

Determinismus-Vorstellungen bei Jugendlichen

Bernd Bühler*, Roger Erb⁺,

*Gymnasium Bad Waldsee, Döchtbühlweg 2, 88339 Bad Waldsee, ⁺Goethe-Universität Frankfurt am Main
Bernd.Buehler@ph-gmuend.de, roger.erb@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Mit der Quantenphysik ist der klassische Determinismus in der Physik überwunden worden. Die Autoren gehen in ihrer Studie der Frage nach, in wie weit dieses Weltbild der Physik in die Gesellschaft gedrungen ist, insbesondere, ob Jugendliche in der Schule mit diesen neuen Perspektiven in Berührung kommen.

Hier sollen zunächst kurz zwei Vorstudien vorgestellt werden. Demnach sind deterministische Vorstellungen bei Jugendlichen nicht für jeden Naturbereich gleichermaßen verbreitet. Der Makrokosmos ist nur für wenige Jugendliche determiniert, hier hat der Mensch einen wichtigen Einfluss, während der Mesokosmos für die meisten Jugendlichen streng determiniert ist, bis auf die klassischen Zufallsexperimente. Im Mikrokosmos kommen wieder vermehrt indeterministische Denkweisen ins Spiel.

Mit Hilfe eines Fragebogens mit fünfwertiger Rating-Skala soll eine Faktorenanalyse erstellt werden, die es erlaubt, genauere Aussagen zu den Vorstellungen Jugendlicher zum Thema Determinismus zu machen.

1. Die Rolle des Zufalls in der Physik

„Die Theorie liefert viel, aber dem Geheimnis des Alten bringt sie uns doch nicht näher. Jedenfalls bin ich überzeugt davon, dass der nicht würfelt.“ Fast jede Physikerin und jeder Physiker kennt diesen berühmten Ausspruch Einsteins, zumindest in der Kurzform „Gott würfelt nicht“.

Im 19. Jahrhundert dominierte die Vorstellung, dass das gesamte Universum als System gekoppelter Differentialgleichungen anzusehen war, die mit einmal angelegten Anfangsbedingungen die Entwicklung der Welt genau abzeichnen konnten.

Die Entstehung der Quantentheorie zu Beginn des 20. Jahrhunderts ließ aber mehr und mehr Zweifel an dieser Auffassung aufkommen. Photonen und Elektronen ließen sich nicht mehr in das enge Korsett des Determinismus einschnüren, sie verhielten sich „zufällig“. Determiniert sind nur die Wahrscheinlichkeiten, nicht aber die genauen Einzelheiten der Bewegung dieser Teilchen, die auch keine Teilchen im üblichen Sinne mehr sind.

2. Vorstellungen von Jugendlichen zum Determinismus

Es vollzog sich also ein Paradigmenwechsel und die Frage ist, in wie weit dieser Paradigmenwechsel bei den einzelnen Menschen angekommen ist. Wir wol-

len daher in unserer Studie erforschen, welche Vorstellungen insbesondere Jugendliche über die Vorgänge in der Natur haben, ob das neue Weltbild, das sich mittlerweile auch im Bildungsplan der Schulen etabliert, sich in veränderten Konzepten der Schülerinnen und Schüler wiederfindet.

Die bisherigen Arbeiten zu diesem Thema sind recht überschaubar. Insbesondere die Arbeitsgruppe um Komorek, die sich mit dem Unterricht zum deterministischen Chaos beschäftigt hat, erforschte auch die Vorstellungen von Oberstufenschülerinnen und -schülern zum Determinismus (siehe z. B. [1]). Eine sehr ausführliche Studie hat auch Martina Döhrmann veröffentlicht [2].

Im Folgenden werden zunächst Vorstellungen genannt, die gemäß der historischen Entwicklung vom klassischen zum quantenphysikalischen Weltbild zu erwarten sind:

- 1) Naiv deterministische Vorstellung der klassischen Physik, die eine Kalkulation der Zukunft einschließt.
- 2) Deterministische Vorstellung der klassischen Physik, die eine Kalkulation der Zukunft ausschließt.
- 3) Indeterministisches quantenphysikalisches Weltbild
- 4) Religiös geprägtes Weltbild, das letztlich einem göttlichen Wesen die Oberhand über alles Gesche-

hen in der Natur zuschreibt, auch mit der Möglichkeit, Naturgesetze zu durchbrechen („Wunder“).

