
Bau eines
Minigrid-Stromversorgungssystems mit
einer Kleinwindkraftanlage als
Erzeugungseinheit



Lehrveranstaltungsbeschreibung für Universitäten
und Hochschulen

KURZBESCHREIBUNG

Die praktische Lehrveranstaltung „Bau eines Minigrid-Stromversorgungssystems mit einer Kleinwindkraftanlage als Erzeugereinheit“ ist für 15 bis zu 30 Teilnehmer*innen konzipiert und erfordert keine Vorkenntnisse.

Die Blockveranstaltung ist auf 5 Tage je 8 Zeitstunden angelegt und beinhaltet die komplette Fertigung eines funktionsfähigen Minigrid-Stromversorgungssystems bestehend aus einer Windkraftanlage mit einer Nennleistung von ca. 400 W, 2 m Rotordurchmesser, einem 10 m hohen Mast inklusive Verankerungstechnik, dem elektrischen Schaltschrank mit Ladetechnik, Leistungsanzeigen, Sicherungen, Sturmsicherung, Gleichrichter-technik und die Integration eines elektrischen Speichers.

Die praktische Lehrveranstaltung wird mit thematisch entsprechenden Theorieeinheiten begleitet. Die gesamte Anlage wird von den Kurs-Teilnehmenden selbstständig unter Anleitung aus Standard-Baumaterialien (Profilstahl, Kupferlackdraht, Vierkantholz, Kunstharz, etc.) im Eigenbau hergestellt, montiert und in Betrieb genommen. Alle hierfür notwendigen Baumaterialien sind weltweit verfügbar, sodass diese Turbine überall auf der Erde nachgebaut werden kann. Die Anlage kann anschließend für Laborversuche, Feldtests, Abschlussarbeiten oder zur Versorgung elektrischer Verbraucher im Inselbetrieb verwendet werden. Die Lehrveranstaltung kann mit einem Umfang von 2 ECTS bewertet werden.

INHALT

Kurzbeschreibung.....	3
1. Ziele der Lehrveranstaltung.....	5
1.1 Zu vermittelnde Inhalte	5
2. Didaktisches Konzept	6
3. Lehrinhalte	7
3.1 Praktische Einheiten	7
3.2 Theoretische Einheiten.....	8
3.3 Optionales Element Entwicklungsstation	8
4. Lehrveranstaltungsstruktur.....	9
4.1 Arbeitsbereiche (Stationen).....	9
4.1.1 Arbeitsbereich Holz	9
4.1.2 Arbeitsbereich Elektrotechnik.....	10
4.1.3 Arbeitsbereich Stahl	11
4.1.4 Optional: Entwicklungsstation	12
4.2 Zusammenbau	12
4.3 Dauer/SWS/Format	12
4.4 Zeitplan	13
4.5 Vorkenntnisse / Zielgruppe	15
4.6 Prüfungsleistung	15
4.7 Die Dozierenden	15
5. Kostenplan und Betreuungsaufwand	16
6. Kontakt	17
7. Anhang	18
7.1 Technische Daten der Windkraftanlage	18
7.2 Referenzen.....	20
7.3 Modulbeschreibung für den Modulkatalog.....	21

1. ZIELE DER LEHRVERANSTALTUNG

Das Ziel der praktischen, interdisziplinären Lehrveranstaltung ist es, das Systemverständnis und die Grundlagen für elektrische Inselssysteme und Windkraftanlagen zu vermitteln.

Hierbei wird der Fokus vor allem darauf gelegt, die im Studium erlernte Theorie zu festigen, zu vertiefen und durch die direkte Umsetzung und Fertigung und Inbetriebnahme einer voll funktionsfähigen Windkraftanlage greifbarer und verständlicher zu machen. Darüber hinaus werden praktische Fertigkeiten in den Bereichen Metallbearbeitung, Elektrotechnik und Holzbearbeitung vermittelt und direkt von den Studierenden angewendet. Die Motivation für diese Lehrveranstaltung ist es, den praktischen Zugang zur Technologie der Windenergie zu verbessern, die Energiewende und deren ökologische Notwendigkeit zu thematisieren und das Verständnis für Energiemengen und -verbräuche zu verbessern.

