

Die Stringtheorie in der Schule

Dirk Brockmann

Vorbemerkung

Die Stringtheorie ist kein inhaltlicher Bestandteil der Rahmenrichtlinien für niedersächsische Gymnasien. In anderen Bundesländern ist das ähnlich. Einerseits möchte dieser Aufsatz aufzeigen, dass es aber einige Anknüpfungspunkte aus verschiedenen Themen der Oberstufenphysik gibt. Das macht die Stringtheorie im Sinne eines inhaltlichen Semesterübergreifendes interessant.



Andererseits möchte dieser Aufsatz Beispiele dafür vorstellen, wie man die Stringtheorie in den laufenden Unterricht implementieren kann.

Einordnung und Fachübergriffe

Übersicht der Bezüge im WiS!-Beitrag		
Physik	Quantenphysik, Schwingungen und Wellen	Standardmodell, stehende Wellen
Astronomie	Kosmos	Makro- und Mikrokosmos
Fächerverknüpfung	Astro-Ma, Astro-Kunst	Logarithmische Skalen , Gestaltung von Modellen

Anknüpfungspunkte an Themen der Oberstufenphysik

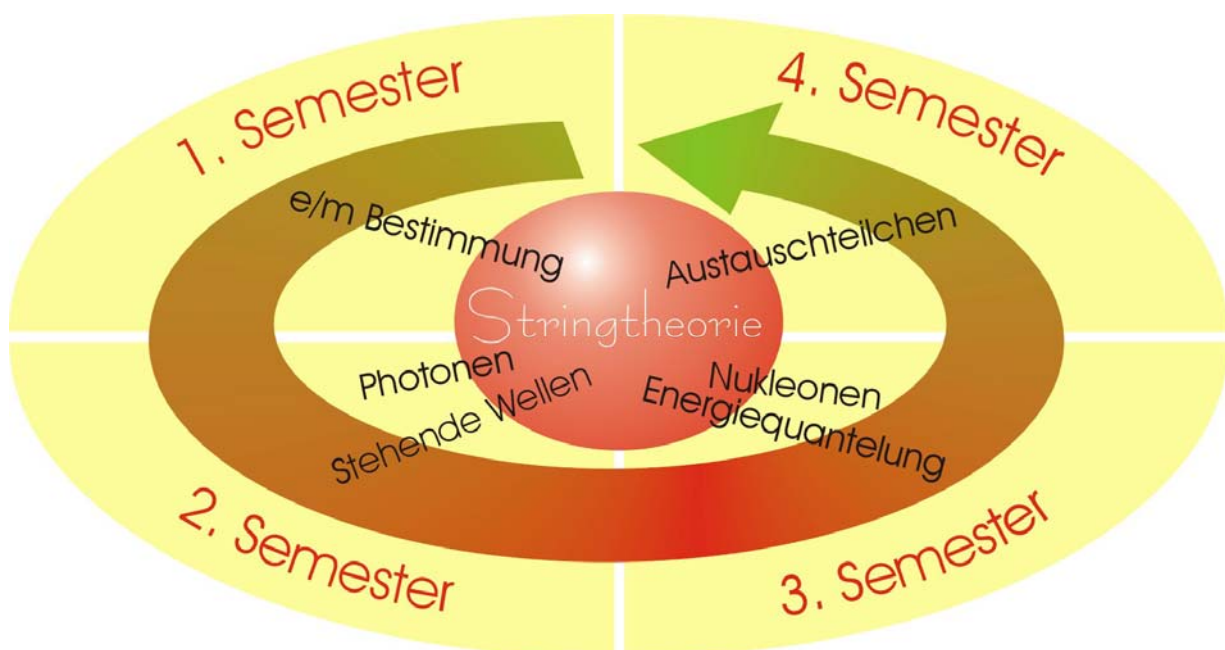
In den Rahmenrichtlinien des Landes Niedersachsen wird festgestellt, dass die Schülerinnen und Schüler, die am Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe teilnehmen, sich „vertiefend mit den fachbezogenen Grundlagen des modernen naturwissenschaftlichen Weltbildes auseinandersetzen“ sollen ([NK03], S.4). Es soll deutlich werden, dass die Physik mit ihrer Modellbildung eine wichtige Sicht auf die Natur bietet. Die Stringtheorie versucht in diesem Sinne den krönenden, vorläufigen Höhepunkt, die Vereinheitlichung der Allgemeinen Relativitätstheorie als anerkannte Theorie des Makroskopischen mit der Quantentheorie als anerkannte Theorie des Mikroskopischen.