5) In unserer Studie kam schließlich noch eine andere Sichtweise zum Vorschein, die den Menschen aus der Welt der Naturvorgänge heraushebt und ihm eine Hauptrolle im Geschehen der Natur gibt.

3. Die erste Vorstudie

Wir begannen unsere Untersuchung mit einem Fragebogen mit geschlossenem Antwortformat, den wir 69 Schülerinnen und Schüler der Klasse 12 eines Gymnasiums vorgelegt haben [3]. Er enthielt u. a. neun Fragen, die sich auf die Vorstellungen der Jugendlichen vom Ablauf der Natur bezogen. Als Beispiel sei die erste Frage zitiert:

Naturgesetze steuern Vorgänge in der Natur. Welche der folgenden Aussagen ist Deiner Meinung nach richtig? Entscheide Dich für eine!

- A. Die Naturgesetze bestimmen zwar den Verlauf vieler Vorgänge in der Natur, aber

es gibt auch viele Zufälle, die nicht von Naturgesetzen gesteuert werden. Die Zukunft des Universums ist daher noch völlig offen.

- B. Neben den Naturgesetzen gibt es auch noch das Wirken des göttlichen Geistes, der jederzeit die Naturgesetze, die er ja selber geschaffen hat, durchbrechen kann. Durch ihn wird die Zukunft des Universums bestimmt
- C. Alles in der Natur wird von Naturgesetzen beherrscht, alles wird daher durch sie vorherbestimmt. Die Zukunft des Universums ist daher auch von Anfang an festgelegt. Eines Tages wird man vielleicht sogar in der Lage sein, diese Zukunft zu berechnen.
- D. Ich kann mich für keine dieser Aussagen entscheiden.

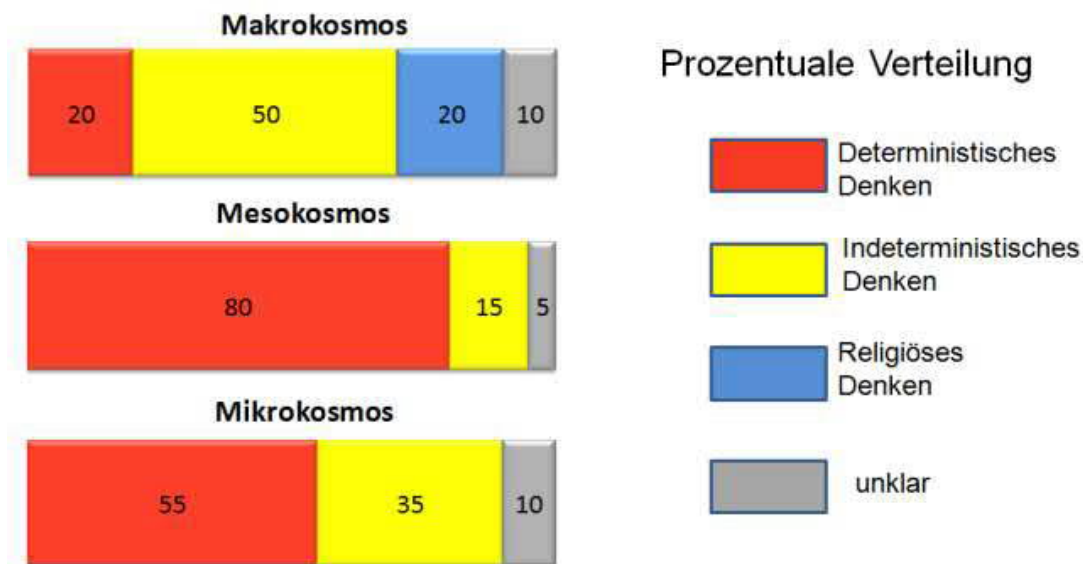


Abb.1: Verteilung der Vorstellungen von Jugendlichen über Naturvorgänge bei der ersten Vorstudie.

Die neun Fragen deckten einen weiten Bereich von Naturvorgängen ab, von der Gesamtentwicklung des Kosmos, wie in der Beispielfrage, über fallende Blätter im Herbst bis zu Vorgängen im Atomkern. Dabei zeigte sich, dass die Vorstellungen der Jugendlichen keineswegs einheitlich waren, insbesondere konnten drei Bereiche unterschieden werden, die für viele Jugendliche verschieden funktionieren. Diese drei Bereiche können mit Makro-, Meso- und Mikrokosmos bezeichnet werden. Von den oben erwähnten zu erwartenden Vorstellungen konnte zwischen 1) und 2) nicht differenziert werden.

