

4. Windenergie im Physikunterricht

4.1 Bezug zu den allgemeinen Zielen des Lehrplans

Im G-8-Lehrplan des Bayerischen Gymnasiums gibt es viele Anhaltspunkte, die eine ausführliche Behandlung des Themas Windenergie im Unterricht als sinnvoll erscheinen lassen. Eines der obersten Bildungs- und Erziehungsziele, das auch in der Bayerischen Verfassung verankert ist, ist das „Verantwortungsbewusstsein für Natur und Umwelt“, das schon im Grundsatz zu einer Auseinandersetzung mit Möglichkeiten der alternativen Energieerzeugung auffordert.¹ Auf der anderen Seite sollte man aber auch auf die (evtl. negative) Beeinflussung der unmittelbaren Umwelt um eine Windkraftanlage eingehen. Junge Menschen sollen, wie ein weiterer übergeordneter Punkt des Lehrplans aussagt, über die Fähigkeit zum Transfer verfügen.² Die vorliegende Themenstellung macht dies in hohem Maße möglich, weil z.B. physikalisches Grundwissen auf konkrete technische Umsetzungen übertragen, oder grundlegende geographische Arbeitsmethoden zur Analyse der Standortwahl von Windrädern herangezogen werden. Fächerverbindende und fächerübergreifende Aufgabenstellungen sollen zu interdisziplinärem Lernen und Arbeiten befähigen.³ Die Erschließung von komplexeren Sachverhalten - meist Problemstellungen, die nicht im Rahmen eines einzelnen Faches erschlossen werden können - wird dadurch erst möglich gemacht.⁴ Im Gymnasium geht es nämlich nicht um die Vermittlung jeweils isolierten Fachwissens, sondern um ganzheitliche Bildungsarbeit. Damit können besonders Anwendungsbezüge bzw. auch solche zur Lebenswirklichkeit hergestellt werden, was Gelerntes erfahrbar macht und damit die Lernmotivation von Schülern fördert.⁵

4.2 Lernen an Stationen

4.2.1 Grundlagen

4.2.1.1 Definition und Begriff

„Lernen an Stationen“ bezeichnet nach HESKE eine Form des offenen Unterrichts, die vom Grundschulbereich ihren Weg auch in die Sekundarstufen I und II gefunden hat.⁶ Insbesondere die Methodenvielfalt und die Eigenständigkeit der Schüler sollen durch diese Unterrichtsform gefördert werden.⁷ Neben dem sich inzwischen besonders etablierten Begriff „Lernen an Stationen“ verwenden verschiedene Autoren noch weitere, wie beispielsweise „Lernzirkel“, „Stationenbetrieb“, „Stationenlernen“, „Lernstraße“ und viele mehr.⁸ Entscheidend ist aber nicht der Name, sondern die dahinter stehende Methodik. BAUER versucht eine Definition zu finden, indem er angibt: *„Lernen an Stationen [...] beschreibt jeweils das zusammengesetzte Angebot mehrerer Lernstationen, das die Lernenden im Rahmen einer übergeordneten Thematik (Unterrichtseinheit oder fächerverbindende Thematik) bearbeiten und unter Umständen teilweise selbst mitgestalten“*, wobei er unter Lernstation einen einzelnen Arbeitsauftrag oder ein einzelnes Lernangebot versteht.⁹ Ursprünglich kommt das Lernen an Stationen aus dem Sport

¹ <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26350>, aufgerufen am 12.03.07

² <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26350>, aufgerufen am 12.03.07

³ <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26350>, aufgerufen am 12.03.07

⁴ <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26350>, aufgerufen am 12.03.07

⁵ <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26350>, aufgerufen am 12.03.07

⁶ HESKE (2001) in „Mathematisch-Naturwissenschaftlicher Unterricht“ (54/7), S. 398

⁷ HESKE (2001) in „Mathematisch-Naturwissenschaftlicher Unterricht“ (54/7), S. 398

⁸ HEPP (1999) in „Unterricht Physik“ (Heft 51/52), S. 5 und BAUER (1997), S. 57

⁹ BAUER (1997), S. 59

(„circuit-training“)¹⁰. Inzwischen haben aber beide Formen nur noch wenige Gemeinsamkeiten aufzuweisen.

4.2.1.2 Arten und Einsatzmöglichkeiten

Grundsätzlich lassen sich Lernzirkel in jeder Phase des Unterrichts einsetzen. Dementsprechend unterscheidet man die vier Formen: Einführungszirkel, Erarbeitungszirkel, Übungszirkel und evtl. auch Kontrollzirkel (mit leichten Modifikationen: z.B. nur Einzelarbeit erlaubt).¹¹ Eine spezielle Art von Lernzirkeln insbesondere in naturwissenschaftlichen Fächern sind Experimentierzirkel. Es besteht hier die Möglichkeit, verstärkt Schülerexperimente durchzuführen. Aber auch bei den anderen Arten können Experimentierstationen vorhanden sein. BAUER nennt ebenfalls vier verschiedene Arten von Lernzirkeln: Übungszirkel, vertiefendes Bearbeiten neuer Inhalte, selbstständiges Erarbeiten neuer Inhalte, Vorlagen/Schulbuchseiten aufarbeiten.¹² Für ihn stehen folglich das Hinzufügen neuer Inhalte zu bekannten Themengebieten bzw. überhaupt das Erschließen von Neuem im Vordergrund von Lernzirkeln.

4.2.1.3 Aufbau

HEPP beschreibt 3 Phasen beim Einsatz eines Lernzirkels.¹³ In der Vorbereitungsphase müssen didaktische Vorüberlegungen bezüglich der Themenwahl, Materialien, Räumlichkeiten, Termin, usw. getroffen werden. Es müssen die Stationen bereitgestellt, sowie eventuell die Schüler vorbereitet werden. In der Durchführungsphase stehen dann vor allem organisatorische Fragen (z.B. Stationenwahl, Zeitbedarf, Gruppenbildung etc.) im Vordergrund. Daran soll sich eine Abschluss- und Auswertungsphase anschließen. Ein Gespräch (bzw. Diskussion) soll ein Resümee des Lernens an Stationen liefern, also Stärken und Schwächen, sowie den Verlauf reflektieren. Als Nachbereitung kann auch eine Fragestunde der Schüler an die Lehrkraft (hierfür kann der Theorieteil verwendet werden), eine Evaluation (Ausfüllen eines Fragebogens) oder eine Exkursion zu Windenergiestandorten durchgeführt werden.

4.2.2 Anforderungen an den Lehrer und Voraussetzungen der Schüler

Die Rolle des Lehrers ist eine grundsätzlich andere als beim traditionellen (Frontal-) Unterricht. Er verlässt die zentrale Anweisungs- oder Vermittlungsrolle und steht demzufolge nicht mehr im Mittelpunkt.¹⁴ Damit verschieben sich aber lediglich seine Aufgaben. „*Ein Schwerpunkt in der veränderten Lehrerrolle ist in der Vorbereitung und Aufarbeitung des Stoffes und in der Organisation des Unterrichts zu sehen, der den Lernenden einen optimalen direkten Zugang zu den Inhalten ermöglichen soll.*“¹⁵ Ihre Idealform erhält diese Unterrichtsform, wenn der Unterrichtsgegenstand so aufbereitet wird, dass er auf vielen verschiedenen Wegen erschlossen werden kann, also allen unterschiedlichen Lerntypen gerecht wird (haptisch, visuell, audiovisuell, intellektuell, u.a.).¹⁶ Während der Durchführung hat der Lehrer eine beobachtende

¹⁰ HEPP (1999) in „Unterricht Physik“ (Heft 51/52), S. 5

¹¹ HEPP (1999) in „Unterricht Physik“ (Heft 51/52), S. 6f

¹² BAUER (1997), S. 110

¹³ HEPP (1999) in „Unterricht Physik“ (Heft 51/52), S. 9 - 14

¹⁴ BAUER (1997), S. 157

¹⁵ BAUER (1997), S. 50

¹⁶ HESKE (2001) in „Mathematisch-Naturwissenschaftlicher Unterricht“ (54/7), S. 398

und beratende Funktion.¹⁷ Bei Problemen kann er außerdem individuelle Hilfestellung geben und mit seinem dadurch gewonnenem Bild der Fertigkeiten und auch Schwierigkeiten der Schüler gezielte Fördermaßnahmen gegenüber dem einzelnen Schüler treffen.

Auch die Rolle des Schülers muss beim Lernen an Stationen eine andere sein. Die Lernenden sollten einige Grundvoraussetzungen einbringen, die aber durch diese Methodik auch entwickelt bzw. gefördert werden. HEPP nennt hier als Schlagworte: Arbeitsdisziplin, Kommunikation, Setzen und Realisieren von eigenen Zielen, größere Selbstständigkeit, Selbstkontrolle, die Mitgestaltungsmöglichkeiten des Unterrichts verantwortlich zu nutzen (Stationenwahl, Arbeitszeit, Sozialform etc.).¹⁸ Der letztgenannte Punkt wird auch vom Lehrplan aufgegriffen: „*Schüler lernen erfolgreicher, wenn sie an der Gestaltung des Unterrichts mitwirken*“, weil dadurch das Interesse am Unterricht, sowie der Gemeinschaftsgeist und gegenseitige Rücksichtnahme gefördert werden.¹⁹

4.3 Fächerübergreifender Lernzirkel „Windenergie“ für die 11. Klasse

Der im Rahmen dieser Arbeit konzipierte Lernzirkel besteht aus insgesamt 13 Stationen, die sich mit dem Thema Windenergie fächerübergreifend auseinandersetzen. Dass sich Lernen an Stationen gut für überfachliche Themen eignet, ist schon aus der Definition von BAUER (siehe 5.2.1.1) ersichtlich. Der Hauptteil liegt hier im Bereich Physik und Technik. Ein weiterer fachlicher Schwerpunkt ist auf geographischer Ebene zu sehen, während wirtschaftliche, gesellschaftspolitische, geschichtliche und Umweltaspekte eher am Rand behandelt werden.

Es muss jedoch nicht nur auf fachliche Variabilität geachtet werden, sondern insbesondere auch auf Methodenvielfalt. Laut dem Bayerischen Lehrplan für Gymnasien spielen hier besonders die Recherche, Analyse und Aufbereitung von Informationen, sowie moderne Medien und Informationstechnologien eine große Rolle.²⁰ Ebenso wird der Erwerb überfachlicher Kompetenzen, wie Selbstkompetenz, Sozialkompetenz, Sachkompetenz und Methodenkompetenz, gefordert.²¹ Diesen Forderungen wird der erstellte Lernzirkel durch die verschiedenen Sozialformen, die verschiedenen Fachbereiche, den Bezug zur Lebenswirklichkeit und der Methodenvielfalt gerecht.