Es ist daher sinnvoll, den Schülerinnen und Schülern diese Theorie als Ausblick vorzustellen. Zeitlich sollen die in den Rahmenrichtlinien verankerten Pflichtinhalte etwa zwei Drittel der vormals veranschlagten 5 Wochenstunden in Anspruch nehmen, entsprechend fünf Sechsteln der nun in einem Kurs auf erhöhtem Anforderungsniveau zur Verfügung stehenden 4 Wochenstunden. Die verbleibende Zeit kann zu Vertiefungen oder thematischen Erweiterungen, wie etwa einer Einführung in die Ideenwelt der Stringtheorie genutzt werden.

In der nachfolgenden Übersicht wird eine viersemestrige Kursfolge vorgestellt, in der die für die Kursstufe geforderten Themenbausteine wie folgt angeordnet sind:

Semester	Themenbausteine
1	Felder, Induktion
2	Schwingungen und Wellen, Quantenobjekte
3	Atom-, und Kernphysik
4	Elementarteilchenphysik (freies Thema)

Ausgewählte Inhalte der jeweiligen Semester, die sich als Anknüpfungspunkte an die Stringtheorie eignen, sind folgender Darstellung einbeschrieben.



Im ersten Semester wird bei der Behandlung der elektrischen Felder beispielsweise im Rahmen des Millikanversuches oder Experimenten mit der Fadenstrahlröhre die Elementarladung und der Quotient aus der Elementarladung und der Elektronenmasse bestimmt. Gefragt sind bei diesen Experimenten quantitative Bestimmungen. Auch ergibt sich als erstaunliches Resultat die Quantelung der Ladung. Man fragt sich aber üblicherweise nicht, **warum diese Naturkonstanten genau dieses Maß besitzen**. Diese typische **Fragestellung aus der Stringtheorie** könnte hier eine reizvolle Ergänzung bieten.

Im zweiten Semester werden mit den **stehenden Wellen** auch Systeme schwingender Seiten mit diskreten Energiestufen eingeführt (siehe Abbildung S.3). Im dritten Semester werden diese Ideen im Rahmen der de Broglie Wellen für Orbitalelektronen wieder aufgegriffen. Die Analogie zu den Modellbildungen der Stringtheorie ist offensichtlich.

Außerdem werden im zweiten Semester unter dem Baustein Quantenobjekte die Photonen eingeführt, die ja wichtiger Bestandteil des Standardmodells sind.



Wesentliche Anknüpfungspunkte ergeben sich dann im dritten Semester beim Thema Atom- und Kernphysik. Die Elektronen wurden ja schon im ersten Semester behandelt, nun kommen mit den Nukleonen weitere vermeintlich elementare Bausteine des Kosmos hinzu. Ein anderer wichtiger inhaltlicher Anknüpfungspunkt ist die in diesem Semester ausführlich behandelte Energiequantelung im Atom. Wesentlicher Anspruch jeder modernen physikalischen Theorie, also auch der Stringtheorie ist die Erklärung dieses Phänomens. Das vierte Semester kann bei dieser Kursfolge, bei der die Thermodynamik vor Beginn der Kursstufe behandelt wurde, zur Wahl eines freien Themas genutzt werden. Hier könnte beispielsweise eine Einführung in die Elementarteilchenphysik erfolgen, wie es etwa die niedersächsischen Rahmenrichtlinien vorschlagen ([NK03], S.43).