Wenn es um die Gesamtentwicklung des Kosmos und der Erde geht (Makrokosmos), so waren die

Jugendlichen zum größten Teil der Meinung, dass es keine Determinierung gibt (siehe Abb. 1). Lediglich 20 % waren der Auffassung, dass alles in der Natur streng determiniert verläuft, 20 % gaben Gott eine tragende Rolle.

Ein ganz anderes Bild ergaben die Fragen zu Vorgängen im Mesokosmos, unserer unmittelbaren Umgebung, z. B. bei fallenden Blättern. Hier konnte bei 80 % der Jugendlichen deterministisches Denken festgestellt werden. Bei Fragen zum Mikrokosmos (z. B. Kernzerfall) dagegen sank der Anteil der Jugendlichen mit deterministischem Denken auf knapp über die Hälfte.

Es blieben viele Fragen offen, insbesondere, wie das indeterministische Denken bei den Jugendlichen im Makro- oder Mikrokosmos genau aussieht.

4. Die zweite Vorstudie

Ausgehend von diesen Ergebnissen wurde daher ein zweiter Fragebogen entwickelt, diesmal mit offenem Antwortformat [4]. 113 Jugendliche wurden befragt, 61 waren in Klasse 10, 22 in Klasse 12 und 30 schon an der Universität (Studierende der Physik) bzw. im Referendariat (Lehramt Physik). Der Fragebogen lehnte sich an denjenigen in der ersten Vorstudie an, die Auswertung lief naturgemäß komplizierter ab, da die Antworten alle mittels qualitativer Inhaltsanalyse in die entsprechenden Kategorien eingeordnet werden mussten.

4.1. Makrokosmos

Als Beispiel für das Denken über Vorgänge im Makrokosmos sei auch hier die erste Frage angeführt: „Die Naturgesetze bestimmen den Verlauf von Vorgängen in der Natur. Es gibt Leute, die behaupten,

dass diese Naturgesetze (bekannte und noch unbekannte) letztlich alles vorherbestimmen, also die gesamte Zukunft des Universums. Was ist Deine Meinung?“

Durch das offene Format konnten wir eine weit verbreitete Denkweise bei Jugendlichen identifizieren, die wir in der ersten Vorstudie unter „Indeterminismus“ eingeordnet hatten. Eine Beispielerantwort dafür:

„Ich sehe dies etwas anders. Denn der Mensch greift heutzutage und mit Sicherheit auch in Zukunft in die Natur ein. Dadurch wird die Natur mit ziemlicher Sicherheit auch beeinträchtigt. Dies kann (muss aber nicht) zur Folge haben, dass die Naturgesetze nicht mehr vollständig den Verlauf der Natur bestimmen.“

Solche Antworten kamen von nahezu der Hälfte der Jugendlichen - der Mensch steht außerhalb der physikalischen Naturgesetzlichkeit, seine Entscheidungen sind nicht determiniert, aber für die Entwicklung des Universums bestimmend.