1.1 ZU VERMITTELNDE INHALTE

HANDWERKLICHE FÄHIGKEITEN

- sicherer Umgang mit Werkzeugen und Materialien
- Holzbearbeitung: Sägen, Hobeln, Schnitzen, Feilen und Oberflächenbehandlung
- Metallbearbeitung: Sägen, Trennen, Schweißen, Gewindeschneiden, und Bohren
- Elektroarbeiten: Löten, Schaltschrank planen und bestücken, Spulen wickeln und Generatorbau (Axialfluss-Scheibengenerator)

THEORETISCHE INHALTE

- Globale und regionale Windsysteme
- Leistung des Windes
- Windenergiewandlung und Auftriebsprinzip
- Leistung des Rotors, Betz-Faktor und Bautypen von WKA
- Elektromagnetische Induktion und Synchrongenerator
- Standortbestimmung inkl. grundsätzliche Statik der WKA
- Aktueller Stand der Windenergie-Technik

2. DIDAKTISCHES KONZEPT

Das didaktische Konzept der Lehrveranstaltung ist nach dem Modell „Erfahrungsbasiertes Lernen“ konzipiert und verfolgt als Ziel eine nachhaltige Bildung.

Die Teilnehmenden fertigen das Minigrd-System eigenständig unter professioneller Anleitung der Betreuungspersonen an. Diese erklären die notwendigen Arbeitsschritte und handwerklichen Fähigkeiten, greifen aber nicht in den Arbeitsprozess ein. Das gesamte System wird somit von den Studierenden eigenständig hergestellt. Die unmittelbare, praktische Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand „Windkraftanlage“ ermöglicht ein effektives, sinnstiftendes Lernen.

Erfahrungsbasierte Lernarrangements wie das angebotene Workshopkonzept sind eine Form situierten Lernens, wobei die Lernenden als Akteur*innen im Mittelpunkt steht. Durch ein strukturiertes Rotationsprinzip können alle Teilnehmenden in jedem Arbeitsbereich arbeiten und erlernen hierdurch theoretisches Wissen und handwerkliche Fähigkeiten der jeweiligen Gewerke (Metallbearbeitung, Elektrotechnik, Holzbearbeitung und Entwicklungsstation) und wenden dieses Wissen direkt für die Fertigung der Inselanlage an.

Durch die Methode des informellen Lernens wird automatisch eine positive Lernerfahrung in allen Arbeitsbereichen erzielt. Wichtig für solche Lernerfolge ist die Lernmotivation. Diese war durch das gemeinsame Ziel, eine funktionsfähige Windkraftanlage fertigzustellen bei allen bisher angebotenen Veranstaltungen gegeben.

An den jeweiligen Stationen arbeiten die Studierenden im Team und erfahren hierdurch eine entsprechende Gruppenerfahrung und Gruppendynamik und verbessern ihre Teamfähigkeit. Das Zusammenfügen der Einzelbauteile zu einem Gesamtsystem lässt die Gesamtgruppe zusammenwachsen und fördert auch den interdisziplinären Austausch der unterschiedlichen Studiengänge. Die Veranstaltungsstruktur beinhaltet neben der Arbeitsrotation als weiteres Element die sogenannten Rundgänge: Nach jeder Arbeitseinheit stellt die jeweilige Arbeitsgruppe den restlichen Teilnehmenden ihre Werkstücke unter Erläuterung der dafür notwendigen Arbeitsschritte vor. Dabei festigt sich das erlernte Wissen auf der Seite der Erklärenden nach dem Konzept „Lernen durch Lehren“ und alle restlichen Teilnehmer*innen können hierdurch einen Gesamtüberblick über alle Gewerke und die Entstehung des Minigrids verfolgen.

Die Verknüpfung von theoretischen Lerninhalten durch kurze Vorträge über den Themenkomplex Windenergie und die direkte praktische Verknüpfung festigen das erlernte Hintergrundwissen und erleichtern den Zugang für alle Teilnehmenden.

Die handwerklichen Fähigkeiten, welche unter Anleitung erlernt werden, stärken das Selbstwertgefühl und vermitteln den Studierenden nützliches, praktisches Wissen, das im Rahmen des Studiums normalerweise nicht vermittelt wird.

Workshops können bei Bedarf auch in Englisch gehalten werden.

