

Berlin, den 31.07.2012

# Praktikumsbericht: Konstruktion und Analyse von Kleinwindanlagen im Rahmen ingenieurtechnischer Studiengänge

*Realisierung einer Lehrveranstaltung an der Hochschule für  
Technik und Wirtschaft (HTW)-Berlin*

Jörg Alber  
31.07.2012

## Inhalt

Thematik des Praktikums .....	3
Der Hintergrund des Projekts.....	4
Vorbereitungsphase der Lehrveranstaltung .....	5
Didaktik: die verschiedenen Aufgabenstellungen.....	6
Der Rotor .....	6
Der Generator .....	7
Die Gondel.....	7
Das Inselsystem .....	7
Methodik: Durchführung der Lehrveranstaltung.....	8
Ergebnisse .....	9
Nachbereitung.....	10
Verbesserungspotential .....	11
Bachelor-Arbeit .....	12
Ausblick: Folgeprojekte .....	13
Anlage.....	14

## Thematik des Praktikums

Der Schwerpunkt meines Praxissemesters beinhaltete die Realisierung einer Lehrveranstaltung an der HTW-Berlin unter Prof. Dr.-Ing. Joachim Twele. Die Pflichtveranstaltung innerhalb desselben Studiengangs (UTRE) trägt die Bezeichnung Planung/ Projektarbeit (PPA) und ist mit ihren 6 credits eine der wichtigeren Veranstaltungen des Studiengangs.

Das PPA zum Thema Konstruktion und Analyse von Kleinwindanlagen wurde zum ersten Mal im 5.Semesters UTRE während des Sommersemesters 2012 (15.März bis 31. Juli) angeboten. Die Teilnehmer\_innenzahl war erfreulich hoch, schließlich meldete sich der komplette Studiengang mit seinen 36 Studierenden für dieses PPA an.

Wegen der großen Zahl der Studierenden wurde der Kurs schließlich in zwei verschiedene Projekten unterteilt:

- 1.) Konstruktion und Analyse einer horizontalachsigen Kleinwindanlage: 19 Studierende.
- 2.) Auslegung, Konstruktion und Test von Rotorblättern einer vertikalachsigen Kleinwindanlage: 17 Studierende.

Alle weiteren Ausführungen beschränken sich auf den 1.) Teil des Kurses, der horizontalachsigen Kleinwindanlage, für dessen Realisierung ich verantwortlich war.

## Der Hintergrund des Projekts

Die Idee, im Rahmen des Studiengangs UTRE eine Kleinwindanlage zu bauen und damit zu arbeiten, entwickelte sich über mehrere Semester im Gespräch zwischen verschiedenen Studierenden des aktuellen 6. Semesters und Prof. Dr.-Ing. Joachim Twele. Wie sich im Laufe dieses Berichts zeigen wird, können hier durch die Verbindung von Theorie und Praxis verschiedene Grundlagen ingenieurstechnischer Studiengänge vertieft und verankert werden.

Aus diesen Überlegungen resultierten im Wesentlichen zwei Projekte:

- 1.) Konstruktion und Analyse einer horizontalachsigen Kleinwindanlage im Rahmen des Hochschulbetriebs (PPA).
- 2.) Kitrad: ein EU-gefördertes, hochschulunabhängiges Projekt mit ähnlichen Schwerpunkten, das zum Großteil aus Studierenden der HTW-Berlin besteht  
-> [kitrad-3lxug@wiggimail.com](mailto:kitrad-3lxug@wiggimail.com)

Alle weiteren Ausführungen beschränken sich auf den PPA- Kurs unter Punkt 1.)

Dieser Bericht ist als Ergänzung zur entsprechenden Praktikumspräsentation (Powerpoint) zu verstehen.

