

Weltraumwetter Unterricht über Kosmische Magnetfelder

Motivation und Aufgabenstellung

Sonnenfinsternisse haben die Menschen schon immer fasziniert. Seit dem 17. Jahrhundert wird die *Entwicklung von Sonnenfleckengruppen* auf der Sonnenoberfläche systematisch untersucht. Mit Hilfe von H-alpha-Filtern können selbst Amateure die als Protuberanzen bezeichneten solaren Gaswolken beobachten. Moderne Sonnensatelliten ermöglichen heute den Blick auf die ungeheure *Dynamik solarer Eruptionen*. Der Begriff „Weltraumwetter“ bezeichnet in diesem Zusammenhang all die Phänomene, die wie die Entwicklung von *Kometenstrukturen* und *Polarlichtern* im Erde-Sonnen-System durch den Sonnenwind und Koronale Masseauswürfe hervorgerufen werden. Die Sonne ermöglicht das Leben auf unserem Planeten, versorgt uns mit Energie und ist einer der „Motoren“ des Erdklimas.

Mit immer leistungsfähigeren Sonnenteleskopen vor allem im ultravioletten Spektralbereich und im Röntgenlicht gewonnene Aufnahmen der Sonnenatmosphäre veranschaulichen die dominierende Bedeutung magnetischer Prozesse in den Flecken- und Protuberanzen-Strukturen der Sonnenatmosphäre. Anhand der Aufspaltung und Polarisierung von Spektrallinien kann hier die Feldstärke sowie der genaue Verlauf des magnetischen Flussdichten-Vektors heute berechnet beziehungsweise anhand von Modellrechnungen rekonstruiert werden. Der magnetische solare Aktivitätszyklus zeigt eine 22-jährige Periode, in deren Verlauf sich die Anzahl beziehungsweise Lage der Flecken, Protuberanzen, der als Flare-Prozess bezeichneten blitzartigen Freisetzungen magnetischer Energien sowie der bei Eruptionen instabil werdenden Protuberanzen-Strukturen zyklisch verändert. Der Sonnenwind und die ausgestoßenen magnetisierten Plasmawolken wechselwirken mit den Magnetfeldstrukturen in den Kometenschweif und der Erdmagnetosphäre. Sie erzeugen beobachtbare Kometenschweif-Abrisse und magnetischen Stürme in der Erdumgebung, die das Leben von Astronauten und die Funktionstüchtigkeit von Satelliten bedrohen können.

Die faszinierenden Phänomene des Weltraumwetters und der Einfluss magnetischer Prozesse darauf können durch den Einsatz moderner Wissenschaftstechniken in Real-aufnahmen, durch eindrucksvolle Bilder- und Video-Sequenzen, anhand von Animationen und Ergebnissen moderner Simulationsrechnungen eindrucksvoll veranschaulicht, untersucht und erklärt werden. Eine modellhafte Interpretation relevanter physikalischer Zusammenhänge und die multimediale Gestaltung im Rahmen eines attraktiven Unterrichts-curriculums über neueste Forschungsergebnisse aus der Astrophysik bietet sich an. Wesentliche Zielsetzungen dieser Arbeit sind

- die methodisch-didaktische Aufbereitung der dem Themenbereich Weltraumwetter zugrunde liegenden komplexen physikalischen Inhalte
- die Erarbeitung und Bereitstellung geeigneter Materialien zur multimedialen Gestaltung des Physik-Unterrichts für Lehrer des Sek-II-Bereichs
- eine Erprobung und Evaluierung der entwickelten Unterrichtseinheit im Sek-II-Bereich
- die Entwicklung eines grundlegenden didaktischen Konzepts zum magnetischen Feldlinien-Modell für die zukünftige Ausbildung auch von Studenten.

Methodisch-Didaktische Aufbereitung

Die Erzeugung magnetischer Feldstrukturen in einem *selbsterregten Dynamo-Prozess* sowie die Umwandlung dieser Strukturen in sogenannten *magnetischen Rekonnexions-Prozessen* mit einhergehender Freisetzung gespeicherter magnetischer Energien stellen neben optischen