3. LEHRINHALTE

Ziel des Kurses ist es, allen Teilnehmer*innen die Grundlagen zum Bau und Betrieb einer Kleinwindkraftanlage nach Hugh Piggott¹ zu vermitteln. Die Lehrinhalte sind sowohl theoretischer als auch praktischer Art. Praktische Arbeitseinheiten wechseln sich mit theoretischen Inputs ab. Diskussionen während der Arbeitseinheit und kurze Vorträge der Studierenden über ihre Arbeitsfortschritte prägen den interaktiven Charakter der Lehrveranstaltung.

3.1 PRAKTISCHE EINHEITEN

Der praktische Teil der Lehrveranstaltung beinhaltet folgende Unterschritte mit den zu erlernenden Fertigkeiten und Techniken:

- Fertigung der Rotorblätter mit aerodynamischen Profil und Zusammenbau des Rotors: Holzverarbeitung (messen, anzeichnen, sägen, beiteln, hobeln, schleifen, ölen, wiegen, auswuchten, etc.)
- Fertigung der Windfahne und der Gießformen: Holzverarbeitung (messen, anzeichnen, sägen, schleifen und lackieren)
- Fertigung des Generators: Wickeln der Spulen, geometrische Verteilung der Spulen und Magneten, elektrische Verbindung der Spulen zu einer Sternschaltung, Aufkleben der Magneten für den Generator, eingießen der Spulen zum Stator in Kunstharz (GFK)
- Fertigung der Schaltelektronik: Löten des Batterie-Ladereglers, Verdrahten des Gleichrichters und der Messgeräte, Ausführung der Unterverteilung und der Absicherung
- Fertigung der Gondel mit Sturmsicherung, der Windfahne und des Masts: Metallverarbeitung (messen, anreißen, sägen, entgraten, fassen, bohren, Gewinde schneiden, schweißen, schrauben)
- Zusammenfügen und Einstellen der einzelnen Komponenten (Rotor, Generator und Gondel) zu einer funktionstüchtigen Kleinwindkraftanlage
- Aufbau eines Minigrids: Bestückung des Schaltschranks, Fertigung der Ladeelektronik, Konfigurierung und Einstellung der Regelung, Einbindung des Akkumulators, elektrische Schutzvorrichtungen, Integration von Messtechnik, Integration des Windrads, gesamter Systemtest. Erlernbare Fertigkeiten: elektrische Verbindung herstellen (z.B. löten, vercrimpen, Schraubverbindungen, Montage von Hutschienen und Klemmen), Schaltschrankbau (Komponenten im Schaltschrank anordnen, auf Funktion prüfen und montieren, Gewinde schneiden, schrauben und bohren)
- Fertigung des Masts: Metallverarbeitung (sägen, schleifen, schweißen, schrauben), konstruieren, messen, geometrisch anordnen, Montage

¹ Informationen zu den von Hugh Piggott einwickelten Kleinwindkraftanlagen unter <http://scoraigwind.co.uk/undhttp://windempowerment.org/>

3.2 THEORETISCHE EINHEITEN

Der praxisorientierte Workshop wird durch grundlegende jeweils etwa 30-minütige Theoriesequenzen ergänzt. Die theoretischen Bausteine sind folgende:

- Systemüberblick des Minigrids: Kurze Beschreibung der einzelnen Komponenten eines Inselfsystems, deren Funktionsweisen, Zusammenwirken und Regelung.
- Globales Windsystem: Beschreibung des Phänomens Wind und dessen Entstehung. Erklärung des globalen Windsystems, dessen Entstehung und Einflussgrößen wie beispielsweise die Corioliskraft.
- Lokales Windsystem: Betrachtung lokaler Windsysteme mit Erläuterung der Rauigkeitsklassen, der Landschaftseinflüsse und des Höhenprofils.
- Aufbau und Aerodynamik der Rotorblätter: Beschreibung des aerodynamischen Auftriebsprinzips und der Kraftwirkungen. Der Aufbau des Flügels mit Flügelverwindung und Flügelprofil wird daraus abgeleitet.
- Leistung des Windes: Die Formeln für den Energieinhalt, die Leistungsberechnung und zugehörige Faustformeln werden vermittelt.
- Leistung des Rotors: Der Betz-Faktor wird hergeleitet, der c_p -Wert erläutert, Leistungsberechnung des Rotors aufgezeigt, weitere Wirkungsgrade genannt und unterschiedliche Turbinenbauarten miteinander verglichen.
- Synchrongenerator: Funktionsprinzip des Synchrongenerators mit Permanentenerregung, elektromagnetisches Wandlungsprinzip, und Erklärung der hier verwendeten Geometrie. Vermittlung von Einflussgrößen auf elektrische Spannung und Strom.
- Elektrische Wandlung und Gleichrichtung: Der Weg vom Drehstrom zum gleichgerichteten Strom wird beschrieben (Funktion der Gleichrichterbrücke).
- Charakterisierung der WKA und des Betriebsverhaltens: Funktionsweise der Sturmsicherung, Analyse der spezifischen Leistungskennlinie, Einfluss der Systemspannung.
- Standortauswahl für WKA: Die Theorie zum Einfluss der Landschaftsform auf die Windverhältnisse wird dargelegt. Dies bildet die Grundlage für die Standortwahl. Hierbei werden die Effekte Turbulenzen, Rückstau und laminare Anströmung erklärt und ermöglichen eine Ertragsabschätzung.
- Stand der Technik: Systemvergleich der Kleinwindkraftanlage mit modernen Großanlagen.

3.3 OPTIONALES ELEMENT ENTWICKLUNGSSTATION

Sofern die Anzahl der Teilnehmenden 15 deutlich übersteigt, kann ein weiteres „Gewerk“ integriert werden. An der zusätzlichen „Station“ werden die Studierenden mit Aufgaben konfrontiert, die u.a. die technische sowie produktionstechnische Optimierung der Anlage zum Ziel haben. Dazu zählen:

- Messtechnische Charakterisierung des Windrads im Betrieb (z. B. Drehstromsystem, Drehzahl, Windgeschwindigkeit, elektrischer Output) und die daraus resultieren Wirkungsgrade und Energieflussbilder
- Darstellung und Variation des Flügeldesigns mit der Open-Source-Software „QBlade“
- Erstellen eines CAD-Modells mit der Open-Source-Software „FreeCAD“
- Entwickeln, Programmierung und Bauen einer Windmessenrichtung mit Anemometer und Datenlogsystem auf „Arduino“-Basis
- Entwickeln, Programmierung und Bau einer alternativen Ladereglung auf „Raspberry Pi“-Basis
- u.v.m

Darauf aufbauend können Systemoptimierungen diskutiert werden.

4. LEHRVERANSTALTUNGSSTRUKTUR

Die Lehrveranstaltung ist je nach Umfang für 15 bis 30 Teilnehmende konzipiert und umfasst 5 Tage je 8 Zeitstunden als Blockveranstaltung. Die Betreuung erfolgt durch drei (bei 15 Teilnehmenden) beziehungsweise vier (bei 30 Teilnehmenden) geschulten Dozent*innen des Kollektivbetriebs ERNI (**ER**Neuerbare **I**deen **K**ollektiv). Die Lehrveranstaltung kann mit einem Umfang von 2 ECTS bewertet werden.

Am ersten Tag wird der Gesamtgruppe ein Überblick über die Lernziele gegeben, die Struktur des Workshops erklärt, in die allgemeinen Sicherheitsmaßnahmen eingewiesen und gemeinsame Absprachen getroffen. Anschließend werden die Arbeitsstationen durchgesprochen und ein grober Überblick über die jeweiligen Arbeitsschwerpunkte gegeben.