## Vorbereitungsphase der Lehrveranstaltung

Der Bauvorgang und die Materialliste richteten sich nach der Bauanleitung des Entwicklers Hugh Piggeot ([www.scoraigwind.co.uk](http://www.scoraigwind.co.uk)). Es handelt sich um eine komplett selbstgebaute Kleinwindanlage (KWA) die sich durch ihr robustes, zuverlässiges und leistungsfähiges Design seit Jahrzehnten in verschiedenen Teilen der Welt bewährt hat. Das besondere der Anlage ist die weitgehende Fertigung aus Grundmaterialien, die größtenteils ortsunabhängig erhältlich sind. So werden beispielsweise die Flügel aus Holz, und die Generatorspulen aus Kupferdraht gefertigt. In besagtem Handbuch ist der Bau des gleichen Modells in verschiedenen Größen erklärt. In unserem Fall haben wir uns für eine mittelgroße Anlage mit folgenden technischen Eckdaten entschieden:

- Rotordurchmesser: 2,4 Meter
- Nennleistung: 700 Wp

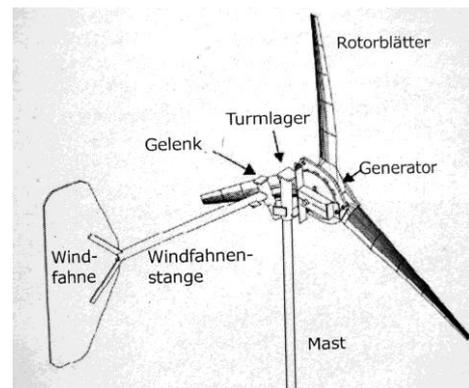


Abbildung 1: Piggeot, H. (2010), Drei Flügel im Wind, Übersetzung aus dem Englischen, GREEN STEP e.V.

Da ich bereits mehrere ähnliche Kurse angeleitet hatte, konnte ich sehr gut einschätzen, was im handwerklichen Bereich auf uns zukommen würde. Der komplette theoretische und computergestützte Teil des Kurses war allerdings Neuland für mich.

Da es sich um ein größeres Unterfangen handelte, ging der Einführungsveranstaltung am Semesterbeginn Ende März 2012 notwendigerweise eine längere Vorbereitungsphase voraus, die folgende Punkte beinhaltete:

- Werkstattnutzung im TJP e.V. in der Wuhlheide (Nähe HTW): hier war dankenswerterweise eine unkomplizierte und regelmäßige Werkstattnutzung möglich, die an der HTW kaum machbar gewesen wäre.
- Werkzeugsichtung und Materialbestellung: da die Bestellung im Rahmen des PPA zu lange gedauert hätte, musste das Material bei Kursbeginn auf dem Tisch liegen.
- Aufteilung der Studierenden in Teams: der Prozess wurde anhand der Komponenten der Anlage in vier Hauptbereiche unterteilt. Dazu gehörten: Rotor, Generator, Gondel und Inselsystem (siehe später).
- Entwicklung von Anleitungen (Didaktik): jedes Team konnte sich hier an den verschiedenen Aufgabenstellungen orientieren, die jeweils zu Handwerk, Theorie, Computersimulation und Teamwork ausformuliert werden mussten.
- Durchführung der Lehrveranstaltung (Methodik).

## Didaktik: die verschiedenen Aufgabenstellungen

Im Folgenden sollen die Aufgabenstellungen der verschiedenen Gruppen zusammenfassend dargestellt werden. Die abgebildeten Fotos sind allesamt Privataufnahmen meinerseits.

### Der Rotor



- Fertigung der Flügel aus Holz.
- Beantwortung theoretischer Fragestellungen bezüglich Strömungslehre und Werkstoffkunde: Blattgeometrie – und auslegung.
- Computersimulation des Flügelprofils mithilfe von Qblade.