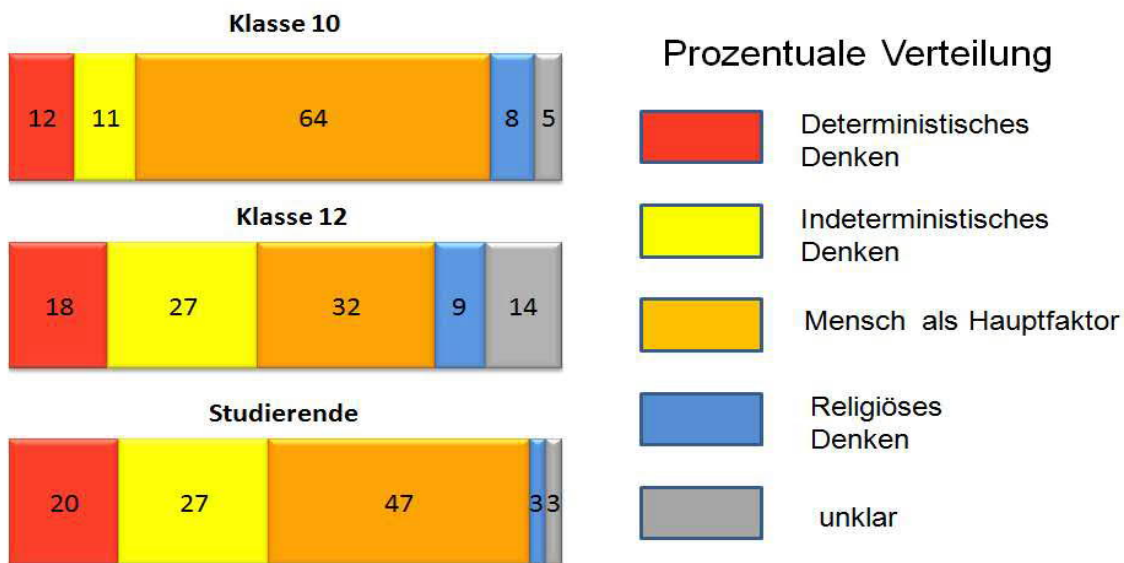


Abb.2: Verteilung der Vorstellungen von Jugendlichen über Naturvorgänge im Makrokosmos bei der zweiten Vorstudie.

Zwischen 10 und 20 % der Jugendlichen hatten deterministische Vorstellungen, 10 % ungefähr gaben Gott eine tragende Rolle im makrokosmischen Geschehen. Abb. 2 zeigt die Antwortkategorien bei den drei befragten Gruppen.

4.2. Mesokosmos

Auch in dieser zweiten Vorstudie zeigten die Jugendlichen im Bereich des Mesokosmos hauptsächlich deterministische Denkweisen. Als Beispiel

führen wir hier die Frage nach einem fallenden Blatt an:

„Ein Blatt eines Baumes fällt im Herbst zu Boden. Von was hängt es Ihrer Meinung nach ab, wo das Blatt genau landen wird?“

Von den 113 Antworten sind 108 deterministisch geprägt, es werden alle möglichen Faktoren aufgezählt, von Blattform über Windverhältnisse bis zum Luftdruck.

Doch gibt es hier eine Besonderheit: Es gab auch Fragen zu typischen Zufallsexperimenten, einem Würfelwurf und der Ziehung der Lottozahlen. Obwohl eigentlich ein Würfel nicht prinzipiell anders fällt als ein Blatt, sehen Jugendliche große Unterschiede. Auf die Frage:

„Beim Werfen eines Würfels gibt es bekanntlich sechs mögliche Ergebnisse. Von welchen Faktoren hängt Ihrer Meinung nach der Ausgang eines solchen Wurfs ab?“

waren die Antworten deutlich anders auf die Kategorien verteilt, fast die Hälfte der Jugendlichen gab in den Antworten als wesentlichen Faktor den „Zufall“ an, eine Antwortmöglichkeit, die beim fallenden Blatt nur von drei Kandidaten gegeben wurde. Insgesamt gab es nur geringe Unterschiede bei den drei befragten Gruppen.

4.3. Mikrokosmos

Beim Thema Mikrokosmos ergab sich bei der zweiten Vorstudie eine etwas andere Verteilung als bei der ersten. Auf die Frage

„Bestimmt haben Sie schon von radioaktiven Stoffen gehört. Bei diesen zerfallen Atomkerne unter Aussendung von radioaktiver Strahlung. Von was hängt die Lebensdauer eines Atomkerns Ihrer Meinung nach ab?“

gab es bei den Antworten große Unterschiede bei den drei befragten Gruppen, wie in Abb. 3 zu sehen ist.