4.1 ARBEITSBEREICHE (STATIONEN)

Der Workshop ist in die Arbeitsbereiche, auch „Stationen“ genannt, „Holz“, „Elektro“ und „Stahl“ eingeteilt. Die Gruppe wird vor jeder Arbeitseinheit in Kleingruppen auf die Stationen verteilt. Eine Arbeitseinheit umfasst in etwa 3 Stunden (ein Arbeitsblock vormittags, ein Arbeitsblock nachmittags). Die Teilnehmenden rotieren nach jeder Einheit zur nächsten Station, bis sie einmal an jeden Arbeitsbereich tätig waren. Danach können sich die Studierenden für die verbleibende Dauer des Kurses selbstständig auf die unterschiedlichen Stationen aufteilen. Nach jeder Arbeitseinheit stellt die jeweilige Arbeitsgruppe einer Station den restlichen Teilnehmenden während des sogenannten Rundgangs ihre Werkstücke unter Erläuterung der dafür notwendigen Arbeitsschritte vor. Zusätzliche Theorieblöcke, die jeden Morgen vor Arbeitsbeginn vorgetragen werden, vermitteln Wissen aus dem Themenkomplex Windenergie. Die Teilnehmenden erhalten ein Handout für die Theorieblöcke. Optional kann am Ende der Veranstaltung eine Klausur zur Abfrage des erlernten Wissens angeboten werden.

Die drei Arbeitsstationen werden im Folgenden genauer beschrieben.

4.1.1 ARBEITSBEREICH HOLZ

Die Station Holz fertigt aus Holzbohlen die aerodynamischen Rotorblätter, verbindet die drei Elemente mit eigens dafür angefertigten Verbindungsmitteln aus Leimholzplatten zu einem Rotor und montiert diesen abschließend an der Windturbine. Die Flügel werden aus Lärchenholz gefertigt, da dieses gut bearbeitbar, witterungsbeständig, regional verfügbar und elastisch ist.



ABBILDUNG 1: HOLZBEARBEITUNG EINES ROTORBLATTS

Die Rotorblattform wird mittels einer Schablone, welche in mehrere aerodynamische Abschnitte unterteilt ist, auf die unbearbeitete Bohle übertragen. Die grobe Bearbeitung zur Herstellung der Rohform des Flügelprofils erfolgt mit den Handwerkzeugen Fuchsschwanz, Japansäge, Stechbeitel und Holzhammer.

Für die Herausarbeitung der endgültigen Flügelkontur kommen die Handwerkzeuge Raspel, Feile, Zugmesser, Hobel und Schleifpapier zum Einsatz. Das Profil des verwundenen, aerodynamisch geformten Flügels ist auf eine Windgeschwindigkeit von 7 m/s ausgelegt, sodass die Turbine bereits bei niedrigen Windgeschwindigkeiten im Nennleistungsbereich betrieben werden kann und so ein möglichst hoher Energieertrag erwirtschaftet werden kann.

Des Weiteren wird in dieser Gruppe die Windfahne aus einer Leimholzplatte hergestellt. Auch hier werden nur Handwerkzeuge für die Fertigung eingesetzt. Die Form und farbliche Gestaltung der Windfahne ist unter Einhaltung der benötigten Fahnenfläche und des Gewichts von den Teilnehmenden frei wählbar.

4.1.2 ARBEITSBEREICH ELEKTROTECHNIK

Die Arbeitsgruppe Elektrotechnik ist in zwei Bereiche unterteilt. Im ersten Teil der Station wird der Schaltschrank gebaut.

Darin enthalten sind:

- die Anzeigen Voltmeter und Amperemeter für die visuelle Leistungsanalyse und Betriebsmessung der Anlage im Betrieb. Die Einpassung und die Montage im Schaltschrank werden von den Studierenden geplant und umgesetzt.
- Der Gleichrichter, bestehend aus zwei oder drei miteinander verschalteten Brückengleichrichtern, wandelt den eingehenden Wechselstrom in Gleichstrom auf dem entsprechenden Niveau, um die 12 - 24 V Batterie laden zu können.
- Die Hauptsicherung schützt das elektrische System vor ungewollten Überlastungen.
- Der Drei-Phasen-Leitungsschutzschalter dient als elektromagnetische Sturmsicherung der Windturbine. Auf der einen Seite des Schutzschalters werden allen drei Phasen gebrückt und auf der anderen Seite die 3 eingehenden Phasen der WKA angeschlossen. Wird der Schalter eingeschaltet, sind alle Spulen miteinander kurzgeschlossen und der Generator fungiert als Wirbelstrombremse und bremst die gesamte Turbine. Für Wartungsarbeiten an der Anlage kann so die Turbine gebremst werden.
- Der Laderegler überwacht die Batteriespannung und schaltet die eingehende Leistung vom Windrad im Bedarfsfall auf entsprechende Lastwiderstände um, um den Akku (meist Blei-Säure Akkumulator, 12 oder 24 V) vor Überladung zu schützen. Dieser Laderegler wird von den Teilnehmenden selbstständig aus elektronischen Einzelbauteilen gelötet und montiert.