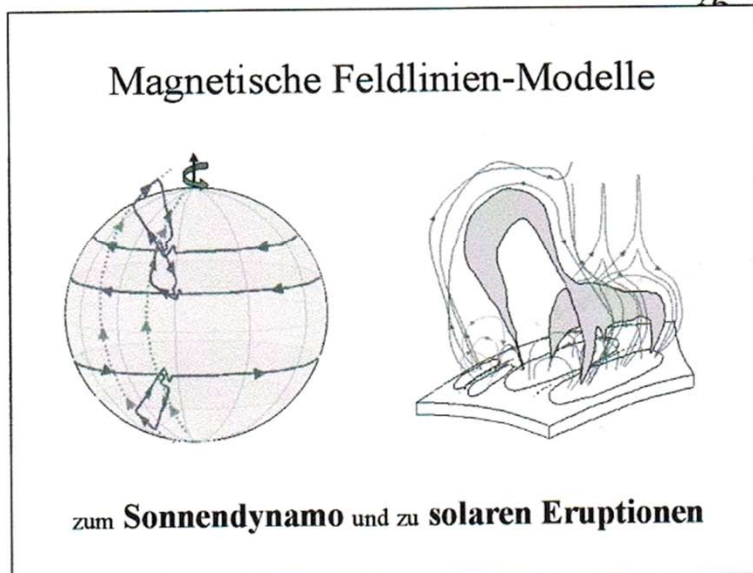
Prozessen die wesentlichen fachwissenschaftlichen Grundlagen für die Erklärung der im Zusammenhang mit dem Thema Weltraumwetter relevanten physikalischen Phänomene dar.

Magnetfelder bewegen sich in der Regel mit der fast überall im Universum anzutreffenden, extrem gut elektrisch leitenden Materie im Plasmazustand wie „eingefroren“ mit. Nach experimenteller Veranschaulichung und grundsätzlicher Klärung des Selbsterregungsprinzips für die Funktionsweise eines technischen Dynamos ermöglicht die Anwendung dieses Prinzip der eingefrorenen Feldlinien auch die animierte Modellierung und plausible Erklärung der Wirkungsweise eines kosmischen Dynamos ohne die Lösung komplexer Differentialgleichungen des zugrunde liegenden Induktionsprozesses. Die in rotierenden Plasma-Kugeln wie der Sonne oder im Erdinnern strömende und durch unterschiedliche Kräfte gelenkte Plasmamaterie verformt die in sie eingelagerten Magnetfelder in einem zyklischen Prozess der Regeneration immer wieder in geeigneter Weise. Zusammengepresste Feldstrukturen über einen *magnetischen Druck* aus. Wie bei einem gespannten Gummiband stehen auch verzerrte magnetische Feldstrukturen unter einer (*magnetischen*) *Spannung*. Kinetische Energie wird, wie nach Definition des Dynamo-Prozesses angezeigt, in magnetische Energie umgewandelt.

Die Erklärung der Auslösung solarer Eruptionen, der Abrisse von Kometenschweif und des Auftretens erdmagnetischer Stürme und Polarlichter erfordert die Möglichkeit globaler Strukturveränderungen der kosmischen Magnetfelder durch lokale Aufhebung des Prinzips der Eingefrorenheit der Feldlinien in die Plasmamaterie. Mit *magnetischer Rekonnexion* bezeichnet man den Prozess, bei dem in einem begrenzten Gebiet mit *reduzierter elektrischer Leitfähigkeit* Magnetfeldstrukturen mit Komponenten entgegengesetzter Orientierung direkt aufeinandertreffen, sich hier gegenseitig auslöschen, wie zertrennt und unvermittelt neu verbunden, wesentlich veränderte Formen annehmen können. Bei diesen Topologieänderungen kann die vorher akkumulierte und gespeicherte magnetische Energie freigesetzt werden. Wie beim Loslassen eines gespannten Gummibandes entspannen sich die Magnetfeldstrukturen, wird die jetzt wieder „eingefrorene“ Materie beschleunigt. Demonstrations-Experimente mit Gummibändern sowie modellhafte und animierte Darstellungen der einzelnen Phasen des Rekonnexionsprozesses ermöglichen ein tieferes Verständnis dieses besonders wichtigen, bisher aber nicht nur in der Schulphysik noch weitgehend unbekanntem magnetischen Prozesses.

Materialien zur multimedialen Gestaltung

Für die Erprobung der Unterrichtseinheit standen, aufbereitet für die unterschiedlichen Medien eine Fülle von *Experimenten*, *Anschauungs*-, *Informations*- und *Arbeits-Materialien* zur Verfügung. Mit Hilfe von Video-Sequenzen auf VHS-Bändern, Dia-Serien, Folien-



Sätzen sowie von Computer-Dateien für die Video-Beamer-Projektion konnten alle wichtigen Phänomene auf der Sonne, in Kometen- und Polarlicht-Strukturen zum Thema Weltraumwetter im Details zur Motivierung eindrucksvoll veranschaulicht werden. Vor allem für die Arbeit in Kleingruppen am Computer wurden für alle Schülern insgesamt 20 neu erstellte *Power-Point-Präsentationen* mit ergiebigem Bildmaterial, Animationen und