Der vorliegende Lernzirkel ist besonders für Schüler ab Jahrgangsstufe 11 geeignet und greift Themen quer durch alle bis dahin absolvierten Klassen auf. Das Herausgreifen einzelner Aspekte oder Aufgaben ist allerdings auch für untere Klassenstufen möglich. Die Berührungspunkte zu den Lehrplänen Physik und Geographie sollen im folgenden dargelegt werden.

4.3.1 Bezug zu den Fachlehrplänen

Ein zentrales Thema des Physiklehrplans ist es, den Schutz der Umwelt und die Sicherung der Energieversorgung zu behandeln. Da dieses Gebiet naturgemäß mehrere Fächer betrifft, fordert es zu interdisziplinärer Behandlung heraus. Schon im Fach Natur und Technik soll die Notwendigkeit umweltgerechten Handelns aufgezeigt werden.²² In der 6. Jahrgangsstufe wird Schülern die einfache und effektive Darstellung von Informationen mittels Graphiken bewusst, während die Klasse 7 Verbindungen zur Technik geschaffen werden sollen und die Nutzung des

¹⁷ HEPP (1999) in „Unterricht Physik“ (Heft 51/52), S. 6 und BAUER (1997), S. 160

¹⁸ HEPP (1999) in „Unterricht Physik“ (Heft 51/52), S. 6

¹⁹ <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26350>, aufgerufen am 12.03.07

²⁰ <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26350>, aufgerufen am 12.03.07

²¹ <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26350>, aufgerufen am 12.03.07

²² <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26334>, aufgerufen am 12.06.07

Internets erlernt wird.²³ Physik soll auch Fragestellungen aus der Geographie aufgreifen und von einer weiteren Seite beleuchten. Ein Hauptthema der Jahrgangsstufe 8 im Fach Physik ist die Energieerhaltung.²⁴ Hierzu gehört auch die Frage der Energieversorgung und in diesem Zusammenhang Umwelt- und Zukunftsfragen. Schüler sollen in diesem Alter selbst regelmäßig experimentieren. Die Grundlagen der Elektrizität erhalten Schüler der Klasse 9 (z.B. Elektromotor, Generator aber auch Konzepte wie der Wirkungsgrad etc.).²⁵ In der Jahrgangsstufe 10 wenden die Schüler die ihnen bekannte problemorientierte Vorgehensweise der Technik an Beispielen aus der modernen Technologie an.²⁶ Dies betrifft u.a. Bereiche wie der Flugphysik, Experimente im Windkanal, aber auch Corioliskraft und Wetterphänomene. Die 11. Klasse schließlich behandelt noch einmal das Thema Induktion und die Erzeugung sinusförmiger Wechselspannungen.²⁷

Im Fachlehrplan Geographie soll in der Jahrgangsstufe 7 die Nutzung der europäischen Meere als Wirtschaftsraum und die damit verbundenen Folgen des Ökosystems Meer besprochen werden.²⁸ Zudem steht die Sicherung der Energieversorgung in Europa zur Diskussion. Als geographische Arbeitstechniken werden hier die Beschaffung und Verarbeitung von Informationen, sowie deren Bewertung gelernt. Die Auswertung von Karten, und Band- sowie einfachen Flächendiagrammen und die Interpretation einfacher Statistiken stehen dabei im Vordergrund. Die Jahrgangsstufe 8 setzt sich mit dem verantwortungsbewussten Umgang mit Ressourcen und Ansätze einer nachhaltigen Entwicklung auseinander.²⁹ Außerdem lernen die Schüler die globalen Strahlungs- und Temperaturverhältnisse und deren zonale Anordnung kennen. Die Fähigkeit zur Nutzung moderner Informationstechnologien soll verfeinert werden. Die geographischen Arbeitstechniken aus Jahrgangsstufe 7 wird auch auf komplexere und schwierigere Fälle ausgeweitet. In der Jahrgangsstufe 10 soll das Zusammenspiel der Faktoren Naturraum und Wirtschaft dargelegt werden.³⁰ Die grenzüberschreitende weltweite Umweltpolitik wird vorgestellt und damit die Bereitschaft gefördert, sich für eine nachhaltige Entwicklung in der ganzen Welt einzusetzen. Die Grundlagen und Zielsetzungen nachhaltiger Entwicklung wird noch einmal speziell behandelt. Die 11. Jahrgangsstufe geht schließlich konkret auf regenerative Energieformen ein und in diesem Zusammenhang auf die Notwendigkeit eines nachhaltigen Ressourcenmanagements.³¹ Dem Aufbau der Atmosphäre, den globalen Beleuchtungsverhältnissen und dem Strahlungs- und Wärmehaushalt der Erde wird ein eigener Unterrichtsabschnitt gewidmet. Dabei soll auch das Wettergeschehen in Mitteleuropa veranschaulicht werden. Abschließend mit dieser Klasse können die Schüler die wichtigsten geographischen Arbeitstechniken, wie z.B. Bild- und Graphikinterpretationen, Interpretation von Parametern in Karten, Tabellen und Diagrammen und Recherchen zu ausgewählten Aspekten mithilfe von Literatur und Medien.

4.3.2 Themenauswahl

An das Thema eines Lernzirkels werden gewisse Anforderungen gestellt. *„Es sollte sich in einzelne Teile zerlegen lassen, deren Bearbeitung nicht zwingend in einer bestimmten Reihenfolge erfolgen muss.“*³² „Windenergie“ als relativ allgemein formuliertes Thema lässt dies

²³ <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26433> und <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26436>, jeweils aufgerufen am 12.06.07

²⁴ <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26437>, aufgerufen am 12.06.07

²⁵ <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26438>, aufgerufen am 12.06.07

²⁶ <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26439>, aufgerufen am 12.06.07

²⁷ <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26194>, aufgerufen am 12.06.07

²⁸ <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26303>, aufgerufen am 12.06.07

²⁹ <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26283>, aufgerufen am 12.06.07

³⁰ <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26481>, aufgerufen am 12.06.07

³¹ <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26547>, aufgerufen am 12.06.07

³² HEPP (1999) in „Unterricht Physik“ (Heft 51/52), S. 9

ohne weiteres zu, wie man am fachlichen Teil (1. bis 3.) sieht. Dabei soll das Themengebiet ganzheitlich behandelt werden und trotzdem die einzelnen Fächer und deren Lehrpläne Berücksichtigung finden (vgl. 4.3). Wie schon in 4.1 erläutert, stellt dieses Thema vielerlei Verknüpfungspunkte zu den jeweiligen Fachlehrplänen, aber auch dem allgemeinen Teil dar. Dieser Lernzirkel soll ohne spezielle Vorbereitung seitens der Schüler erarbeitet werden können, also an den Stoff der bisher besuchten Jahrgangsstufen anknüpfen. Eine Vorbereitung kann allerdings auch den Zeitrahmen der Durchführung etwas straffen.

4.3.3 Art des Lernzirkels

Der vorliegende Lernzirkel dient nicht speziell zur Vertiefung eines Themengebietes, bietet aber an vielen Stellen Bezug zum Lehrplan und damit auch die Möglichkeit der Wiederholung bekannter Sachverhalte und auch deren Vertiefung bzw. einen Transfer auf Anwendungsgebiete. Selbstverständlich werden auch Experimente durchgeführt. Somit kann man ihn im Sinne HEPPS als Vertiefungszirkel bezeichnen.³³ Nach der Nomenklatur von BAUER kann man ihn nicht eindeutig zuordnen, jedoch stehen das selbstständige Erarbeiten und vertiefende Bearbeiten neuer Inhalte im Vordergrund.³⁴ Somit knüpft der Zirkel an Bekanntem und im Unterricht Behandeltem an und stellt hier Bezüge zu neuen und weiterführenden Themen her.

4.3.4 Sozialform

Nach BAUER ist der Mensch sowohl Einzelwesen als auch Gemeinwesen, was bedeutet, dass ihm beide Sozialformen entsprechen und es notwendig ist alleine und auch gemeinsam zu arbeiten.³⁵ Neben der Einzelarbeit sind die Partnerarbeit und die Gruppenarbeit als mögliche kooperative Sozialformen zu nennen. Partnerarbeit ist dabei oft die am intensivsten wahrgenommene Form, da einzelne Schüler nicht so oft im Leerlauf stehen und sich nicht generell zurücknehmen können. Auf der anderen Seite besteht die Möglichkeit der gegenseitigen Hilfe und Beratung.³⁶ Auch im Lehrplan des Gymnasiums wird sowohl ein individuelles als auch ein gruppenorientiertes Lernverhalten gefordert.³⁷ „Durch unterschiedliche soziale Lernformen lernen die Jugendlichen die Bedingungen und Vorzüge von Teamarbeit kennen.“³⁸ Allerdings setzt die Zusammenarbeit in der Gruppe auch Selbstständigkeit und Eigeninitiative voraus.³⁹ Im vorliegenden Lernzirkel ist es bei allen Aufgaben möglich, partnerweise zu arbeiten. Die Gruppen sollten aber nicht zu groß sein (maximal 4 Schüler). Auf der anderen Seite können fast alle Aufgaben auch in Einzelarbeit bewältigt werden (Ausnahme z.B. bei Diskussionsaufgaben). Es kann sinnvoll und hilfreich sein, zwischen den Sozialformen und auch die Arbeitspartner zu wechseln.

4.3.5 Aufgabengestaltung und Materialwahl

Die Aufgaben sollten klar und eindeutig formuliert sein und verschiedenste Sinne des Schülers ansprechen.⁴⁰ Mit dem Einbezug von verschiedensten Medien und Schülerexperimenten ist in

³³ HEPP (1999) in „Unterricht Physik“ (Heft 51/52), S. 7

³⁴ BAUER (1997), S. 110

³⁵ BAUER (1997), S. 50

³⁶ HEPP (1999) in „Unterricht Physik“ (Heft 51/52), S. 10

³⁷ <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26350>, aufgerufen am 12.03.07

³⁸ <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26350>, aufgerufen am 12.03.07

³⁹ <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26350>, aufgerufen am 12.03.07

⁴⁰ HEPP (1999) in „Unterricht Physik“ (Heft 51/52), S. 10

diesem Zirkel eine Beanspruchung aller für das Lernen wichtigen Sinne gewährleistet. Bei den Experimenten wurde darauf geachtet, Alltagsgegenstände einzubeziehen. Dies ist eine Forderung HEPPS, um Alltagsvorstellungen und Erfahrungen der Schüler zu nutzen.⁴¹ Andererseits soll gezeigt werden, dass auch ohne großen Aufwand - wie es in anderen Vorschlägen zur Behandlung des Themas „Windenergie“ oft der Fall ist - vernünftige experimentelle Ergebnisse zu erzielen sind. Die einzelnen Stationen sind übersichtlich gegliedert und die Schwierigkeitsgrade gekennzeichnet.