Der gesamte Schaltschrank inklusive der Einzelbestandteile wird eigenständig von den Studierenden geplant, montiert, geprüft und in Betrieb genommen. Die verwendeten Komponenten sind Standardbauteile, die miteinander verbunden werden. Die elektronischen Verbindungen werden verlötet, vercrimpt und verschraubt.

Der zweite Teil der Station „Elektrotechnik“ beschäftigt sich mit der Fertigung des Generators. Der Generator besteht aus den Komponenten Stator und Rotor. Der Stator besteht aus insgesamt 9 Spulen, wobei je drei Spulen eine Phase ergeben. Diese werden mithilfe einer speziellen Vorrichtung per Hand von den Teilnehmenden gewickelt. Dabei müssen die Teilnehmenden vor allem auf die Anzahl der Windungen achten und verstehen hierdurch den Zusammenhang zwischen Windungszahl und induzierter Spannung. Nachdem alle neun Spulen hergestellt sind, werden jeweils drei Spulen miteinander in Reihe verschaltet und die drei Phasen des Drehstromgenerators in Sternschaltung miteinander verlötet.



ABBILDUNG 2: ROTORSCHIBE MIT MAGNETEN FÜR DEN GENERATOR

Der Stator wird mithilfe einer Gießform in der korrekten Anordnung mit Kunstharz und Glasfasergewebematten als Verstärkung vergossen. Der Rotor besteht aus einer Stahlscheibe und mehreren Permanentmagneten. Die Magnete werden unter Verwendung von Schablonen und Spezialwerkzeug auf der Rotorstahlscheibe verklebt und ebenfalls in Kunstharz mit Glasfaserverstärkung vergossen. Anschließend werden die Gussprodukte aus der Form genommen, gereinigt und aus Gründen des Witterungsschutzes lackiert. Diese Bauteile können anschließend an der Gondel der Windturbine in ihrer Endposition montiert werden.

4.1.3 ARBEITSBEREICH STAHL

Im Bereich „Stahl“ beschäftigt sich die Gruppe mit der Fertigung der Windturbinengondel und der Herstellung des Masts.

Mit der Handsäge und dem Winkelschleifer werden aus Flachstahl und Stahlprofilen die Einzelteile für die Gondel herausgearbeitet, mit der Feile entgratet und gefast. Anschließend werden die vorbereiteten Einzelteile mit einem Schweißgerät verbunden. Die Gondel besteht aus der Lageraufnahme, dem Windfahnenanschluss mit Drehgelenk und der Turmlagerung. Die Einzelteile der Windfahnenunterkonstruktion werden ebenfalls aus Standard Stahlprofilen ausgearbeitet und anschließend miteinander verschweißt. Die Befestigungspunkte für den Stator und den Rotor werden mithilfe einer (Stand)-Bohrmaschine in die Stahlprofile gebohrt. Als Rotorlagerung wird eine gebrauchte KFZ-Radnabe verwendet. Die Nabe wird von den Teilnehmenden gereinigt, gewartet und an der Gondel montiert.

Der Turm bzw. Mast besteht aus mehreren Segmenten, die mit Flanschverbindungen verbunden werden. Hierbei sind vor allem Schweißarbeiten erforderlich. Der fertige Mast wird über Stahlseile abgespannt und alle notwendigen Befestigungspunkte werden mithilfe von Erdnägeln im Boden verankert, sodass für die gesamte Konstruktion keine Fundamente erforderlich sind. Die Windkraftanlage ist innerhalb von weniger als einem Tag auf- bzw. abbaubar und damit semi-mobil.



ABBILDUNG 3: METALLBEARBEITUNG FÜR DIE GONDELKONSTRUKTION

Die Erdnägel, sowohl für den Turmfuß als auch für die Abspannpunkte, werden aus Baustahlelementen oder Ähnlichem vom Schrottplatz recycelt.