## Der Generator



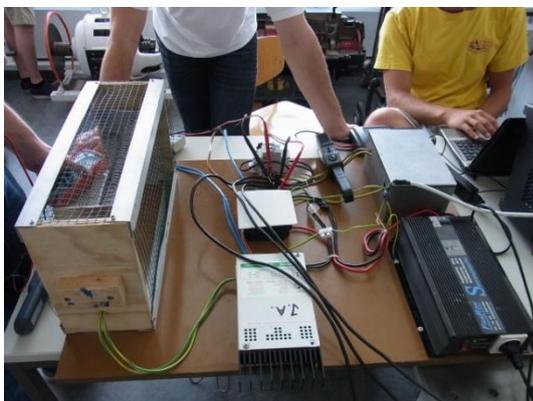
- Spulen wickeln, Permanentmagnete anbringen, alles in Kunstharz eingießen.
- Beantwortung theoretischer Fragestellungen bezüglich Elektrotechnik, insbesondere Magnetismus, Induktion und Drehstrom.
- Abnahme der Generatorkennlinie im Maschinenlabor.

## Die Gondel



- Metallteile zu Recht sägen und entsprechend zusammen schweißen.
- Beantwortung theoretischer Fragestellungen bezüglich Technischer Mechanik: Kräfte, Momente und Schwingungen, etc.
- Technische Zeichnung in Pro-Engineer (CAD).

## Das Inselsystem



- Verschaltung der elektronischen Komponenten zur Ladung und Entladung von Batterien.
- Beantwortung theoretischer Fragestellungen bezüglich Elektrotechnik und Elektronik: Gleichrichtung von Drehstrom, Funktionsweise eines Ladereglers, etc.



- Computersimulation mit Matlab/Simulink des Inselsystems.
- Computersimulation des Systems an einem möglichen Standorts anhand von Winddaten.
- Test des Inselsystems im Labor (zusammen mit dem Generator).

Alle vorgestellten Gruppen mussten an verschiedenen Stellen miteinander kooperieren, zum Beispiel beim Zusammenbau der Anlage, oder im Maschinenlabor.

Es sollte deutlich geworden sein, wie verschiedene Kernbereiche ingenieurtechnischer Studiengängen bei diesem Kurs zum Tragen kommen.

## **Methodik: Durchführung der Lehrveranstaltung**

Die Lehrveranstaltung war vom zeitlichen Ablauf her folgendermaßen organisiert:

- Montags, zweiwöchentlich von ca. 12 – 20 Uhr: Werkstattnutzung.
- Mittwochs, wöchentlich von 12 – 13.30 Uhr: begleitende Lehrveranstaltung mit Prof. Dr.-Ing. Joachim Twele und M.Sc. Niels Harborth.

Diese Termine standen als Feedback- und Fragerunden zur Beantwortung theoretischer Fragestellungen zur Verfügung. Im zweiwöchentlichen Rhythmus mussten alle Teams in großer Runde erklären, was sie wie und warum gemacht hatten. Diese Termine waren neben dem Wissenstransfer auch deshalb wichtig, weil sich hier die Teilnehmer\_innen

sowohl innerhalb als auch zwischen den Teams auszutauschen und koordinieren konnten. Schließlich mussten die verschiedenen Komponenten der KWA am Ende ja auch zusammen passen.

Gegen Ende der Lehrveranstaltung Anfang Juli 2012 musste jede der Gruppen die getane Arbeit in ihrer Gesamtheit präsentieren und eine schriftliche, ausführliche Dokumentation einreichen. Beide Ergebnisse wurden dann zu jeweils 50% bewertet.

## Ergebnisse

Neben dem hohen Lerneffekt, den hauptsächlich positiven Erfahrungen im Team und den vielen spannenden und lustigen Momenten die dieses Projekt mit sich brachte, seien hier vor allem folgende handfeste Ergebnisse erwähnt:

- Zeitungsbericht im Berliner Abendblatt: ohne unser Zutun interessierte sich die Zeitung für unsere Unternehmung und veröffentlichte ein Artikel, der am Ende dieses Berichts zu finden ist.
- Eine fertige Windanlage.



Abbildung 2: Privatfoto der fertigen Windanlage, HTW, 04.07.2012

- Nutzung des Maschinenlabors der HTW zu Forschungszwecken.
- Präsentationen der einzelnen Teams zur geleisteten Arbeit: sehr erfreulich war hier die hohe Präsenz interessierter Personen aus anderen Semestern oder auch außerhalb der HTW, sowie verschiedener Professorinnen und Professoren des Studiengangs. Das Thema hatte sich demnach über die HTW hinaus herumgesprochen.
- Ausführliche Dokumentationen zu den Aufgabenstellungen, die als Grundlage für voraussichtliche Folgeprojekte dienen werden (siehe unten).