4.3.6 Bearbeitungsreihenfolge

Die Bearbeitungsreihenfolge ist prinzipiell beliebig. Von Vorteil ist es aber, mit einfachen Stationen zu beginnen und dann zu insgesamt schwierigeren überzugehen. Als Auflockerung können dann die Zwischenstationen herangezogen werden. Wenn es möglich ist (evtl. mehrfach anbieten), sollten die Stationen 1 und 2 von jedem Schüler bearbeitet werden. Diese beiden Stationen beinhalten die grundlegenden Themen der Entstehung des Windes und dessen technischen Nutzung.

4.3.7 Vertrautmachen mit den Stationen

Nach BAUER ist es wegen der begrenzten Aufnahmefähigkeit der Schüler wenig sinnvoll, die Stationen alle einzeln durch den Lehrer vorzustellen.⁴² Er favorisiert einen rechtzeitigen Aufbau der Stationen, so dass sich die Schüler selbst ein Bild von den einzelnen Aufgaben machen können und dann je nach Interesse entscheiden sollen. Alternativ wäre auch ein „Ausstellungsrundgang“ vor Arbeitsbeginn denkbar.⁴³ Eine Möglichkeit der Schüler, sich selbst ein Bild von Stationen machen zu können besteht in einer Übersichtsliste, in der das Thema, der Schwierigkeitsgrad, die Art der Vorlagen (Medien) und der Arbeitsweisen und die Hauptgebiete der Stationen aufgelistet sind. So können sich Schüler auch während der Bearbeitung des Zirkels noch über die Stationen informieren und ihre Bearbeitungsreihenfolge wählen.

4.3.8 Zeitbedarf an den Stationen in der Sekundarstufe II

Für die Sekundarstufe I wird eine Bearbeitungszeit an einer Stationen von etwa 15 Minuten eingeplant.⁴⁴ In der Sekundarstufe II gibt es bisher kaum Richtwerte, allerdings dürfte für eine elfte Klasse durchaus 30 Minuten für eine Station angebracht sein. Bei dem hier vorgestellten Lernzirkel können einige Stationen aber länger als eine halbe Stunde dauern. Dies ist natürlich stark von der Begabung und der Motivation der Schüler abhängig, so dass generelle Aussagen zu Bearbeitungszeiten sehr schwer zu treffen sind. Es sind daher für jede Station eher mehr als zu wenig Aufgaben vorgesehen, die von der Lehrkraft und/oder auch von den Schülern noch selektiert oder gar geteilt werden können (z.B. können aus einer zwei Stationen gemacht werden). Dies ist mit der Dateiversion des Lernzirkels in der beigelegten CD ohne größeren Aufwand möglich. So ist auch noch innerhalb einer Station eine Differenzierung möglich. BAUER warnt vor einem zu engem Zeitrahmen und dem damit verbundenen Zeitdruck.⁴⁵ Gerade ein Lernzirkel ermöglicht es, dass jeder Schüler sein Arbeitstempo bestimmen kann und sich

⁴¹ HEPP (1999) in „Unterricht Physik“ (Heft 51/52), S. 10

⁴² BAUER (1997), S. 88

⁴³ BAUER (1997), S. 88

⁴⁴ HEPP (1999) in „Unterricht Physik“ (Heft 51/52), S. 10

⁴⁵ BAUER (1997), S. 81

auch auf eine Fortsetzung am nächsten Tag einstellen kann.⁴⁶ Zudem ist nur durch längerfristiges Arbeiten an einem Gegenstand ein Interessensaufbau möglich.⁴⁷

4.3.9 Anzahl der Stationen

Nach HEPP genügen 10 bis 15 Stationen für bis zu 30 Schüler.⁴⁸ Bei diesem Zirkel werden insgesamt 13 Stationen angeboten. Teilweise können sie mehrfach aufgebaut werden, so dass er für bis zu 30 Schüler angewendet werden kann.

4.3.10 Hilfen

Es werden ganz unterschiedliche Hilfestellungen angeboten. Im Vordergrund steht aber, dass die Schüler zunächst immer erst selbstständig versuchen sollen, die Aufgaben zu lösen. Als eine der ersten Hilfemaßnahmen sollte die Partnerarbeit und die gegenseitige Hilfe der Schüler stehen. Dann stehen auch Computer mit Internetzugang zur Verfügung. Hier werden teilweise die Internetadressen bereits angegeben, um Zeit zu sparen, insbesondere bei schwer aufzufindenden Informationen. Der Fachteil dieser Zulassungsarbeit sollte gedruckt vorliegen, sowie als Datei auf den Computern vorhanden sein. Darüber hinaus gibt es vom Bundesverband für Windenergie ein sehr schönes, anschauliches Heft⁴⁹, in dem alle wichtigen Stichworte alphabetisch geordnet erklärt werden. Es liegt auch als pdf-file vor, so dass es neben einer gedruckten Version auch auf den Computern zur Verfügung gestellt werden kann. Eine direkte Hilfe gibt es auch bei jeder Station auf einem (oder mehreren) Blatt. Hier wird so vorgegangen, dass zunächst nur wenig Hilfe angeboten wird und dann nach und nach mehr bis zur Lösung. Der Forderung HEPPS nach Selbstkontrolle der Schüler wird hier genüge getan.⁵⁰

4.3.11 Laufzettel, Übersichtsliste und Anleitung

Die schon in 4.3.6 angesprochene Übersichtsliste soll möglichst groß an der Tafel angeheftet werden. Ebenso kann man vor dem Zirkel die im Anhang 9d) bereitgestellte Anleitung kurz mit den Schülern durchgehen und dann zum Nachlesen ebenfalls an der Tafel anbringen. Außerdem ist zur Motivationssteigerung der Schüler eine Klassenliste, die mit Spalten für die einzelnen Stationen versehen wurde, sinnvoll. In diese macht der entsprechenden Schüler, wenn die Stationen fertig bearbeitet wurde, dann einen Haken. So ist für alle zu sehen, wie viel man schon gearbeitet hat. Für schwächere Schüler sind die Stationen evtl. zu kürzen (siehe 4.3.7), damit auch sie Erfolgserlebnisse im dargestellten Sinn erleben können. Hier ist das Fingerspitzengefühl der betreuenden Personen gefragt.

Grundsätzlich muss jeder Schüler das Papier selbst mitbringen, das er zur Bearbeitung der Stationen braucht. Für jede Station ist extra Papier zu verwenden, die mit dem/den Namen und der Aufgabennummer zu versehen ist (siehe Anleitung Anhang 9d). Lediglich an den Stationen, an denen vorgefertigte Zeichnungen etc. bearbeitet werden müssen, liegen die entsprechenden Vordrucke aus. Die bearbeiteten Aufgaben bleiben an jeder Station verdeckt liegen (also ohne die Einsicht der nächsten Schüler), so dass eine Auswertung der Schwierigkeiten der Stationen am Ende des Zirkels leicht ausgewertet werden können.

⁴⁶ BAUER (1997), S. 81

⁴⁷ BAUER (1997), S. 81

⁴⁸ HEPP (1999) in „Unterricht Physik“ (Heft 51/52), S. 10

⁴⁹ http://www.wind-energie.de/fileadmin/Shop/Broschueren/A-Z/BWE_A-Z_interaktiv.pdf, aufgerufen am 10.02.07, S. 39

⁵⁰ HEPP (1999) in „Unterricht Physik“ (Heft 51/52), S. 10

4.3.12 Die Stationen in der Übersicht

In diesem Kapitel wird jede Station kurz vorgestellt, die Hintergedanken dargelegt, sowie Aufbauanleitungen, benötigte Materialien sowie ergänzende Tipps dargestellt. Auch die benutzten Quellen zu den einzelnen Stationen werden angegeben. Zunächst jedoch werden noch einige allgemeine Hinweise gegeben.

- Einige wenige Seiten, insbesondere solche mit Graphiken oder Fotos, sollten bunt ausgedruckt werden, die meisten Seiten können aber schwarz-weiß vervielfältigt werden.
- Die Experimentieraufgaben sind mit der jeweiligen Aufgabennummer kenntlich zu machen, damit die Schüler wissen, wo welche Aufgabe aufgebaut ist.
- Bearbeitet eine Gruppe eine Station, kann auch wie folgt vorgegangen werden: Die Schüler teilen sich die Aufgaben einer Station auf und demonstrieren bzw. erklären sie sich anschließend gegenseitig. So kann Zeit gespart werden und die Aufgaben noch mehr nach Interessenlage und Begabung der Schüler verteilt werden.

Station 1

Hier sollen die Entstehung des Windes und eine grundlegende Gleichung für den Energieübertrag auf eine Windenergieanlage erschlossen werden. Es ist also eine Station, die aufgrund ihres Grundlagencharakters von jedem Schüler bearbeitet werden sollte. Sie ist ohne weiteres mehrfach aufbaubar. Es sind alle Schwierigkeitsstufen vertreten, so dass für jeden Schüler entsprechend gefordert werden kann. Neben den obligatorischen Rechenaufgaben werden mit dem Erstellen von Skizzen und der Informationsbeschaffung aus dem Internet auch Grundfertigkeiten von den Schülern verlangt. Das Arbeitsblatt zu Aufgabe 1 muss in ausreichender Anzahl kopiert werden.

Quellenangaben:

- Hinweise zu Aufgabe 3, Graphik: BERGE (2005), in „Unterricht Physik“ (Heft 88), S. 5
- See und Landwind, Graphik: BUSCH, KUTTLER (1990), S. 22
- Berge, Graphik: GASCH, TWELE (2005), S. 134
- Berg-, Tal- und Hangwindssysteme, Graphik: BUSCH, KUTTLER (1990) S. 52
- Lösung zu Aufgabe 5, Text: Neue Energie, Heft 02/07, S. 7
- Benskamp bei Arnsberg nach dem Sturm „Kyrill“, Foto: Neue Energie, Heft 02/07, S. 6f

Station 2

Diese Station befasst sich hauptsächlich mit den Bauformen und Arten von Windeenergiewandlern. Auf der einen Seite sollen die heute gängigen und inzwischen in fast jeder Region aufgestellten Anlagen eingehend beleuchtet werden. Auf der anderen Seite wird aber auch klar gemacht, dass es zudem weitere Möglichkeiten gibt, die teilweise nur noch von historischem Interesse sind. Der Weg der Energiewandlung und deren technische Umsetzung soll verstanden werden. Durch Schaubilder, Tafeln, Lückentext und den Einsatz von Internet und Film soll dieses sehr technische Thema aufgelockert und anschaulich gemacht werden. Ähnlich wie Station 1 ist auch diese Station eine sehr grundlegende. Sie liefert die (technische) Basis für Schüler um in die aktuelle Diskussion um die Windenergie einsteigen zu können. Die Arbeitsblätter zu Aufgabe 2 und Aufgabe 6 müssen in ausreichender Anzahl kopiert werden.