4.1.4 OPTIONAL: ENTWICKLUNGSSTATION

Wie in Punkt 3.3. „**Optionales Element Entwicklungsstation**“ erwähnt, kann bei höherer Teilnehmerszahl eine zusätzliche „Station“ angeboten werden. Der Inhalt der Entwicklungsstation kann eines der bereits genannten Themen sein. Alternativ werden auch neue, bisher nicht behandelte Themen behandelt. Der thematische Schwerpunkt einer Entwicklungsstation kann auch individuell mit dem Kollektiv ERNI abgesprochen und angepasst werden.

4.2 ZUSAMMENBAU

Am Ende der Veranstaltung werden die Werkstücke der jeweiligen Gruppen zusammengeführt. Die Montage und das Assembling werden in der Gesamtgruppe von den Teilnehmenden unter Anleitung umgesetzt. Anschließend kann die Anlage im freien Feld errichtet und in Betrieb genommen werden. Der Abschluss der Lehrveranstaltung erfolgt mit einer Evaluation des Kurses und einer Feedbackrunde aller Beteiligten in der Gesamtgruppe.

4.3 DAUER/SWS/FORMAT

Die Lehrveranstaltung wird als Blockseminar angeboten und umfasst 60 Zeitstunden. Der studentische Aufwand beläuft sich auf 2 ECTS. Die Veranstaltung wird über die Anwesenheit und Anteilnahme der Teilnehmenden bewertet. Als Ergänzung kann zur Wissensüberprüfung eine Klausur angeboten werden.

4.4 ZEITPLAN

Das folgende Beispiel für einen Ablaufplan entspricht dem Workshopkonzept, wie es vom Windkraftkollektiv ERNI bereits erfolgreich durchgeführt wurde. Die Blockveranstaltungstage sind wie folgt strukturiert:

9.00 - 9.30 Uhr: Theorieeinheit

9.30 - 12.00 Uhr: Arbeitseinheit

12.00 - 12.30 Uhr: Rundgang

12.30 - 14.00 Uhr: Mittagspause

14.00 - 16.30 Uhr: Arbeitseinheit

16.30 - 17.00 Uhr: Rundgang

Optional: Am letzten Tag halten wir von 9.00 - 9.30 Uhr die Kurzklausur ab. Am Vortag wird ein Doppelblock Theorie und eine Vorbesprechung der Klausur angeboten; die Arbeitszeit verkürzt sich dementsprechend.

Tabelle 2 kann ein exemplarischer Zeitplan für eine mögliche Workshopvariante (Fertigung eines Inselsystems) entnommen werden. Der Zeitplan kann spezifisch je nach Gegebenheiten und Wünschen angepasst werden. Diese Variante beschreibt den Workshop einer Turbine als Inselsystem der Baugröße 2,0 m Rotordurchmesser und einer Nennleistung von 400 W. Andere Turbinentypen können ebenfalls angeboten werden. Bei Fragen, Anpassungen, Absprachen oder prinzipiellem Interesse an unserem Workshop-Angebot können sie gerne über info@erni-kollektiv.org Kontakt zu uns aufnehmen.

OPTIONEN:

- Turbinenleistung: 700W, 800W, 1000W
- Entwicklungsstation (Variante für 30 Studierende)

TABELLE 1: BEISPIELPLAN WORKSHOP

	Tag 1	Tag 2	Tag 3	Tag 4	Tag 5
Theorieeinheit	Windsysteme, Windleistung	Wind gewandelt	Leistung des Rotors	Synchrongenerator/ Induktion	Statik und Mast, Stand der Technik
Holzstation (Rotorblätter)	Vorarbeiten der Flügel, Werkzeugeinführung, Bearbeitung der Luv-Seite	Bearbeitung der Lee-Seite	Herausarbeiten des aerodynamischen Profils	Feinschliff der Rotorblätter, Montage des Rotors und Auswuchten der Flügel	
Elektrostation (Schaltschrank und Generator)	Spulen wickeln und prüfen/wiegen. Schaltschrank planen und vorbereiten	Spulen wickeln + prüfen/wiegen. Schaltschrank planen, vorbereiten und montieren. Laderegler löten	Gleichrichter und Kühlkörper montieren. Spulen löten, Guss vorbereiten, Generator gießen, Magnetscheiben gießen	Schaltschrank montieren, Dumpload löten, Verbraucher planen, Fertigstellung der elektrischen Verschaltung	Endmontage der Turbine, Aufstellen des Windrads und Feedback-Einheit
Metallstation (Gondel und Mast)	Warten der Radnabe, Stahl reinigen, Winkel zusägen	Mastdrehlager und Sturmsicherung schweißen, Nabe einpassen	Gondel schweißen, Mast fertigen, Windfahne entwerfen	Gondel schweißen, Rohre zuschneiden, Mast fertigen und streichen	