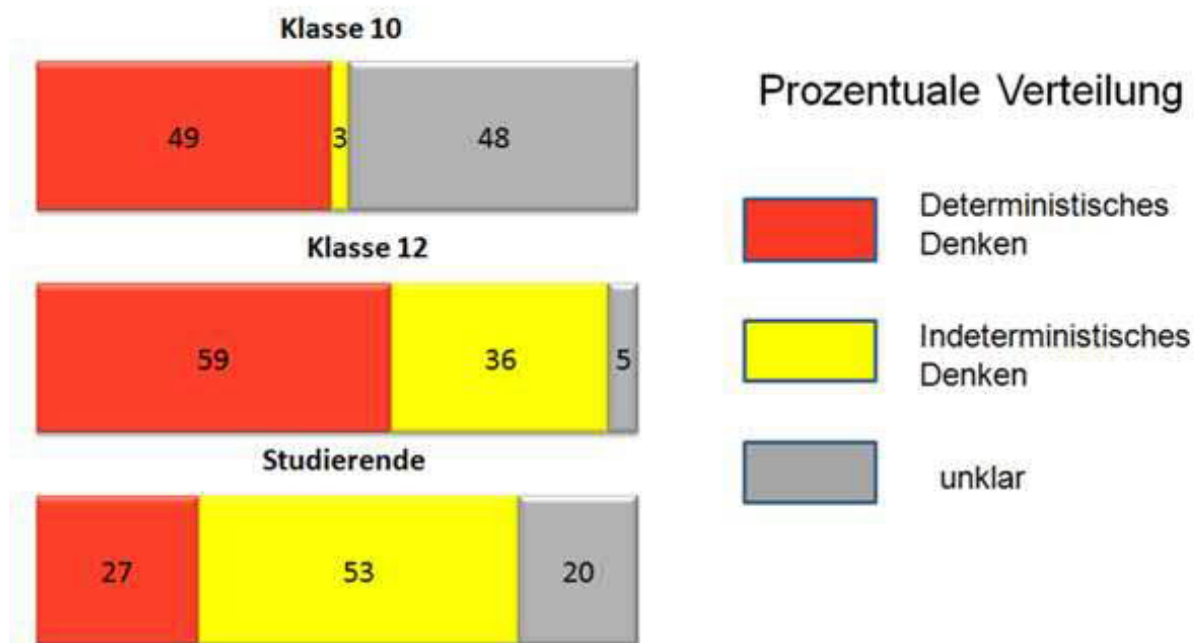


Abb.3: Verteilung der Vorstellungen von Jugendlichen über Naturvorgänge im Mikrokosmos bei der zweiten Vorstudie.

Interessant ist der große Anteil der Jugendlichen in Klassenstufe 10, die mit dem Thema überhaupt nichts anfangen konnten, immerhin fast die Hälfte. Die übrigen hatten deterministische Auffassungen über die Vorgänge im Atomkern. Bei den Schülerinnen und Schülern der 12. Jahrgangsstufe ergab sich nahezu ein identisches Bild wie in der ersten Vorstudie, der Anteil derjenigen, die indeterministisch

dachten, liegt bei ungefähr 36 %. Bei den Studierenden (der Physik) ist der Anteil derjenigen, die (korrekterweise) indeterministisch denken, auf immerhin die Hälfte gestiegen.

Abb. 4 zeigt die Vorstellungen der Jugendlichen in den verschiedenen Bereichen nochmals im Überblick.