## Nachbereitung



Ein großer Vorteil dieses Kurses ist dessen klare Vision eine funktionierende, selbstgebaute Windanlage zu realisieren. Dieses Ziel vor Augen zu haben, fördert Motivation und Teamwork der Teilnehmer\_innen und setzt Energien frei, die im konventionellen Vorlesungsbetrieb kaum eine Chance haben zu entstehen. Das ist eine gute Grundlage für den intensiven Lerneffekt den dieser Kurs durch das mehrdimensionale Lernen ermöglicht. In diesem Sinne ist auch das Feedback der Teilnehmer\_innen unterm Strich durchweg sehr positiv gewesen.



Während das Teamwork innerhalb der einzelnen Gruppen größtenteils als positiv einzuschätzen ist, war die Koordination zwischen den verschiedenen Teams zwar ausreichend, keinesfalls aber herausragend.

Das lag sicherlich auch an der Vielzahl von Aufgaben die jedes Team für sich bewältigen musste. Aus praktischer und logistischer Sicht ist die regelmäßige Werkstattzugang eine Schwierigkeit, da viele der Aufgaben nur hier erledigt werden konnten. Außerdem bleibt zu erwähnen, dass der Kurs natürlich Kosten nach sich zieht, die zwar relativ gesehen wirklich nicht hoch sind, aber dennoch anfallen: unter 1000 Euro an Material- und Werkzeugkosten ist die Anlage als Hochschulprojekt kaum realisierbar.



Negativ ist hier zu erwähnen, dass zu viel Zeit auf die handwerkliche Fertigung der Komponenten verwendet wurde. Dementsprechend ist der theoretische

und analytische Teil in vielen Fällen zu kurz geraten. In diesem Sinne weisen die Dokumentationen zum Teil schwere Mängel in Form und Inhalt auf.

Die Fertigung der Anlage im Rahmen eines PPA bedarf außerdem einer Betreuung durch eine Person mit entsprechender Erfahrung. Das zieht allerdings einen sehr zeit- und arbeitsintensiven Betreuungsaufwand nach sich, der in den 2 Semesterwochenstunden, die für ein PPA regulär vorgesehen sind, keinesfalls umsetzbar ist.

## **Verbesserungspotential**

Wie jede Veranstaltung an der Hochschule, hat auch dieser Kurs Verbesserungspotential. Im Folgenden werden einige wenige konkrete Punkte genannt, die bei einer Wiederholung des Kurses beachtet werden sollten:

- ✚ Eine Einteilung in kleinere Teams (2-3 Leute) könnte einen gerechteren Ausgleich der Aufgaben untereinander begünstigen.
- ✚ Ein separates Team, das nur für Material- und Werkzeugbesorgung, Einhaltung des Zeitplans und generelle Koordination der Gruppen zuständig ist, wäre sicherlich hilfreich.
- ✚ Der handwerkliche Teil sollte reduziert werden, indem einige Komponenten zumindest zum Teil fertig eingekauft werden: fertig gewickelte Spulen, fertige Flügel, Schweißarbeiten von einer privaten Werkstatt durchführen lassen.
- ✚ Die theoretischen und analytischen Aufgabenstellungen sollten auch vereinfacht werden oder in den Feedbackrunden beziehungsweise Vorlesungen konkreter und intensiver behandelt werden.
- ✚ Bei einem äquivalenten Folgeprojekt sollte die Anlagengröße geändert werden, beispielsweise zu einer Maschine mit einem Rotordurchmesser von 3 Metern, damit sich die Arbeit von der der Vorgänger unterscheidet!

## Bachelor-Arbeit

Meine Bachelorarbeit werde ich auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse des Praktikums schreiben. Weiterhin werde ich die Ergebnisse möglicher Folgeprojekte im kommenden Semester mit einfließen lassen (siehe folgendes Kapitel).