Video-Sequenzen auch mit Ergebnissen von Simulations-Rechnungen auf 3 gefüllte CD-ROMs kopiert. Artikel, die gesamte Unterrichtseinheit begleitende comic-artige Geschichten über „Herrn Meyer im Plasmaland“, Informationsblätter und insgesamt 16, zur Ergebnisdiskussion auch auf Folien gedruckte Arbeitsblätter ergänzten die umfangreiche Material-Sammlung. Der Einsatz von Plasmakugel und Lavalampe, eines Teleskop und einfachen Spektralapparates, ein aufwendiges Dynamo-Experiment, mehrere kleine Experimente zum Gummiband-Modell sowie die im Rahmen von Institutsbesuchen geplante *Besichtigung von Forschungs-Einrichtungen* sollten die notwendigen experimentellen Eindrücke vermitteln. In Vorträgen und Gesprächen würden die Schüler mit Wissenschaftlern als Experten in Kontakt kommen.

Erprobung und Evaluation

Das Curriculum wurde, schrittweise aufbauend, in insgesamt 3 Lerngruppen in *Bremen, Hohen Neuendorf* und *Ludwigsfelde* erprobt. Der zeitliche Umfang der Unterrichtseinheit betrug in den beiden *Physik-Leistungskurse* 12/2 und 13/1 an den Marie-Curie-Gymnasien bei Berlin jeweils *15 Unterrichtsstunden*. Zusätzliche Veranstaltungen wie die Besuche des Astrophysikalischen Instituts in Potsdam, Einführungen in die Erstellung von Power-Point-Präsentationen und vom Referenten gehaltene Vorträge zum Thema „Kosmische Magnetfelder“ ergänzten das Unterrichtsangebot.

Zur Ermöglichung einer Evaluierung des entwickelten Unterrichtskonzepts und der durchgeführten Unterrichtseinheit wurden ein *Eingangstest* über die Vorkenntnisse zum Magnetismus, eine Befragung zur *Motivationslage*, ein zu Beginn und am Ende der Unterrichtseinheit durchgeführter, neu entwickelter *Own-Word-Map-Test* zur Entstehung von kosmischen Magnetfelder, Kometenschweif und Polarlichtern, eine abschließende *Akzeptanz-Befragung* sowie video-dokumentierte *Interviews* eingesetzt. Die Ergebnisse der Bearbeitung von *Klausur-Aufgaben* zum Thema „Solare Magnetfelder“, in Einzelfälle auch die wahlweise von Schülern selbst erstellten *Power-Point-Präsentationen* standen zusätzlich den Fach-Lehrer auch für die Leistungsbewertung zur Verfügung.

In den nächsten Monaten werden die *Ergebnisse des Unterrichtsversuchs* im Rahmen einer Evaluationsstudie im Details ausgewertet. Bewertungen des Vortests, persönliche Eindrücke und Einschätzungen des Referenten sowie Beurteilungen des Inhaltes und Verlaufs des Unterrichts durch die Schüler liegen aber bereits vor. Danach zeigten sich, bezüglich der beiden Leistungskurse differierend, in unterschiedlichen Teilbereichen gravierende Mängel in den in der Sekundarstufe I beziehungsweise im vorangegangenen Leistungskurs-Unterricht erworbenen Vorkenntnisse. Die Schüler fanden den Inhalt und die Gestaltungsform des Unterrichts durchweg motivierend, würdigten den Umfang selbständiger Arbeit, begrüßten die Institutsbesuche und die abschließenden Interviews. Als unangenehm beurteilten sie die große Stoff- und Material-Fülle sowie die mangelnde Zeit zur Bearbeitung der Aufgaben. Als Abhilfe schlugen viele Schüler die Verlängerung der Zeitdauer für die Durchführung dieser für sie sehr interessanten Unterrichtseinheit vor.

Die Schüler des vom Fachlehrer als relativ leistungsschwach eingeschätzten Kurs waren in bemerkenswerter Weise auf selbständiges Arbeit eingestellt, im leistungsstarken Kurs waren lehrerzentrierte Arbeitsformen ergiebiger. Ein Großteil des Unterrichts wurde vom fachwissenschaftlich kompetenten Referenten selbst durchgeführt. Die mit großem Zeitaufwand verbundene multimediale Gestaltung dieser Unterrichtseinheit durch einen Nicht-Fachmann erfordert umfangreiche Vorarbeiten für besonders engagierte Lehrer.