Quellenangaben:

- Schnitt durch eine moderne Windenergieanlage, Graphik: KHARTCHENKO (1997) S. 216
- Leistungskennlinie einer Windenergieanlage, Graphik: nach MATHEW (2006), S. 148
- Typen von Windenergieanlagen, Graphik: nach GASCH, TWELE (2005) S. 52
- Fundament einer WEA, Foto:
<http://www.wind-energie.de/fileadmin/bilder/fohlen/downloads/anlagenaufbau.ppt>
aufgerufen am 17.02.07

Station 3

In dieser Station wird die aktuelle Diskussion um Für und Wider der Windenergienutzung aufgegriffen. Die Schüler werden dazu angeleitet, sich selbst eine Meinung zu bilden und diese auch begründen zu können. Eine Rechnung soll die Grenzen des Anlagenbaus aufzeigen. Die beigelegten Zeitungsartikel sind ein Gastbeitrag aus der Mainpost vom 31. Januar 2007, sowie die daraufhin eingegangenen Leserbriefe, die am 03. Februar veröffentlicht wurden. Am besten sind aber natürlich eigene (Zeitungs-) Artikel mit regionalen Bezügen.

Quellenangaben:

- Jährlicher Energiebedarf in Deutschland: <http://www.iwr.de/news.php?id=10022>
aufgerufen am 17.04.07
- Fläche Deutschland: gerundet nach <http://de.wikipedia.org/wiki/Deutschland>
aufgerufen am 17.04.07
- Durchschnittliche Nennleistung einer Windenergieanlage: eigene Abschätzung
- Durchschnittliche Auslastung: eigene Abschätzung
- Lösung zu Aufgabe 4, Text: http://www.hornsrev.dk/nyheder/brochurer/Horns_Rev_TY.pdf
aufgerufen am 18.02.07
- Zeitungsartikel: Mainpost vom 31.01.07 und 03.02.07

Station 4

Diese Station ist eine Experimentierstation. Die Schüler sollen verstehen, welche Wirkung das Verstellen des Blattwinkels für die Leistungsaufnahme hat. Hier wurde versucht, mit möglichst alltäglichen Materialien auszukommen. Im Gegensatz dazu stehen viele andere Versuchsvorschläge, bei denen man erst aufwändige oder teure Aufbauten durchführen muss.

Dementsprechend gängige Materialien werden für den Aufbau benötigt:

- Stand-Ventilator mit mehreren Stufen (z.B. aus dem Supermarkt für ca. 30,- €)
- kleiner Generator oder auch Motor
- Pappe
- Schrauben, Muttern, Metallklemmen
- dünne Holzbrettchen
- Legotechnik - Achse, T-Stück, - Lager und - Übertragungsrad
- Stativmaterial
- Voltmeter, Amperemeter
- Kabel, evtl. Krokodilklemmen

Den auf folgendem Bild zu sehenden zweiflügligen Rotor mit drehbaren Flügeln baut man wie folgt.

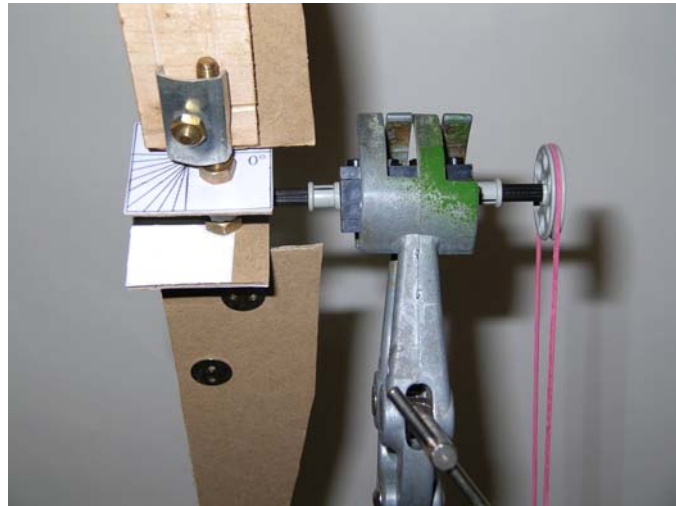


Abb. 4.1: Zweiflügliger, drehbarer Rotor [eigenes Foto vom 27.06.07]

Als Nabe nimmt man ein T-Stück von Legotechnik, in deren geschlossene Seite man die Achse einsteckt und die offene einen Gewindestab, der genau passen muss, einschraubt (es geht natürlich eine entsprechende geköpfte Schraube). Mit zwei Muttern fixiert man die Stange gegen Verdrehen. Nun setzt man auf jeder Seite die auf Pappe geklebten Winkelskalen (Schrittweite 10°) mittels eines genau angeordneten Lochs auf und fixiert diese ebenfalls wieder mit einer Mutter.

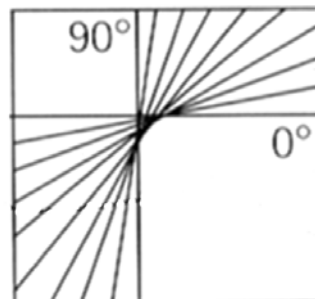


Abb. 4.2: Winkelskala [nach RINCKE (2005), in „Unterricht Physik“ (Heft 88), S. 29]

Jetzt muss man nur noch die Holzplättchen mit den Metallklemmen und einer kleinen Schraube und Mutter am Rest der Gewindestange festklemmen. Um die Flügel stabiler zu machen, ist es zweckmäßig, die Holzbretchen etwas einzukerben, wo die Klemmen zur Berührung kommen (siehe Abbildung 4.1). Auf die Bretchen können nun Flügel aus Pappe in beliebiger Form und auch Größe mit Reißnägeln befestigt werden.

An die Achse steckt man hinter dem Lager aus Legotechnik ein Übertragungsrad, das die Leistung mit einem Gummiband auf den Generator überträgt. An den Generator schließt man einen Stromkreis mit Amperemeter und Voltmeter an. Als Verbraucher muss man einen sehr geringen Widerstand benutzen oder den Stromkreis direkt über das Amperemeter „kurzschließen“. Da aber jedes Amperemeter einen, wenn auch kleinen, Widerstand aufweist genügt dieser oft schon, weil nur sehr geringe Leistungen zu erzielen sind.



Abbildung 4.3: Modell einer Windenergieanlage mit verstellbaren Flügeln [eigenes Foto vom 27.06.07]

Der Gesamtaufbau der Station sieht dann wie folgt aus.



Abb. 4.4: Aufbau Station 4
[eigenes Foto vom 27.06.07]

Es ist am besten, die Versuche vorher einmal zu testen, insbesondere daraufhin, welche Lüfterstufe(n) am besten geeignet ist. Der Ventilator erzeugt keinen laminaren gleichmäßigen Luftstrom, sondern einen, der mit Wirbeln und einem generellen Drehmoment behaftet ist. Das bedeutet, dass auch bei einem Anstellwinkel von 0° noch eine deutliche Leistungsaufnahme erfolgt. Diese Tatsache zeigen natürlich auch die aufgenommenen Kurven.

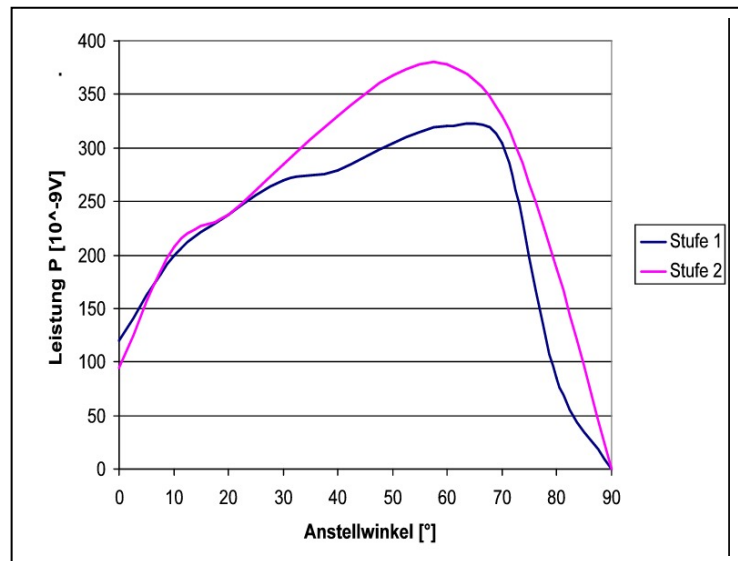


Abb. 4.5: Ergebnis des Versuchs vom 27.06.07

Um diese Abweichung von der Realität zu beseitigen muss man entweder eine speziell gebaute und damit natürlich wieder teurere Strömungsanlage benutzen oder aber durch geeignete Maßnahmen den Luftstrom beeinflussen. Eine Möglichkeit ist es, den Luftstrom durch Trinkröhrchen laufen zu lassen. Dem Vorteil einer Luftströmung mit großem Querschnitt steht nun aber der Nachteil einer sehr großen Zahl dazu benötigter Trinkhalme gegenüber. Wie man an der Abbildung 4.5 erkennt, ist auch ohne Röhrchen ein akzeptables Ergebnis zu erwarten. Das Arbeitsblatt (Protokollblatt) ist in ausreichender Zahl zu kopieren.

Quellenangaben:

- Ergebnis des Versuchs vom 27. Juni 2007, Graphik: eigene Graphik vom 29.06.07
- Prinzip der Pitch-Regelung, Graphik: GASCH, TWELE (2005), S. 59

Station 5

Bei dieser Experimentierstation sollen die Schüler die entscheidenden Kräfte, die auf die Flügel wirken, erforschen. Die beiden wichtigsten Kräfte (in Wirklichkeit gibt es natürlich noch wesentlich mehr) sind die Auftriebskraft und die Widerstandskraft. Der Aufbau beider Teilversuche ist sehr ähnlich, evtl. ist ein Umbau der Station auch durch die Schüler selbst möglich. Bis auf die beiden Profilstücke werden nur gängige Materialien für den Aufbau benötigt:

- Stand-Ventilator mit mehreren Stufen (z.B. aus dem Supermarkt für ca. 30,- €)
- Stativmaterial, Drehmuffe
- Profil (2x)
- Kraftmesser
- Umlenkrolle, Schnur

Das Profil erstellt man sich relativ leicht aus einem Brett mit den Maßen 12 cm x 24 cm x 2 cm, indem man es an einem Stück zurechtschleift und anschließend in der Mitte zersägt. Dann bohrt man die Profile seitlich an und schraubt sie von beiden Seiten an eine Gewindestange fest an, auf die man vorher die Winkelskalen (siehe Station 4) mit Muttern befestigt hat. Die Profile müssen zueinander umgekehrt angebracht werden. Mittels Stativmaterial befestigt man dann dieses Profil zunächst horizontal drehbar. Die Achse liegt also waagrecht.