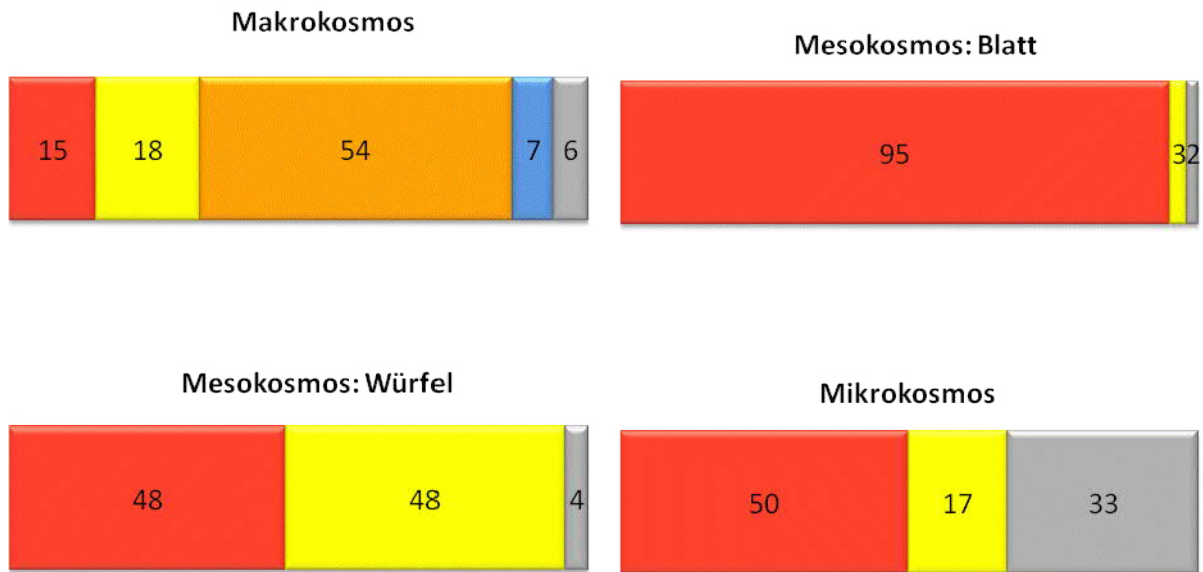


Abb. 4: Verteilung der Vorstellungen von Jugendlichen über Naturvorgänge in den verschiedenen Bereichen bei der zweiten Vorstudie im Überblick.

5. Aktuelle Untersuchung

Die Vorstudien ergaben eine Fülle von Daten, die sich aber durch die Struktur der Fragebögen nur schwer einer statistischen Auswertung unterziehen lassen. Insbesondere ist es erforderlich, die Faktoren der Vorstellungen der Jugendlichen klar herauszuarbeiten. Eine Faktorenanalyse ist aber mit offenem oder Single-Choice-Format nicht möglich. Daher entwickelten wir aufbauend auf den bisherigen Fragebögen einen neuen mit 30 Items, die alle mit einer fünfwertigen Rating-Skala versehen waren.

Die Items waren auf die besprochenen Kosmoi verteilt, 14 zum Makrokosmos, 11 zum Meso- und 5 zum Mikrokosmos. Bisher (Mai 2012) wurden 36 Jugendliche der Klassenstufe 12 eines Gymnasiums befragt.

Als Beispiel sei ein Item aus dem Bereich Mikrokosmos angegeben:

„Ein Atom besteht aus einem massiven Kern und einigen den Kern umgebenden Elektronen. Die Bahnen der Elektronen, die sich um den Kern bewegen, lassen sich auf ähnliche Weise wie die Bahnen der

Planeten des Sonnensystems berechnen, d. h. man kann ihre Positionen und Geschwindigkeiten zu jeder Zeit genau angeben.

- *Trifft genau zu*
- *Trifft eher zu*
- *Weder noch*
- *Stimmt eher nicht*
- *Stimmt überhaupt nicht*

Die Antwortverteilungen, die bisher auftraten, lagen im Rahmen des nach den Vorstudien zu erwartenden.

Für den Makrokosmos sei hier als Beispiel der Item *„das Schicksal des Menschen ist determiniert“* betrachtet. Abb. 5 zeigt die Antwortverteilung, die Mehrheit (30 von 36) lehnt die Aussage ab, nur 5 Jugendliche haben deterministische Vorstellungen über das Leben der Menschen (ca. 15 %, wie bei den Vorstudien).

Dagegen stimmten dem Item *„Der Flug einer Kanonenkugel ist determiniert“* bis auf einen Jugendlichen alle dieser Aussage zu (Abb. 6).

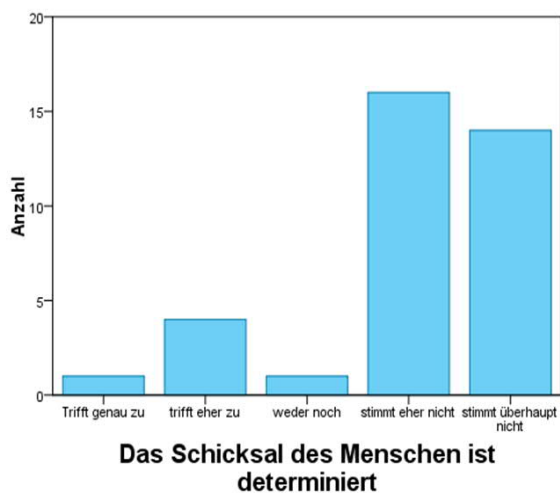


Abb. 5: Antwortverteilung beim Item „das Schicksal des Menschen ist determiniert“.