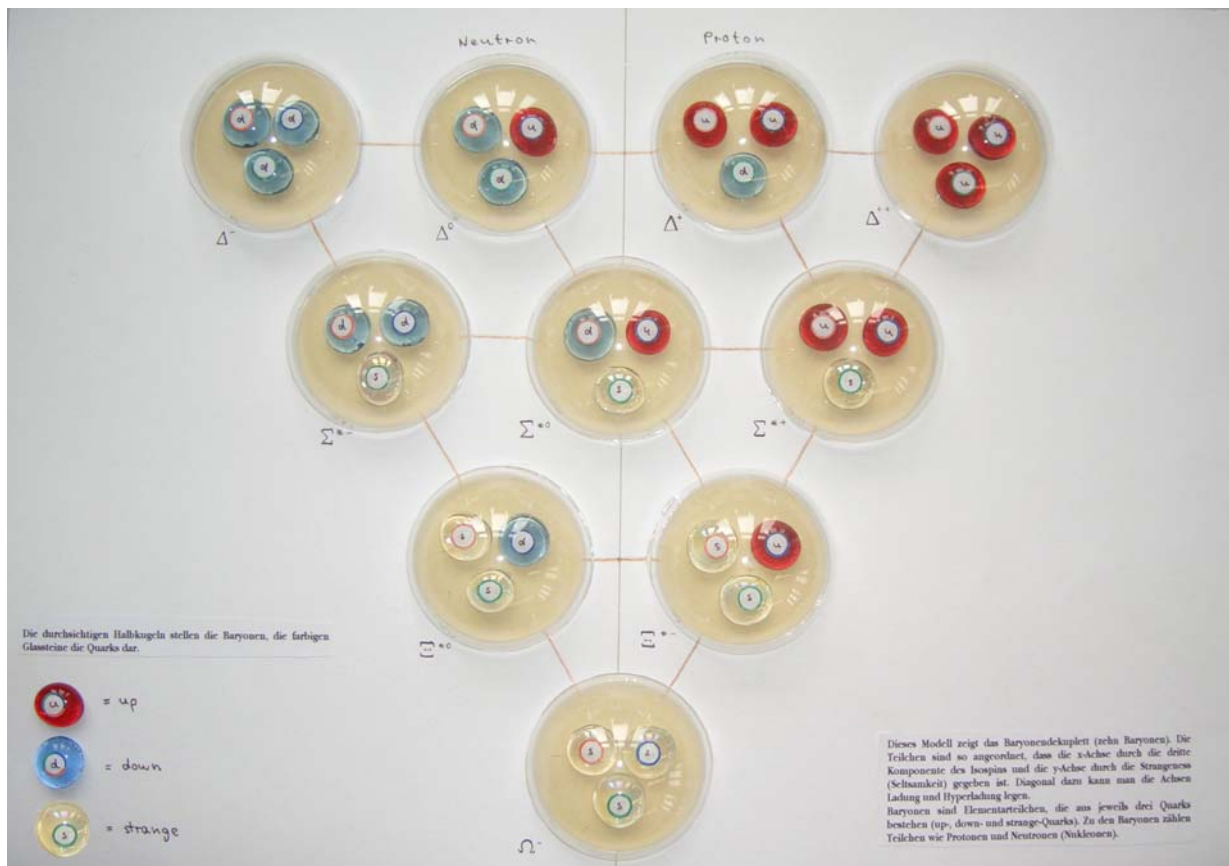
Beispiele für die Einbeziehung der Stringtheorie in den Unterricht

Im Folgenden wird an Hand einiger Beispiele gezeigt, wie an Lehrplaninhalte der Oberstufe angeknüpft werden kann, um so einen Ausblick auf die Stringtheorie zu vermitteln. Es bietet sich in diesem Zusammenhang an, im vierten Semester auch Aspekte der Elementarteilchenphysik zu unterrichten, sofern die Fachkonferenz hier die Wahl eines freien Themas beschlossen hat.

Nachdem den Schülerinnen und Schülern ein Überblick über die bekannten und postulierten Elementarteilchen sowie eine Übersicht über die kosmologische Entwicklung vermittelt wurde, kann eine Einführung in die Stringtheorie erfolgen.

Dabei kann einerseits auf Schulbücher wie auf das Buch Metzler Physik [GK03], Dorn Bader Physik [DB00], oder andere zurückgegriffen werden, andererseits auf Fachartikel wie dem Beitrag von Hermann Nicolai und Markus Pössel im SuW Special Gravitation [NP05], weiterhin auf Simulationen aus dem Internet und Videofilme.