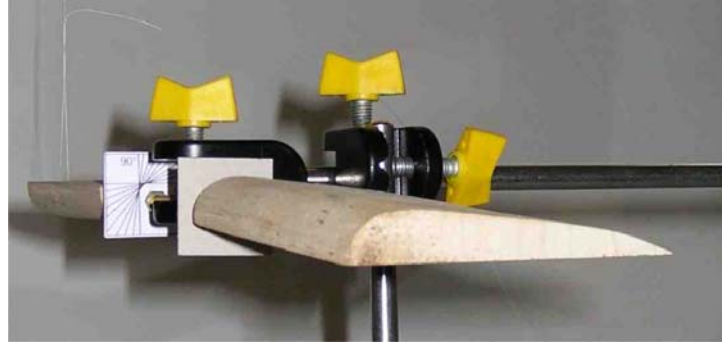


Abb. 4.6: Waagrecht drehbar gelagertes, doppeltes Profil [eigenes Foto vom 04.07.07]

Es ist darauf zu achten, dass sich das Rotormodell leicht dreht. Viele Muffen verklemmen sich schnell, so dass es vorteilhafter sein kann, eine normale Klemme zu benutzen, in die man die Stange ausbalanciert hineinlegt, ohne sie festzuschrauben (Abb. 4.6). An einem Flügel befestigt man außen eine Schnur, die man mit dem anderen Ende an einem Kraftmesser anbringt. Es entsteht also ein Drehmoment, das gemessen wird, indem ein Kraftmesser in einem festen Abstand montiert wird.



Abb. 4.7: Gesamtaufbau zur Messung der Auftriebskraft [eigenes Foto vom 04.07.07]

Der Aufbau zur Messung der Widerstandskraft ist sehr ähnlich. Jetzt muss der Rotor allerdings um die senkrechte Achse drehbar montiert werden (mit einer leicht gängigen Drehmuffe) und somit die Schnur über eine Umlenkrolle auf den Kraftmesser gelenkt werden.



Abb. 4.8: Aufbau zur Messung der Widerstandskraft [eigenes Foto vom 04.07.07]

Diesen Versuchsteil führt man nur an einem Flügel durch. Der andere Flügel wird nicht benötigt und während des ganzen Versuchs waagrecht gehalten. Den Flügel, den man einstellt, positioniert man am besten in der Mitte des Luftstroms. Die Schnur wurde hier nicht außen, sondern weiter innen, nach dem Profil angebracht, um ein besseres Drehmoment und somit ein weiteres Ausschlagen des Kraftmessers zu erzielen.



Abb. 4.9: Gesamtaufbau zur Messung der Widerstandskraft [eigenes Foto vom 04.07.07]

An einigen Schulen wird es auch schon fertige Materialien von Lehrmittelfirmen für solche Versuche geben, wie z.B. Profile oder Luftdüsen. Man kann diese durchaus benutzen, sollte jedoch darauf achten, für die beiden Teilversuche das gleiche Profil zu benutzen. Damit macht man den Schülern klar, wie beide Kräfte am gleichen Flügel wechselwirken.

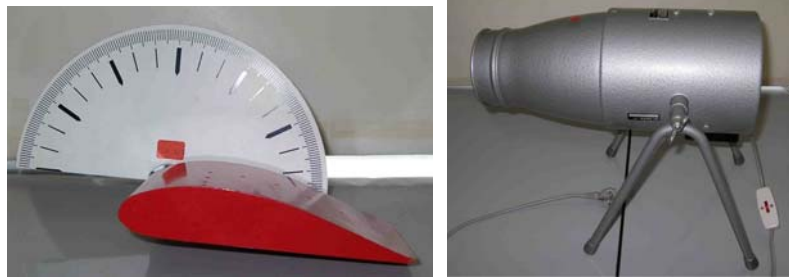


Abb. 4.10: Geeignete Materialien von Lehrmittelfirmen [eigene Fotos vom 04.07.07]

Man hat mit den erhaltenen Kurven dann so etwas wie Kennlinien für das Profil, die man durchaus mit professionellen Kurven vergleichen kann.

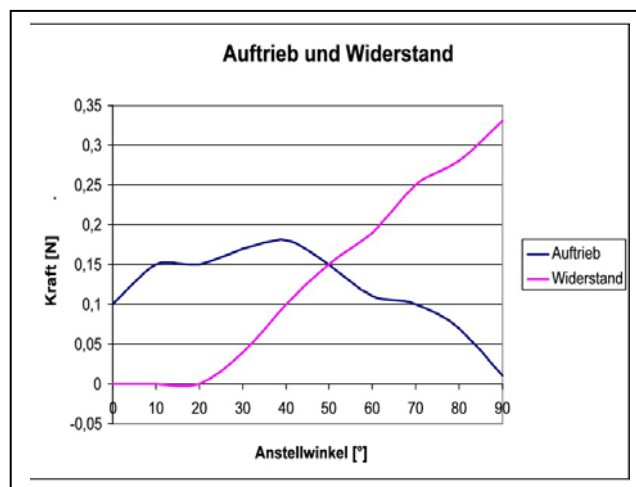


Abb. 4.11: Ergebnis des Versuchs vom 04.07.07

Das Arbeitsblatt (Protokollblatt) ist in ausreichender Zahl zu kopieren.

Quellenangaben:

- Ergänzende Informationen, Graphik: nach GASCH, TWELE (2005), S. 44

Station 6

Hier steht die Frage nach der Zukunft der Windenergie im Vordergrund. Zur Erschließung dieses Themenkomplexes werden vor allem neue Medien, wie Film, Internet und Präsentationen eingesetzt. Es sollen aber auch Graphiken, die die Entwicklung beschreiben, interpretiert werden. Dies ist eine grundlegende Fertigkeit, mit der man fast täglich konfrontiert wird. Die Schüler sollen lernen, die wichtigen Informationen von Graphiken herauszustellen und diese zu verstehen.

Die Graphiken müssen in Farbe ausgedruckt oder kopiert werden, da sonst die Qualität für eine Interpretation sehr schlecht ist.

Quellenangaben:

- Repowering_Hemme.wmv und Repowering.ppt: Bundesverband für Windenergie:
www.wind-energie.de; aufgerufen am 17.02.07

- Filmausschnitt „Abenteuer Wissen“ vom 16.05.2007: ZDF 2007
- Jährlicher Neubau an Nennleistung in Deutschland, Graphik:
<http://www.wind-energie.de/fileadmin/bilder/fohlen/downloads/entwicklung.ppt>
aufgerufen am 17.02.07
- Jährlicher Neubau an Nennleistung in der Welt, Graphik:
<http://www.wind-energie.de/fileadmin/bilder/fohlen/downloads/entwicklung.ppt>
aufgerufen am 17.02.07
- Installierte Gesamtleistung in der Welt, Graphik:
<http://www.wind-energie.de/fileadmin/bilder/fohlen/downloads/entwicklung.ppt>
aufgerufen am 17.02.07
- Prinzip des Repowering, Graphik:
<http://www.wind-energie.de/fileadmin/bilder/fohlen/downloads/repowering.ppt>
aufgerufen am 15.02.07

Station 7

Da dies eine Station mit dem Schwerpunkt geographischer Fragestellungen zum speziellen Standort Deutschland ist, liegt die Hauptaufgabenstellung in der Interpretation von Karten und Skizzen. Zudem soll die aktuelle Situation der Windenergie im eigenen Land besser verstanden werden, sowie die komplizierte Auswahl von letztendlichen Standorten für Anlagen deutlich gemacht werden.

Die Graphiken und Karten müssen in Farbe ausgedruckt oder kopiert werden, da sonst die Qualität sehr schlecht für Interpretationen ist.

Quellenangaben:

- Filmausschnitt „Abenteuer Wissen“ vom 16.05.2007: ZDF 2007
- Durchschnittliche Windgeschwindigkeiten in Deutschland, Graphik: BERGE, RADECKE (2005) in „Unterricht Physik“ (Heft 88), S. 12
- Höhenverteilung der Windgeschwindigkeiten in Deutschland, Graphik: BERGE, RADECKE (2005) in „Unterricht Physik“ (Heft 88), S. 11
- Aufgabe 5, Graphik 1: GASCH, TWELE (2005), S. 134
- Aufgabe 5, Graphik 2: GASCH, TWELE (2005), S. 134
- Aufgabe 5, Graphik 3: GASCH, TWELE (2005), S. 161
- Aufgabe 5, Graphik 4: MATTHEW (2006), S. 50
- Aufgabe 5, Graphik 5: WALKER, JENKINS (1997), S. 100
- Bundesländergrenzen - ohne Bezeichnungen -, Graphik:
http://de.wikipedia.org/wiki/Bundesland_%28Deutschland%29 aufgerufen am 25.05.07
- Bundesländer in Deutschland seit dem 3. Oktober 1990, Graphik: Diercke Weltatlas, S. 73
- Luft strömt über ein Hindernis (z.B. Berg), Graphik: MATHEW (2006), S. 51

Station 8

An dieser Station soll aufgezeigt werden, dass Windenergie nur eine Möglichkeit von vielen alternativen Energieformen ist. Um sich Informationen zu diesem Komplex anzueignen, sind das gemeinsame Brainstorming und dann eine Ergänzung durch das Internet geeignete Methoden. Man benötigt gezielte Berechnungen, um den Stellenwert und das Potenzial der einzelnen Energieformen abzuschätzen und gegenüber zu stellen. Die Schüler sollen nicht nur eine Vorstellung der aktuellen Situation der Windenergie gegenüber anderen alternativen Energieformen (insbesondere für Deutschland) entwickeln, sondern auch die Möglichkeiten,

Grenzen und Ziele für die Zukunft kennen lernen. Die Arbeit mit Statistiken und verschiedenen graphisch aufbereiteten Szenarios sind hier als Bearbeitungsgrundlage gut geeignet.

Quellenangaben:

- Potenziale alternativer Energiequellen, Graphik:
http://www.wind-energie.de/fileadmin/bilder/fohlen/downloads/szenarien_potenziale.ppt
aufgerufen am 17.02.07
- Entwicklung des Energieverbrauchs und Erzeugungszusammensetzung, Graphik:
http://www.wind-energie.de/fileadmin/bilder/fohlen/downloads/szenarien_potenziale.ppt
aufgerufen am 17.02.07

Station 9

Vor dieser Station muss die Station 2 bearbeitet worden sein, um die nötigen Grundlagen bereit zu haben. Es ist eine vor allem technische Fragen behandelnde Station. Dementsprechend hohes Interesse an technischen Fragestellungen und Umsetzungen sollten die diese Aufgaben bearbeitenden Schüler mitbringen. Mathematische Ansätze und Berechnungen spielen hier natürlich eine große Rolle. Dass nur ein geringer Anteil der im Wind enthaltenen Energie überhaupt nutzbar ist, ist die entscheidende Erkenntnis dieser Station. Da sie einen recht hohen Schwierigkeitsgrad hat, richtet sie sich besonders an physikalisch interessierte und begabte Schüler. Als Modelle für einen Auftriebs- und einen Widerstandsläufer eignen sich einfache, selbst gebaute Windräder, z. B. mit einem Propeller aus dem Modellbau (Auftriebsläufer) bzw. auf Pappe geklebte Überraschungseierrhälften (Widerstandsläufer).