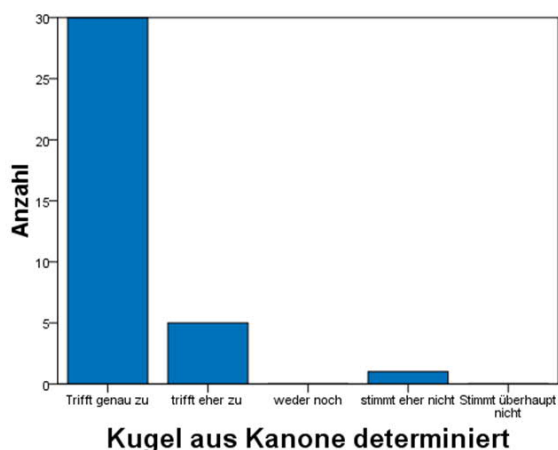


Abb. 6: Antwortverteilung beim Item „der Flug einer Kanonenkugel ist determiniert“.

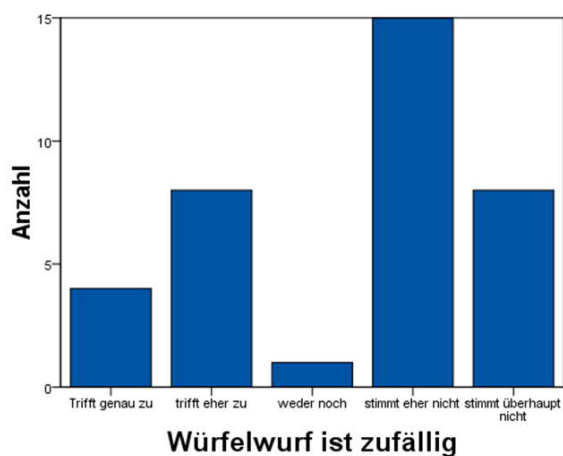


Abb. 7: Antwortverteilung beim Item „das Ergebnis eines Würfelwurfs ist zufällig.“

Uneinheitliche Vorstellungen ergaben sich insbesondere in Bezug auf den Wurf eines Würfels (Abb 7). Wie bei der zweiten Vorstudie hat hier nur ungefähr die Hälfte der Jugendlichen deterministische Vorstellungen.

Ähnlich ist die Antwortverteilung auch bei Items zum Mikrokosmos. Als Beispiel zeigt Abb. 8 die Antwortverteilung bei Item „die Elektronenbahn im Atom ist determiniert“.

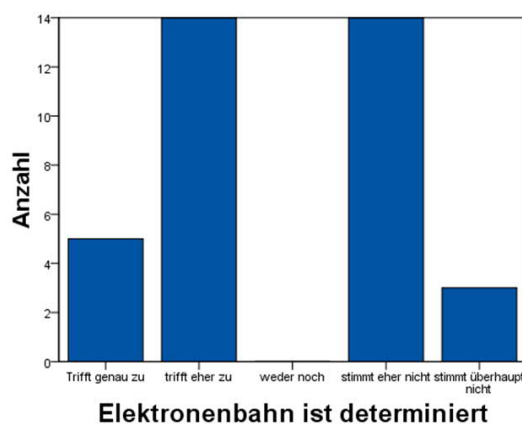


Abb. 8: Antwortverteilung beim Item „die Elektronenbahn im Atom ist determiniert.“

Da bisher nur wenige Jugendliche befragt wurden, konnte nur eine vorläufige Faktorenanalyse durchgeführt werden. Doch lassen sich, zumindest im Bereich des Makro- und Mesokosmos, vorläufig einige Faktoren extrahieren und identifizieren. Abb. 9 zeigt den Screeplot für die Items aus dem Makrokosmos. Drei Faktoren konnten identifiziert werden, die einen relativ großen Anteil der Varianz erklären können, allein der erste Faktor erklärt 23,4 %. Er beschreibt das religiöse Denken, das offenbar im Bereich des Makrokosmos eine große Bedeutung hat. „Der Mensch als Gestalter der Zukunft“ charakterisiert den zweiten Faktor, der für 13,9 % der Varianz verantwortlich zeichnet. Dem deterministischen Denken wurde vorläufig der Faktor 3 zugeordnet. Nach dem Kaiser-Guttman-Kriterium wären noch zwei weitere Faktoren bedeutsam, die wir jedoch bei dieser ersten Analyse nicht berücksichtigt haben.

Beim Mesokosmos ergeben sich drei Faktoren. Der erste Faktor (Varianzerklärung 33%) konnte mit indeterministischem Denken bei den Zufallsexperimenten (Würfel, Münze, Lotto) in Beziehung gebracht werden, der zweite Faktor (Varianzerklärung 17,5 %) wurde mit dem deterministischem Denken identifiziert, der dritte mit allgemeinem indeterministischem Denken. Abb. 10 zeigt den Scree-Plot dieser Items.

