahnt 2010]

Das Schulmodell von Kahnt besteht aus drei Stufen:

- Anhand der beobachtbaren Phänomene (Galaxienflucht) wird explizit ein einfaches Explosionsmodell postuliert. Konsequenz des Modells (Abschätzung eines Alters für das

Universum) wie auch Grenzen und Unzulänglichkeiten (ohne Gravitation) werden erarbeitet.

- Das einfache Explosionsmodell wird unter Berücksichtigung von Gravitation verfeinert (Newton'sche Kosmologie). Die Grenze dieses (und damit auch des vorherigen) Modells äußert sich vor allem in der Illusion des absoluten Raumes.
- Die Aufgabe des absoluten Raums mündet in die Erarbeitung von Wesenszügen der Speziellen und Allgemeinen Relativitätstheorie. Durch die Universalität der gravitativen Wirkung zeichnet Einstein ein Bild der Welt, in dem die Masse alle raumzeitlichen Vorgänge mitbestimmt- und damit letztlich die "Bühne" formt, auf der alle physikalischen Vorgänge ablaufen. Die Frage nach der Zukunft des Universums ist damit letztlich die Frage nach der Dynamik dieser „Bühne“

3.3 Möglichkeiten und Grenzen der physikalischen Methode am Beispiel der Kosmologie

Ein Konzept für die Schule von R. Berger u S. Korte veröffentlicht in Praxis der Naturwissenschaften (PdN-PhiS 6/58, 2009)

Das Unterrichtskonzept beinhaltet Möglichkeiten und Grenzen physikalischer Methoden am Beispiel der Kosmologie.

Methodische Grenze: z.B.: Natur der Naturwissenschaften

Physikalische Grenze: z.B.: Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit

Technologische Grenze: z.B.: Auflösung von Teleskopen

Für diese Methode haben Sie vier Unterrichtsstunden geplant:

Entwicklung des Universums (2 Schulstunden)

- Planeten, Sterne und Galaxien als sichtbare Objekte
- Rotverschiebung
- Expansion des Raumes nach Einstein

Ausgangspunkt ist die Frage: Besteht das Universum ewig (weitgehend unveränderlich) oder hat es einen Anfang und ein Ende?

Der Weg führt von Hubble über Einstein zur Urknall Theorie:

Hubble:

- Die Expansion wird verdeutlicht durch die Rotverschiebung der Galaxienspektren.
- Die Räumliche Verteilung wird anhand maßstabgetreuer Modelle dargestellt.

- Betrachten verschiedener Spektren mit Handteleskop
- Vergleich mit Galaxienspektren, je weiter eine Galaxie entfernt, desto größer die Rotverschiebung

Einstein:

- Dynamische Vorstellung von Raum und Zeit
- Gummibandexperiment/Rosinenkuchenmodell/Fußball

Big Bang:

- Rückschluss auf einen Anfang
- Verdeutlichen verschiedener Standpunkte der Physik (Grenzen)

Die zweite Doppelstunde, unter dem Thema Methodische Grenzen, wurde folgend gestaltet:

Grenzen der physikalischen Methode (2 Schulstunden)

- Merkmale der physikalischen Methode
- Methodische Grenzen
- Aspektcharakter der Physik

Drei Schritte die zum Ziel führen sollen:

- Empirisch physikalische Erkenntnisse müssen prinzipiell nachprüfbar sein
- Die Physik verzichtet daher auf Aussagen über den Zweck, da sie empirisch nicht nachprüfbar sind
- „All“-Sätze - Die nicht Verifizierbarkeit liegt darin begründet, dass wir die ganze Welt ab-suchen müssten, um es zu überprüfen

Unterrichtsmethode:

Erarbeitung im Gruppenpuzzle: Expertengruppen u. Stammgruppen - Unterschiedliche Positionen zur „Ursache der Existenz des Universums“

- Die Richtigkeit der Positionen kann nicht entschieden werden (Methodische Grenzen).
- Mithilfe der Physikalischen Methode könne Zwecke nicht erkannt werden.
- Zur Veranschaulichung wird hier das Projektionsmodell angewendet.

Projektionsmodell:

Im ersten Schritt ist lediglich die achteckige Tischplatte für die Schüler sichtbar.

Dieses Bild soll die physikalische Methode Versinnbildlichen. Man erkennt den Sinn und Zweck des Gegenstandes nicht, nur Physikalische Größen könne erhoben werden. Dies ist für die Schüler wichtig zu begreifen.

Im zweiten Schritt wird das rechte Bild sichtbar gemacht. Nun wird für die Schüler sichtbar Welchen Zweck der Gegenstand erfüllt, den eines Tisches.

Beide Projektionen/Bilder symbolisieren Sichtweisen. Keinen davon ist falsch oder richtig. Sie sollen sich gegenseitig ergänzen.

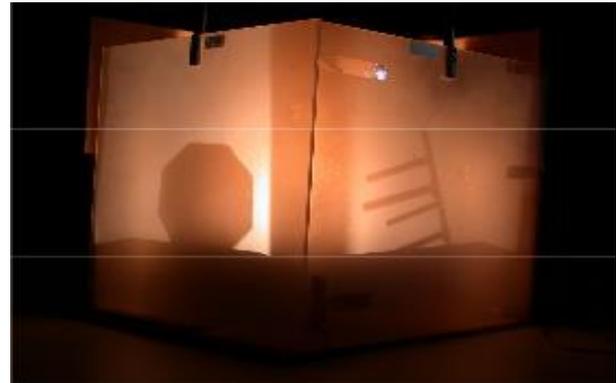


Abbildung 6: Projektionsmodell (PdN-PhiS 6/58, 2009)

Ein Kommentar der Autoren zum durchgeführten Unterricht:

„Die Schüler fanden großes Interesse an der Beobachtung von Spektren mittels Handspektroskop und der Veranschaulichung der Expansion des Raumes mittels Gummibandmodell.“

Der Zeiträumen wurde als sehr knapp bezeichnet und sollte erhöht werden.“

3.4 Weitere Ideen für die Schule

Tagebuch des Universums:

Es gibt viele verschiedene Grafiken, die das Alter und die Ausdehnung des Universums chronologisch darstellen. Dabei kann das Alter durch verschieden Werte beschrieben werden, wie durch die Zeit t [s], die Temperatur T [K] oder der Energie $[J]$ [siehe Abb.8].