Quellenangaben:

- Leistungsbeiwert-Kurve, Graphik: eigene Graphik nach Daten aus GASCH, TWELE (2005), S. 460
- Der Wirkungsgrad einer Windenergieanlage, Graphiken: eigene Graphiken
- Der Wirkungsgrad einer Windenergieanlage, Zitat: TACKE (2003), S. 62
- Prinzip des Widerstandsläufers, Graphik: eigene Graphik
- Schalenkreuzanemometer, Foto: <http://de.wikipedia.org/wiki/Anemometer>
aufgerufen am 11.02.07
- Prinzip des Schalenkreuzanemometers und entsprechende Luftwiderstandswerte, Graphik: nach BERGE (2005) in „Unterricht Physik“ (Heft 88), S. 6
- Prinzip des Auftriebsläufers, Graphik: nach BERGE (2005) in „Unterricht Physik“ (Heft 88), S. 6
- Bockwindmühle in Werder a. d. Havel, Foto: eigenes Foto vom 29.06.07
- Moderne Windenergieanlage (Auftriebsläufer) mit aerodynamisch geformten Flügeln, Foto: eigenes Foto vom 08.03.07 bei Biebelried
- Wirkungsgrad c_p über der Schnelllaufzahl λ verschiedener Konzepte, Graphik: aus BERGE (2005) in „Unterricht Physik“ (Heft 88), S. 9

Station 10

Die dritte Experimentierstation misst die Leistung einer Windenergieanlage (Modell) in Abhängigkeit von der Flügelzahl und auch der Flügelfläche. Zum einen soll die Gesamtfläche des Rotors konstant gehalten werden und lediglich die Verteilung dieser Fläche auf die Flügelzahl variiert werden. Aber auch eine mit der Flügelzahl ansteigende Gesamtfläche wird

untersucht. Als Windmaschine benutzt man wieder einen Ventilator. Die Rotoren sind leicht aus Pappe und Holzzylindern herzustellen. Man benötigt folgendes Material:

- Stand-Ventilator mit mehreren Stufen (z.B. aus dem Supermarkt für ca. 30,- €)
- kleiner Generator oder auch Motor
- Pappe
- Holzstab (etwa 3 cm dick)
- Legotechnik - Achse, - Lager und - Übertragungsrad
- Stativmaterial
- Voltmeter, Amperemeter
- Kabel, evtl. Krokodilklemmen

Die Rotornaben baut man sich selbst: Zuerst schneidet man den Holzstab in gleich große Stücke, alle ca. 2 cm lang. In die Mitte bohrt man jeweils ein Loch, das etwas kleiner ist als die Legotechnik-Achsen. Außen sägt man im 45°-Winkel schräge Schlitz ein, die etwas dünner sind als der verwendete Karton. Man sägt in gleichmäßigen Abständen soviel Schlitz, wie man später Flügel benötigt, also 2 bis 5. Je genauer man arbeitet, desto besser und gleichmäßiger dreht sich später der Flügel.



Abb. 4.12: Nabe des Vierflüglers [eigenes Foto vom 11.07.07]

Für die Rotorblätter gleicher Gesamtfläche schneidet man aus der jeweils gleichen Kartonfläche (z.B. 9 cm x 14 cm) die benötigte Anzahl an Flügeln aus.

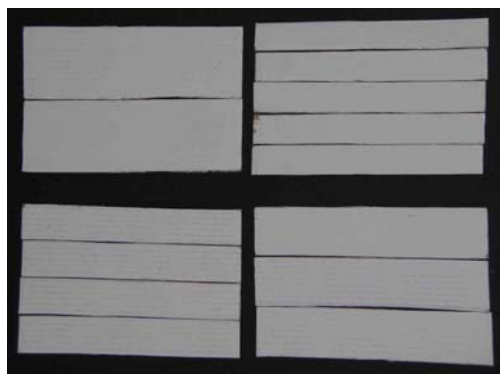


Abb. 4.13: Herstellung der Flügel gleicher Gesamtfläche [eigenes Foto vom 11.07.07]

Als Flügelmaterial eignet sich stabiler Karton am besten. Folgende Abbildung zeigt die fertigen Rotoren, bei denen die Flügel einfach in die Naben gesteckt werden. Sollten sie nicht halten, so kann man auch Kleber benutzen. Besser ist jedoch, genau zu sägen, dann kann man später die Flügel einfach wechseln.

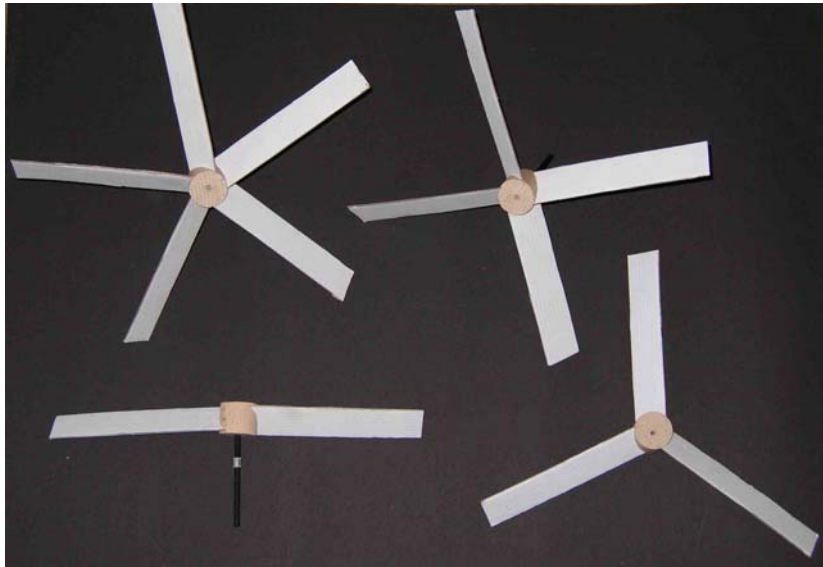


Abb. 4.14: Flügel gleicher Gesamtfläche [eigenes Foto vom 11.07.07]

Nun steckt man die Flügel nacheinander auf die in Abbildung 4.15 gezeigte Anordnung, misst bei der gleichen Ventilatorstufe Strom und Spannung und rechnet die Leistung aus.



Abb. 4.15: Aufbau der Station 10 [eigenes Foto vom 11.07.07]

Genauso verfährt man dann mit den Flügeln, die alle gleich breit sind (z.B. 3 cm). Bei diesem Versuchsteil ist die Fläche direkt proportional zur Anzahl der Flügel.

Als Ergebnis sollte man ungefähr folgende Darstellung erhalten:

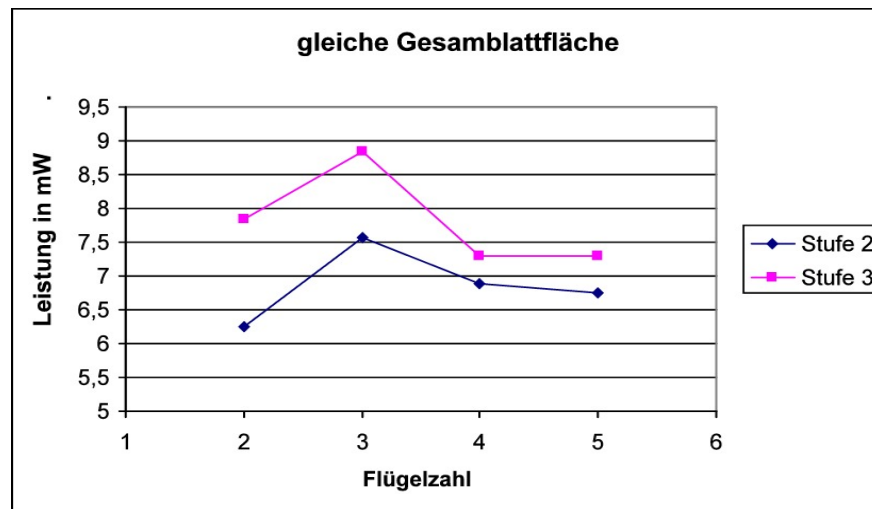


Abb. 4.16: Ergebnis des Versuchs vom 11.07.07 [eigene Graphik]

Bei der gleichen Gesamtfläche zeigt sich bei zwei verschiedenen Windgeschwindigkeiten (Ventilatorstufen) ein Maximum bei drei Flügeln. Hier ist der Abstand der Flügel zueinander am günstigsten. Während bei zwei Flügeln Wind ungenutzt hindurchströmen kann, befinden sich bei 4 Blättern benachbarte Flügel schon im gegenseitigen Windschattenbereich. Ein etwas anderes Bild hat man, wenn die Fläche mit der Flügelzahl steigt.

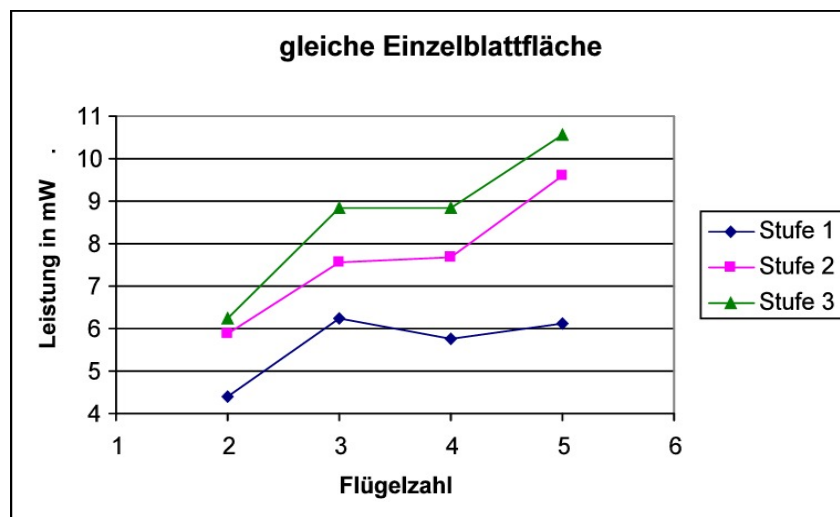


Abb. 4.17: Ergebnis des Versuchs vom 11.07.07 [eigene Graphik]

Nun zeigen sich bei höheren Windgeschwindigkeiten ansteigende Graphen, nur bei der niedrigsten Gebläsestufe erhöht sich die Leistung oberhalb von drei Flügeln nicht mehr. Warum zwischen drei und vier Flügeln so gut wie keine Leistungssteigerung stattfindet, lässt sich nur schwer erklären. Hier müsste man das Zusammenspiel zwischen Widerstand des Generators, Drehmoment und Drehgeschwindigkeit des Rotors und der Windgeschwindigkeit genauer betrachten, was in diesem einfachen Schulversuch nicht möglich ist. Zudem liefert der Ventilator sehr turbulente Strömungen, was auch solch einen Effekt erklären könnte.

Quellenangaben:

- Lösung zu Aufgabe 6, Text: siehe Fachteil S. 46 und S. 57f.