Konkret wird das Thema voraussichtlich lauten:

*„Konstruktion und Analyse von Kleinwindkraftanlagen im Rahmen ingenieurtechnischer Studiengänge: mehrdimensionales Lernen durch die Verbindung von Handwerk, Gruppenarbeit, Theorie, Simulationsprogrammen sowie Labor- und Feldversuchen.“*

Der Fokus der Arbeit wird sich auf den analytischen Teil beziehen, konkret auf Berechnungen, Simulationen und Labor- bzw. Feldversuchen. Es soll dargestellt werden, dass sich das Projekt ideal zu Lehrzwecken für ingenieurtechnische Studiengänge eignet und welches Wissen hiermit wie vermittelt werden kann.

## **Ausblick: Folgeprojekte**

Im kommenden Wintersemester 2012/2013 wird Prof. Dr.-Ing. Joachim Twele voraussichtlich ein weiteres PPA anbieten, welches auf der geleisteten Arbeit, sprich der fertigen Windanlage, aufbaut. Die Arbeit des aktuellen PPA soll damit komplettiert und ausgebaut werden. Im Wesentlichen sollen Computersimulationen und Laborversuche verbessert und erweitert werden. Weiterhin soll die Anlage an einem geeigneten Standort zumindest temporär zu Testzwecken aufgeständert werden, um die reale Leistungskurve (Verhalten im Freifeld) zu messen. Die reale Leistungsumsetzung soll dann mit den Ergebnissen der vorausgegangenen Simulationen und Laborversuchen verglichen werden.

# Was das Zeug im FEZ hält

Studenten der Hochschule für Technik und Wirtschaft bauen ein Windrad

Wuhlheide. „Das Windrad, das wir hier bauen, ist normalerweise 10 bis 15 Meter hoch“, meint Umweltingenieur Niels Harborth, der die praktische Umsetzung der Windanlagenkonstruktion im Kurs des fünften Semesters bei Professor Dr. Joachim Twele an der HTW in Umwelttechnik/Regenerative Energien leitet. „Wir werden es aber in diesem Semester nicht mehr aufbauen, weil wir erst Ende Juni mit den Arbeiten fertig sind, und die Studenten dann in die Klausuren gehen, also anderweitig zu tun haben“, ergänzt Jörg Alber, der zusammen mit Harborth den Studenten beim Bau der Anlage mit praktischen Ratschlägen und Anweisungen zur Seite steht. Die beiden erzählen, wie gut es ist, endlich mit dem Werkeln loszulegen, nachdem man seit Anfang April im Seminar an der Theorie und Planung der Anlage gearbeitet hat.

Und in der Tat, die Stimmung unter den Studenten an diesem sonnigen Projektnachmittag Ende Mai im FEZ-Hof ist fröhlich. Andererseits wird konzentriert gearbeitet. Einige schmirgeln an den hölzernen Rotorblättern, andere überwachen das Trocknen der dunkelgrauen Farbe am gerade gestrichenen Eisenturm. „Den sollten wir eigentlich selber schweißen. Da das aber keiner von uns kann, hat das mein Nachbar für uns erledigt“, erzählt einer der Projektteilnehmer.

Die Mehrheit der Studenten, die hier an diesem Nachmittag im Werkstattthof des FEZ arbeitet, hat ihren Spaß beim Ausgießen der Generatorfläche zur Isolierung der selbstgewickelten Kupferdrahtspulen mit einer vor Ort angerührten hellgrauen Harz-Härter-Talkum-Mischung. Und dass die gute Laune auf keinen Fall zu kurz kommen darf, wird auch klar, als die Studenten ein Brett auf die noch frische Gießmasse legen und darauf einhämmern. „Was der Sinn dabei ist, hat sich mir auch noch nicht vollständig erschlossen“, scherzt Harborth. „Die Luftblasen sollen entweichen“, sagt einer der Studenten. Das leuchtet dem Dozenten nicht so richtig ein, weil es wohl keinen Platz zum Entweichen gibt. So kann das