Wo bin ich im Universum?

	Name: Florian Mayr
	Straße: Hartmannweg 2
	Ort: Hallein
	Staat: Österreich
	Land: Europäische Union
	Planet: Erde
	Sternsystem: Sonnensystem
	Galaxie: Milchstraße
	Galaxiengruppe: Lokale Gruppe
	Galaxienhaufen: Virgo-Haufen
Multiversum: Universum	

Abbildung 7: Postkarte eines Aliens

Die Daten können/sollen je nach Schulstufe angepasst werden.

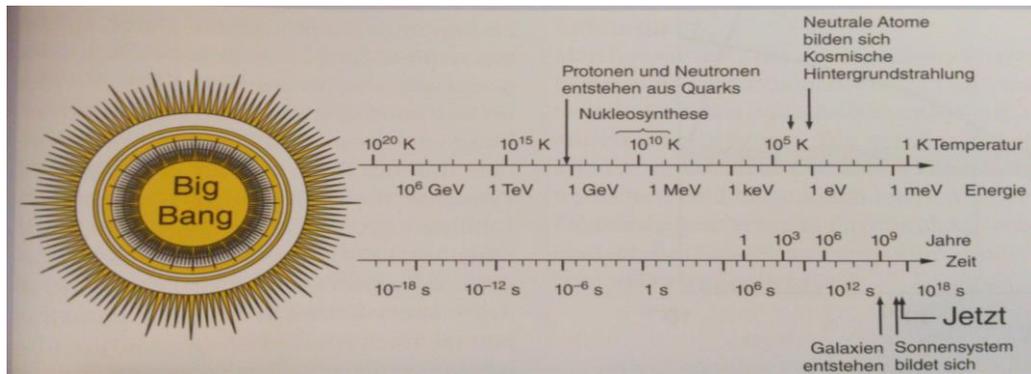


Abbildung 8: Temperatur und Energie im expandierenden Universum als Funktion der Zeit (PdN-PhiS 6/58, 2009)

Das Universum in einem Jahr:

Jänner 1	Big Bang
5	Erste Sterne entstehen
20	Erste Galaxien entstehen
März	Die Milchstraße entsteht
Sept.	Das Sonnensystem entsteht Sonne, Planeten, Mond
Okt.	Erster Ein-Zellenorganismus
Nov	Erster Mehr-Zellenorganismus
Dez. 19	Die ersten Tiere
20	Wirbeltiere
22	Landpflanzen
24	Amphibien
26	Reptilien
27	Dinosaurier
28	Dinosaurier sterben aus
31	23:50 Uhr die ersten Menschen

(eintragen in einen Zeitstrahl)

4 Literatur

- Pössel M. (2009), Kosmische Expansion: Gummiband oder Rosinenkuchen?, <http://www.scilogs.de/relativ-ein-fach/kosmische-expansion-zwischen-gummiband-und-rosinenkuchen/> (22.01.2015)
- Diehlmann, K. (1992). Evolutionsprozesse des Universums und Weltanschauung der Schüler. In: K. H. Wiebel (Hrsg.), Zur Didaktik der Physik und Chemie: Probleme und Perspektiven (S. 241-243). Alsbach: Leuchtturmverlag
- Kahnt, M. & Thesing, A. (2010). Schülervorstellungen zur Kosmologie. In: D. Höttecke (Hrsg.), Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik (S. 263-265). Münster: LIT-Verlag.
- Kahnt, M. (2009). Kosmologie im Physikunterricht der Oberstufe. In: D. Höttecke (Hrsg.), Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung (S. 86-88). Münster: LIT-Verlag.
- Vaas R., Hawking S. (2009), Hawking's Kosmos einfach erklärt. Franckh Kosmos Verlag
- Oberhammer H. (2008), Kann das alles Zufall sein. Goldmann Verlag
- Blaschitz C. (2011), Schülervorstellungen zu Evolution und Schöpfung-ein Beitrag zur Didaktischen Rekonstruktion, Diplomarbeit Uni Wien, http://othes.univie.ac.at/14915/1/2011-06-08_0504854.pdf (01.12.2014)

- Berger, R. & Korte, S. (2009) Möglichkeiten und Grenzen der physikalischen Methode am Beispiel der Kosmologie, Praxis der Naturwissenschaften Physik
- Dr. Elster, D. (2009) Was interessiert Jugendliche an den Naturwissenschaften? Ergebnisse der ROSE-Erhebung, Österreichisches Kompetenzzentrum für Didaktik der Biologie, http://www.univie.ac.at/pluslucis/FBW0/FBW2008/Material/FBW_2008_Elster.pdf (01.12.2014)
- Bundesministerium für Bildung und Frauen, Lehrplan Physik Oberstufe, https://www.bmbwf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_neu_ahs_10_11862.pdf (20.01.2015)
- ROSE, (2010), <http://roseproject.no/> (14.03.2015)
- Praxis der Naturwissenschaften-Physik, 2009, Ausgabe 6/58.