Station 11

An dieser Station soll die Funktionsweise von Generatoren, die im G8-Lehrplan in der 9. Jahrgangsstufe vorgesehen sind, wiederholt werden. Dies soll vor allem anhand von Modellen durchgeführt werden. Als Materialien werden benötigt:

- Generatormodelle (einfaches Modell mit Permanentmagnet, komplexes Modell)
- Voltmeter (μV -Bereich)
- Oszilloskop
- Kabel

Zuerst einmal sollen sich die Schüler anhand eines im Internet zur Verfügung gestellten Applets die Theorie und die Funktionsweise von Generatoren in Erinnerung rufen. Einige gezielte Fragen helfen hierbei. Anschließend wird die Theorie zunächst auf ein einfaches Modell übertragen. Für die Aufgabe 2 verwendet man also ein grundlegendes Generatormodell (Leiterschleife), wie es in Abbildung 4.18 dargestellt ist.

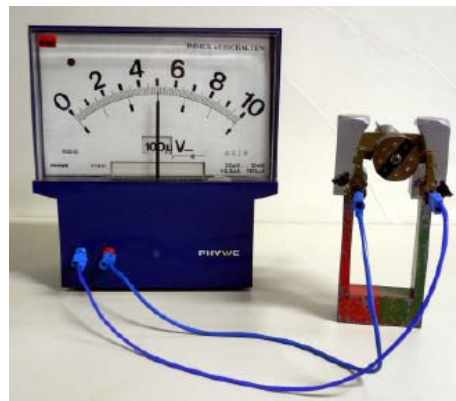


Abb. 4.18: Aufbau der Aufgabe 2
[Foto vom Repetitorium für Examenskandidaten, Universität Würzburg, 01.06.07]

Durch das gegenseitige Erklären wird der Verstehensprozess unterstützt. Erst wenn dieses Modell verstanden wurde, geht man zum schwierigeren über. Bei diesem Modell sind nun viele Windungen auf einen Anker gewickelt. In der Abbildung 4.19 ist ein solches Modell gezeigt, es kann aber statt dem Permanentmagneten auch ein elektrischer benutzt werden. Wichtig ist jedoch, dass an diesem Modell die Möglichkeit des Einsatzes eines Kommutators und auch ein Abgriff der Spannung ohne Kommutator besteht. Eine Alternative wäre das Benutzen zweier verschiedener Modelle. Das Umbauen des Versuchs (verschieben der Kohlebürsten) könnte dann entfallen.



Abb. 4.19: Aufbau der Aufgabe 3 und 4
[Foto vom Repetitorium für Examenskandidaten, Universität Würzburg, 01.06.07]

In der Aufgabe 5 soll nun das bisher Erarbeitete noch einmal graphisch dargestellt werden. Die letzten beiden Aufgaben sind als Rechenaufgaben dazu gedacht, die Bedeutung bzw. Notwendigkeit eines speziellen Generators oder eines Getriebes bei Windenergieanlagen hervorzuheben. Die Schüler sollen verstehen, dass nicht irgendein Generator, der irgendeine Spannung liefert, verwendet werden kann, sondern die Erzeugung von Strom für das öffentliche Netz teils technisch aufwendige Lösungen erforderlich macht.

Das Arbeitsblatt zu Aufgabe 5 muss in ausreichender Zahl kopiert werden.

Quellenangaben:

- Aufgabe 5, Graphiken und Text:

http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph10/schulaufgaben/2sa_95/2sa_95.htm, aufgerufen am 11.06.07

- Lösungen zu Aufgabe 3 und 4, Fotos: Fotos vom Repetitorium für Examenskandidaten, Universität Würzburg, 01.06.07

- Lösung zu Aufgabe 5, Graphiken und Text:

http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph10/schulaufgaben/2sa_95/2sa_95_1.htm, aufgerufen am 11.06.07

Zwischenstation 1

In dieser als Zwischenstation bezeichneten Station geht es darum, eine Möglichkeit zu bieten, sich spielerisch von den anderen Stationen zu entspannen oder um Zwischenräume in der Zeitplanung der Gruppen bzw. einzelnen Schüler zu überbrücken. Sie ist bewusst zur Auflockerung gedacht. Zudem soll Spass in den Zirkel gebracht werden. Auch ältere Schüler haben noch Freude am Rätseln oder Basteln. In der Aufgabe 4 muss man das Puzzle noch herstellen. Am besten eignet sich ein Foto einer regionalen Anlage oder eines Windparks, das die Schüler dann identifizieren können. Dazu sollten auf dem Bild markante Auffälligkeiten abgebildet sein (z.B. Ortschaft, bestimmtes Hügelrelief etc. im Hintergrund). Das Puzzle erhält man durch Zerschneiden des Fotos (mindestens A 4) oder aber direkt durch einen Fotoshop, der das Erstellen von Puzzles aus eigenen Fotos anbietet. Dies ist dann natürlich mit etwas höheren Kosten verbunden.

Quellenangaben:

- Aufgabe 1, Graphik:
nach <http://www.wind-energie.de/fileadmin/bilder/fohlen/downloads/technik.ppt>
aufgerufen am 17.02.07
- Aufgabe 2, Foto:
<http://www.wind-energie.de/fileadmin/bilder/fohlen/downloads/repowering.ppt>
aufgerufen am 17.02.07





Zwischenstation 2

Es gilt ähnliches wie bei der Zwischenstation 1. Durch den Wettbewerb sollen die Schüler angeregt und motiviert werden. Ein kleiner Siegespreis erhöht diesen Effekt noch. Als Materialien müssen ausreichend Papier, Pappe, Flaschenkorken, Flüssigkleber, Klebestreifen und Stecknadeln bereitgestellt werden. Die Hilfsmittel Schere, Lineal und Geodreieck haben die Schüler dabei oder müssen ebenfalls zur Verfügung gestellt werden. Um die Chancengleichheit zu gewährleisten, kann man eine Eieruhr auf 20 Minuten einstellen, nach deren Ablauf dann die Windräder fertig sein sollten.

5. Beiliegende CD

Die beiliegende CD beinhaltet alle wichtigen Dateien, die für den Lernzirkel gebraucht werden. Zum einen sind die Dateien enthalten, die auf den Computern für die Schüler sein sollen, zum anderen ist auch der Fachteil und Versionen des Lernzirkels in bunt und schwarz-weiß enthalten (Die bunten Graphiken müssen allerdings bunt kopiert oder gedruckt werden) Aus rein didaktischer Sicht ist ein Buntdruck sinnvoller (schwarz-weiß aber oft technisch einfacher und billiger). Im folgenden ist das Inhaltsverzeichnis der CD aufgeführt. Damit man einzelne Graphiken und Bilder auch anderweitig im Unterricht verwenden kann, sind diese für den jeweiligen Teil der Arbeit in einem extra Ordner angelegt. Ebenso ist die Foliensammlung des Bundesverbandes für Windenergie auf der CD. Sie kann für Schülerreferate, oder auch eigene Präsentationen eingesetzt werden. Auf die Beachtung der jeweiligen Urheberrechte wird hiermit verwiesen. Eine Vervielfältigung außerhalb des Unterrichts ist somit nicht gestattet.

- 📁 Windenergie - Lernzirkel
 - 📁 Fachteil
 - 📄 Fachteil Windenergie.doc (S. 1 - 117)
 - 📁 Bilder, Graphiken Fachteil
 - 📁 Lernzirkel
 - 📄 Lernzirkel Windenergie.doc (S. 118 - 150)
 - 📁 Stationen bunt
 - 📄 Station 1.doc
 - 📄 Station 2.doc
 - 📄 Station 3.doc
 - 📄 Station 4.doc
 - 📄 Station 5.doc
 - 📄 Station 6.doc
 - 📄 Station 7.doc
 - 📄 Station 8.doc
 - 📄 Station 9.doc
 - 📄 Station 10.doc
 - 📄 Station 11.doc
 - 📄 Zwischenstation 1.doc
 - 📄 Zwischenstation 2.doc
 - 📁 Stationen schwarzweiß
 - 📄 Station 1sw.doc
 - 📄 Station 2sw.doc
 - 📄 Station 3sw.doc
 - 📄 Station 4sw.doc
 - 📄 Station 5sw.doc
 - 📄 Station 6sw.doc
 - 📁 Graphiken Station 6
 - 📄 Station 7sw.doc
 - 📄 Station 8sw.doc
 - 📄 Station 9sw.doc
 - 📄 Station 10sw.doc
 - 📄 Station 11sw.doc
 - 📄 Zwischenstation 1sw.doc
 - 📁 Graphiken Zwischenstation 1
 - 📄 Zwischenstation 2sw.doc
 - 📄 Übersicht des Lernzirkels Windenergie sw.doc

- ↳  Zubehör
 - ↳ Übersicht des Lernzirkels Windenergie.doc
 - ↳ Anleitung für den Lernzirkel Windenergie.doc
 - ↳ BWE - kompakt.pdf
 - ↳ hintergrund_zahlen2006.pdf
 - ↳ Repowering.ppt
 - ↳  Filme
 - ↳ Repowering_Hemme.wmv
 - ↳ Station_2_Film.wmv
 - ↳ Station_6_Film_1.wmv
 - ↳ Station_6_Film_2.wmv
 - ↳ Station_6_Film_3.wmv
- ↳  Bilder, Graphiken Lernzirkel
-  Foliensammlung BWE
- Windenergie in Deutschland.pdf

6. Danksagung

Bedanken möchte ich mich vor allem bei Herrn Dr. Thomas Wilhelm, der mich bei dieser Arbeit betreut hat, bei der Materialsuche behilflich war und jederzeit für beratende Gespräche zur Verfügung stand. Außerdem gilt mein Dank auch Christiane Hepp und Gerd Bock für die Hilfe bei der Materialbeschaffung und der Ausgestaltung, sowie Gereon Schürmann für eine Besteigung und Führung auf eine seiner Windenergieanlagen.