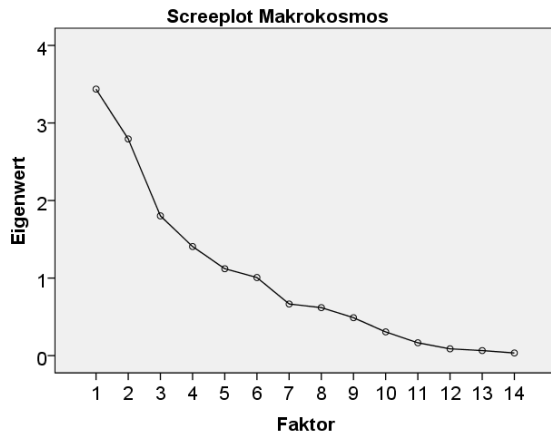


Abb. 9: Screplot der Faktoren für die Items aus dem Makrokosmos.

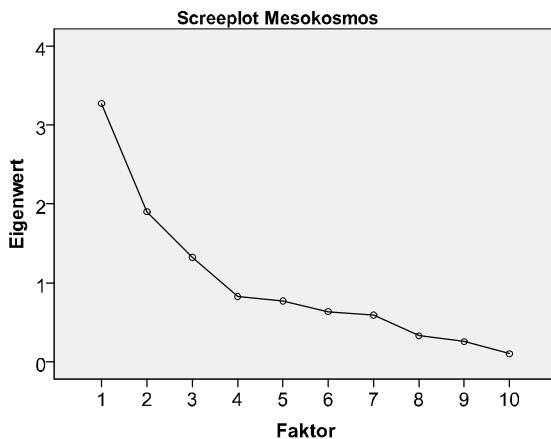


Abb. 10: Screplot der Faktoren für die Items aus dem Mesokosmos.

Im Bereich des Mikrokosmos war noch keine sinnvolle Faktorenanalyse möglich.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Sowohl die beiden Vorstudien als auch unsere aktuelle Untersuchung verweisen darauf, dass die Vorstellungen der Jugendlichen über die Abläufe von Naturvorgängen nicht einheitlich sind, sondern dass drei Bereiche unterscheidbar sind, Makro-, Meso- und Mikrokosmos, wobei im Bereich des Mesokosmos noch zwischen „gewöhnlichen“ Vorgängen und solchen, die traditionellerweise dem „Zufallsbereich“ zugewiesen werden, zu differenzieren ist.

Die vorläufige Faktorenanalyse zeigt, dass die Vorstellungen im Makrokosmos komplexer sind, da hier mehr Faktoren bedeutsam zu sein scheinen. Im Mesokosmos haben wir bislang drei gut abgegrenzte Faktoren extrahiert, währenddessen sich der Bereich des Mikrokosmos noch als nicht analysierbar erweist.

Um insgesamt eine klare Aussage zu erhalten über die Faktoren, die bei diesen Vorstellungen eine Rolle spielen, muss die Zahl der Probanden deutlich erhöht werden. Dazu ist geplant, die Zahl der Befragten noch deutlich auszuweiten. Ziel ist dann zum einen, die bisherigen Ergebnisse durch die größere Datenmenge zu fundieren, andererseits soll insbesondere geklärt werden, ob und wie sich die Vorstellungen von Klasse 9 oder 10 über die Oberstufe bis zur Hochschule verändern.

7. Literatur

- [1] M. Komorek, S. Grosse: Schülervorstellungen zum Laplaceschen Dämon. Zur Didaktik der Physik und Chemie. Tagung 1995.
- [2] M. Döhrmann: Zufall, Aktien und Mathematik. Hildesheim 2004.
- [3] B. Bühler, R. Erb (2009): Mikrokosmos und physikalisches Weltbild in den Vorstellungen der Schüler. Zur Didaktik der Physik und Chemie. Tagung 2009.
- [4] B. Bühler, R. Erb (2010): Zum physikalischen Weltbild von Jugendlichen. Ein Beitrag zur Erforschung von Schülervorstellungen. Praxis der Naturwissenschaften: Physik in der Schule 5 (59) 34-37.