Alles im Team: hier Isoliermasse mixen



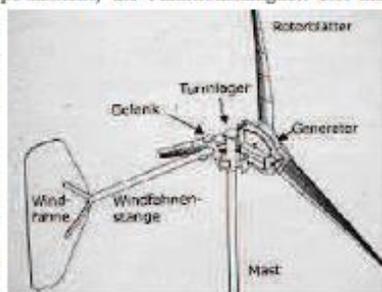
Sieht aus wie ein Kuchen, wird aber der Generator.

Fotos: stü

Problem erst einmal nicht geklärt werden. Das irritiert die Studenten aber gar nicht. Sie hämmern lautstark weiter.

„Auch wenn das hier ein bisschen nach Bastelgruppe aussieht, ist es doch sinnvoll, den Studenten zu zeigen, wie viel Arbeit es ist, die theoretischen Planungen, die sie ja später in ihrem Beruf als Umweltingenieur an andere dirigieren, in die Praxis, also in ein Gebilde, das in der Landschaft steht und funktionieren soll, umzusetzen“, erklärt Niels Harborth den Sinn des

Unterfangens. „Und es muss millimetergenau gearbeitet werden, damit das Teil nachher reibungslos arbeiten kann“, erzählt er weiter, auch wenn er zugibt, dass die Funktionsfähigkeit erst mal



Technische Zeichnung aus dem Handbuch des Entwicklers entnommen: Hugh Piggeot, „A Wind Turbine Recipe Book“. Foto: Handbuch

nur in einer Computersimulation getestet wird. „Aber in kommenden Semestern werden wir auf die praktische Arbeit dieses Kurses zurückgreifen und an Aufbau und Betrieb der Anlage feilen. Und vielleicht können wir dann beweisen, dass man mit unserer 700-Watt-Anlage den Strombedarf einer Gartenhütte, in der zumindest eine Lampe und eine Musikanlage betrieben werden, decken kann“, ist Harborths Kollege Jörg Alber optimistisch.

Dass im Praxisteam an diesem Nachmittag keine Frauen zu sehen sind, erklärt Alber damit, dass es ja nicht nur die drei Gruppen Metallarbeit, Generatorbau und Flügelherstellung gibt, sondern dass Leute im Hintergrund an der Elektronik arbeiten, zum Beispiel der Umwandlung der Windradleistung in nutzbare Energie. Unter den 35 Kursteilnehmern sind laut Angaben des Lehrpersonals nämlich auch fünf Frauen. „Es müssen nicht immer alle an einem Ort und zum selben Zeitpunkt dabei sein“, so Harborth. „Die Teamarbeit klappt insgesamt sehr gut. Die Planer und Techniker sieht man eben meist nicht auf der Baustelle, sondern sie bleiben im Büro im Hintergrund, sind in den entscheidenden Arbeitsphasen dann aber auch wieder sichtbar. Zum Beispiel, wenn jede einzelne Arbeitsgruppe in einigen Wochen ihre Erfahrungen, Arbeitsabläufe und Ergebnisse vorstellt“, weiß der Lehrer.

Dass die jungen Teams die Werkstatt und den Hof des FEZ nutzen können, ist dem Engagement von Hans-Georg Werner zu verdanken, dem Leiter des Technischen Jugendbildungsvereins in Praxis (TJP), der mit seinem Verein im FEZ Kinder, Jugendliche und junge Erwachsene im naturwissenschaftlich-technischen Bereich fördert.

„Ohne die Unterstützung von Hans-Georg Werner und des FEZ-Personals hätten wir das Praxisprojekt nicht umsetzen können. In der Hochschule für Technik und Wirtschaft auf dem Campus Wilhelmshof haben wir weder Platz noch Arbeitsmöglichkeiten noch entsprechendes Werkzeug, um unsere Idee zu verwirklichen“, sagt Niels Harborth. stü

Abbildung 3: Berliner Abendblatt, 01.06.2012