7. Quellenverzeichnis

Literatur:

BAUER, JÜRGEN et. al. (2002): *Physische Geographie kompakt*, Spektrum Verlag, Heidelberg

BAUER, ROLAND (1997): *Schülergerechtes Arbeiten in der Sekundarstufe I: Lernen an Stationen*, Cornelsen Verlag, Berlin

BAUMHAUER, ROLAND; SPONHOLZ BARBARA (2003): *Abbildungen zum Einführungsseminar, Teil A: Physische Geographie I*, Geographische Fakultät, Universität Würzburg

BERBER, JOACHIM; KACHER, HEINZ; LANGER, RUDOLF (2003): *Physik in Formeln und Tabellen*, Teubner Verlag, Stuttgart

BERGE, OTTO ERNST (2005): *Wind im Physikunterricht* in: „Unterricht Physik“, Heft 88, Friedrich Verlag, Seelze

BERGE, OTTO ERNST; VAN RADECKE, HERMANN (2005): *Physikalisch-technische Aspekte der Windenergie-Nutzung in Naturwissenschaften* in: „Unterricht Physik“, Heft 88, Friedrich Verlag, Seelze

BUSCH, PAUL; KUTTLER, WILHELM (1990): *Klimatologie*, Verlag Ferdinand Schöningh, Paderborn

DIERCKE Weltatlas (2002), 5. aktualisierte Auflage, Westermann Verlag, Braunschweig

E.ON ENERGIE AG (Hrsg.) (2006): *Innovation*, J. Gotteswinter GmbH, München

E.ON NETZ GMBH (Hrsg.) (2004): *Windreport 2004*, agentur marks, Fürth

GASCH, ROBERT; TWELE, JOCHEN (2005): *Windkraftanlagen – Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb*, Teubner Verlag, Wiesbaden

HAMMER, KARL; HAMMER, HILDEGARD (1994): *Grundkurs der Physik 2*, Oldenbourg Verlag, München

HAMMER, KARL; HAMMER, HILDEGARD (2002), *Physikalische Formeln und Tabellen*, J. Lindauer Verlag, München

HAU, ERICH (1988): *Windkraftanlagen – Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit*, Springer-Verlag, Heidelberg

HEIER, SIEGFRIED (2005): *Windkraftanlagen – Systemauslegung, Netzintegration und Regelung*, Teubner Verlag, Wiesbaden

HERING, EKBERT; MARTIN, ROLF; STOHRER, MARTIN (2004): *Physik für Ingenieure*, Springer Verlag, Heidelberg

HEPP, RALPH (1999): *Lernen an Stationen im Physikunterricht* in „Unterricht Physik“, Heft 51/52, Friedrich Verlag, Seelze

- HEPP, RALPH (1999): *Lernen an Stationen: Ratschläge zum methodischen Vorgehen in „Unterricht Physik“*, Heft 51/52, Friedrich Verlag, Seelze
- HESKE, HENNING (2001): *Lernen an Stationen im Mathematikunterricht* in „Mathematisch-Naturwissenschaftlicher Unterricht“, Heft 54/7, Dümmler Verlag, Troisdorf
- JARASS, L. (Hrsg.) (1980): *Windenergie – Eine systematische Bewertung des technischen und wirtschaftlichen Potentials für die Stromerzeugung der Bundesrepublik Deutschland*, Springer-Verlag, Heidelberg
- KHARTCHENKO, NIKOLAI V. (1997): *Umweltschonende Energietechnik*, Vogel Verlag, Würzburg
- LAUER, WILHELM (1999): *Klimatologie*, Westermann Schulbuch Verlag, Braunschweig
- LESER, HARTMUT (Hrsg.) (2001): *Wörterbuch Allgemeine Geographie*, Deutscher Taschenbuch Verlag, München
- LÖNKER, OLIVER; WEINHOLD, NICOLE (2007): *Die Megawatt-Macher* in „Neue Energien, das Magazin für erneuerbare Energien“, Heft 02 / 2007
- MATHEW SATHYAJITH (2006): *Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics*, Springer Verlag, Heidelberg
- MAY, HANNE (2007): *Der Ultra-Mega-Plan* in „Neue Energien, das Magazin für erneuerbare Energien“, Heft 02 / 2007
- MESCHÉDE, DIETER (2004): *Gerthsen Physik*, Springer-Verlag, Heidelberg
- PATEL, MUKUND R. (2006): *Wind and Solar Power Systems – Design, Analysis and Operation*, Taylor and Francis, Boca Raton
- RÜHENBECK, CHRISTIAN (2003): *Aerodynamischer Auftrieb: A theory of something* in: „Mathematisch Naturwissenschaftlicher Unterricht“, 6. Jahrgang, Heft 7
- SCHNIDTHALS, MALTE; MANJOCK, ANDREAS (1996): *Unterrichtseinheit Windenergie, Messung der Leistung und Bestimmung der Wirkungsgrade von Windrädern* von <http://www.ufu.de/sites/institut/klimaschutz/ue-wind-deutsch.pdf>, aufgerufen am 12.01.07
- SENDNER, HELMUT (Hrsg.) (2006): *Offshore-Windenergie* in „Energie und Management - Zeitung für den Energiemarkt“ (09/06), Peter Heinzelmänn Offsetdruck, München
- TACKE, FRANZ (2003): *Windenergie – Die Herausforderung, gestern, heute, morgen*, VDMA Verlag, Frankfurt
- UNGER, JOCHEM (1993): *Alternative Energietechnik*, Teubner Verlag, Stuttgart
- WALKER, JOHN F.; JENKINS, NICHOLAS (1997): *Wind energy technology*, John Wiley and sons, West Sussex
- WELTNER, KLAUS (2002): *Flugphysik* in: „Mathematisch Naturwissenschaftlicher Unterricht“, 55. Jahrgang, Heft 7

WODZINSKI, RITA; ZIEGLER, ALFRED (2000): *Erklärung des Fliegens in der Schule* in: „Mathematisch Naturwissenschaftlicher Unterricht“, 53. Jahrgang, Heft 5

ZAHORANSKY, RICHARD A. (2002): *Energietechnik*, Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden

Internet:

<http://www.ifb.uni.stuttgart.de/doerner/growian1.jpg>; abgerufen am 23.11.06

<http://www.wind-energie.de/de/themen/wirtschaftsfaktor/technologie/>; aufgerufen am 06.09.06

<http://de.wikipedia.org/wiki/Anemometer>; aufgerufen am 11.02.07

http://wilmers.com/download/0258_de.pdf; aufgerufen am 11.02.07

<http://de.wikipedia.org/wiki/Anemometer>; aufgerufen am 11.02.07

<http://de.wikipedia.org/wiki/SODAR>; aufgerufen am 11.02.07

<http://www.windfinder.de>; aufgerufen am 13.02.07

<http://www.wikipedia.de>; aufgerufen am 13.02.07

<http://de.wikipedia.org/wiki/Europa>; aufgerufen am 15.02.07

<http://www.wind-energie.de/de/statistiken>; aufgerufen am 08.02.07

http://lehrerfortbildung-bw.de/faecher/gkg/bsg-gk/themen/europa/material/europa_material_mitgliedslaender.htm; aufgerufen am 15.02.07

<http://www.wind-energie.de/statistiken/bundeslaender>; aufgerufen am 08.02.07

http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund_zahlen2006.pdf; aufgerufen am 08.02.07

<http://www.wind-energie.de/fileadmin/bilder/fohlen/downloads/entwicklung.ppt>; aufgerufen am 08.02.07

<http://www.wind-energie.de/fileadmin/bilder/fohlen/downloads/politik.ppt>; aufgerufen am 08.02.07

http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/statistics/070129_Wind_map_2006.pdf; aufgerufen am 15.02.07

http://www.gwec.net/uploads/media/07-02_PR_Global_Statistics_2006.pdf; aufgerufen am 15.02.07

http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_unabh%C3%A4ngiger_Staaten_nach_Einwohnerzahl; aufgerufen am 15.02.07

<http://de.wikipedia.org/wiki/Prim%C3%A4renergieverbrauch>; aufgerufen am 15.02.07

<http://www.wind-energie.de/fileadmin/bilder/fohlen/downloads/repowering.ppt>; aufgerufen am 15.02.07

<http://mitglied.lycos.de/WilfriedHeck/gericht1.htm>; aufgerufen am 16.02.07

<http://www.rhoensaale.net/lis/App2/LKKissingen/aufgaben/Umwelt/Energie/detail.cfm?OID=EBBC1FF8-3961-11D5-9C9F0050DA3F1522>; aufgerufen am 16.02.07

http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/themenpapier_wind.pdf; aufgerufen am 16.02.07, S. 24

http://www.wind-energie.de/fileadmin/Shop/Broschueren/A-Z/BWE_A-Z_interaktiv.pdf, aufgerufen am 10.02.07, S. 39

<http://de.wikipedia.org/wiki/Windpark>; aufgerufen am 18.02.07

<http://www.wind-energie.de/fileadmin/bilder/fohlen/downloads/offshore.ppt>; aufgerufen am 17.02.07

http://www.hornsrev.dk/nyheder/brochurer/Horns_Rev_TY.pdf; aufgerufen am 18.02.07

http://www.hornsrev.dk/images/fra_oven.jpg; aufgerufen am 18.02.07

<http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26350>, aufgerufen am 12.03.07

<http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26334>, aufgerufen am 12.06.07

<http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26433>, aufgerufen am 12.06.07

<http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26436>, aufgerufen am 12.06.07

<http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26437>, aufgerufen am 12.06.07

<http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26438>, aufgerufen am 12.06.07

<http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26439>, aufgerufen am 12.06.07

<http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26194>, aufgerufen am 12.06.07

<http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26303>, aufgerufen am 12.06.07

<http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26283>, aufgerufen am 12.06.07

<http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26481>, aufgerufen am 12.06.07

<http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26547>, aufgerufen am 12.06.07

<http://www.wind-energie.de/fileadmin/bilder/fohlen/downloads/anlagenaufbau.ppt>; aufgerufen am 17.02.07

<http://www.iwr.de/news.php?id=10022>; aufgerufen am 17.04.07

<http://de.wikipedia.org/wiki/Deutschland>; aufgerufen am 17.04.07

<http://www.wind-energie.de/de/themen/repowering/>; aufgerufen am 17.02.07

http://de.wikipedia.org/wiki/Bundesland_%28Deutschland%29 aufgerufen am 25.05.07

http://www.wind-energie.de/fileadmin/bilder/fohlen/downloads/szenarien_potenziale.ppt aufgerufen am 17.02.07

http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph10/schulaufgaben/2sa_95/2sa_95.htm, aufgerufen am 11.06.07

http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph10/schulaufgaben/2sa_95/2sa_95_1.htm, aufgerufen am 11.06.07

<http://www.wind-energie.de/fileadmin/bilder/fohlen/downloads/technik.ppt>; aufgerufen am 17.02.07

Tageszeitungen:

Mainpost, Ausgaben vom 31.01.07 und 03.02.07

Die Kitzinger, Ausgabe vom 26.07.07

Filmmaterial:

Filmausschnitte der Sendung „Abenteuer Wissen“ vom 16.05.2007: ZDF 2007, Mainz

8. Selbstständigkeitserklärung

Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit in allen Teilen selbstständig gefertigt und keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Alle benutzten Quellen sind im Quellenverzeichnis aufgeführt. Die Zeichnungen, Kartenskizzen und bildlichen Darstellungen habe ich, soweit nicht anders vermerkt, selbst gefertigt.

Ort, Datum

Unterschrift

9. Anhang (Kopiervorlagen)

- a) Stationen 1 bis 10
- b) Zwischenstationen 1 und 2
- c) Übersichtsliste
- d) Anleitung
- e) Windenergie in Deutschland
- f) Entwicklung der erneuerbaren Energien im Jahr 2006 in Deutschland, Aktuelle Daten des Bundesumweltministeriums zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2006 (hintergrund_zahlen2006.pdf)