Da es im Rahmen der schulischen Möglichkeiten keine Experimente gibt, die diesen Themenkreis veranschaulichen, kann mit **Mitteln der Visualisierung** der Erkenntnisse Abwechslung in den Unterricht gebracht werden. Das Anfertigen von Postern oder das Schaffen von Modellen bietet sich in diesem Zusammenhang an.



Oben ist beispielsweise **eine Schülerarbeit** zu sehen, die eine Teilchenfamilie zeigt, die sich bei der Klassifikation durch Gell-Manns "Achtfachen Weg" ergeben (siehe [GK03], Seite 534). Als Medien wurden eine feste Kartonplatte als Grund, Gasperlen, auf die Etiketten geklebt wurden, für die Quarks und Plexiglashalbkugeln für die übergeordneten Baryonen verwendet.

Eine interessante Aufgabe bezüglich der kosmischen Entwicklung ist es für Schülerinnen und Schüler, wesentliche **Entwicklungsphasen des Mikro- und des Makrokosmos** in einer geschlossenen Darstellung zu präsentieren. Dabei muss auf **logarithmische Skalen** zurückgegriffen werden:

0	10^{-43}	10^{-35}	10^{-10}	10^{-6}	$2 \cdot 10^2$	10^{13}	$3 \cdot 10^{16}$	$3 \cdot 10^{17}$	t/s
Große Vereinheitlichung	Auskopplung der Gravitation	Auskopplung der starken WW	Auskopplung der schwachen WW	Quarks werden zu Hadronen	Element-synthese, freie Neutronen werden zur Bildung von 4He verbraucht	Atome bilden sich, Elektronen werden gebunden, Photonen koppeln sich ab, der Kosmos wird durchsichtig	Entstehung erster Sterne, in denen höhere Elemente fusioniert werden	Bildung des Sonnensystems	
	10^{19}	10^{14}	10^2	1	$78 \cdot 10^{-9}$	$25 \cdot 10^{-14}$	$8 \cdot 10^{-15}$		W/ GeV

Diese tabellarische Darstellung kann in Form eines Posters optisch sehr interessant gestaltet werden. Die einzelnen Phasen können dabei künstlerisch umgesetzt werden oder mittels Abbildungen aus dem Internet o. a. illustriert werden. Anregungen für die Gestaltung lassen sich aus diversen Astronomiebüchern oder den im Literaturverzeichnis angegebenen Schulbüchern entnehmen (Beispielsweise [GK03], S.565).

Bezüglich der eigentlichen Stringtheorie können in ähnlicher Weise Visualisierungen vorgenommen werden, etwa zur Darstellung von Stringschleifen, wie sie im SuW Special Gravitation gezeigt werden ([NP05], S.73). Hier könnten die Schülerinnen und Schüler versuchen, verschiedene Energiezustände von geschlossenen Strings mit Hilfe von Pfeifenputzern zu modellieren.

Lernziele

Die Schülerinnen und Schüler sollen...

- im Sinne eines Ausblicks die Stringtheorie als eine zeitgenössische physikalische Theorie kennen lernen.
- Zusammenhänge zwischen den Inhalten der einzelnen Semester erkennen und grundlegende Ideen auf die Stringtheorie übertragen.
- sich eigenständig oder unter Anleitung in die Grundzüge der Stringtheorie einarbeiten.
- Modelle der elementaren Ideen der Stringtheorie anfertigen.

Literatur

- [DB00] Bader, Franz (hrsg.): *Dorn-Bader Physik 12/13*, Hannover 2000
 [GK03] J. Grehn, J. Krause (Hrsg.): *Metzler Physik* (3. Auflage), Hannover 2003
 [NK97] Niedersächsisches Kultusministerium (Hrsg.): *Rahmenrichtlinien für das Gymnasium (...)*, Hannover 1997
 [NP05] Nicolai, Hermann; Pössel, Markus: *Strings – Grundbausteine des Kosmos?*, in: SuW Special Gravitation, Heidelberg 2005