4.5 VORKENNTNISSE / ZIELGRUPPE

Für die Teilnahme sind keine Vorkenntnisse erforderlich. Gerne kann eine interdisziplinäre Gruppe, zusammengesetzt aus verschiedenen Studienrichtungen und aus sowohl Bachelor- als auch Masterstudierenden, betreut werden. Die Workshops werden für verschiedene Zielgruppen angeboten und sind entsprechend für Teilnehmende mit unterschiedlichsten Vorkenntnissen konzeptioniert. Neben Studierenden können auch Schulgruppen ab einem Alter von 13 Jahren betreut werden.

Je nach Zielgruppe werden die Inhalte der Theorie auf das Vorwissen der Teilnehmenden zugeschnitten. Ziel ist eine Wissensweiterung der gesamten Gruppe. Nach den Theorieinputs verbleibende Verständnisschwierigkeiten werden gezielt in Einzelgesprächen während den Arbeitsphasen thematisiert, bis das zu Erlernende sicher verstanden wurde.

4.6 PRÜFUNGSLEISTUNG

Die Bewertung der Lehrveranstaltung erfolgt im Regelfall über die Anwesenheit und die aktive Teilnahme und Mitarbeit so wie der Fertigstellung des technischen Systems je nach gewählter Option. Hierbei vergeben wir abschließend in der Regel eine Gruppennote, außer einzelne Teilnehmende sind besonders auffällig. Falls gewünscht, kann optional eine Klausur am Ende der Lehrveranstaltung abgehalten werden. Diese fragt sowohl das erlernte theoretische Wissen aus den Theorie-Einheiten als auch die praktischen Inhalte der Arbeitsphasen ab. Ein Transferteil stellt die Verknüpfung zu konventionellen Windkraftanlagen und dem Stand der Technik her.

4.7 DIE DOZIERENDEN

Die Dozierenden sind Mitglieder des Kollektivs **ERNI (ERNeuerbare Ideen)**. Die fachlichen Hintergründe sind unterschiedlich, teils studiert, teils ausgebildet und teils autodidaktisch erlernt. Folgende Fachrichtungen sind im Kollektiv vereint: Energie- und Prozesstechnik, Regenerative Energiesysteme, Maschinenbau, regenerative Energien und Energieeffizienz, Umweltingenieurwesen, Mediengestaltung, Environmental and Resource Management, Sustainable Energy Technology, Elektrotechnik, Physikalische Ingenieurwissenschaften, Energie- und Umwelttechnik und diverse handwerkliche Fähigkeiten.

Das Team entscheidet für jede Veranstaltung individuell, welche Mitglieder als anleitende Personen teilnehmen. Alle Entscheidungen innerhalb des Kollektivs werden gemeinschaftlich und basisdemokratisch gefällt.

5. KOSTENPLAN UND BETREUUNGSaufWAND

Die Personalkosten können über Lehraufträge je 48 Stunden abgerechnet werden. Zusätzlich fallen folgende Kosten für Material, Anreise und Unterbringung an. Um Materialkosten zu vermeiden, kann das fertiggestellte Windrad an das ERNI Kollektiv übergeben werden.

Für den Workshop mit 15 Teilnehmenden wird mit drei Lehrpersonen geplant. Bei mehr als 15 Teilnehmern und/oder wenn die Option mit „Entwicklungsstation“ gewählt wurde, wird eine zusätzliche Betreuungsperson benötigt.

Die Materialkosten erhöhen sich, je nach Variante, um bis zu 500 Euro. Die aufgezeigten Kosten sind exemplarisch dargestellt. Diese können individuell angepasst werden.

	Kosten [Euro]
Material	
Rotor aus Holz	100,00
Generator (Magnete, Spulendraht, Harz)	350,00
Gondel inkl. Nabe und Windfahne	150,00
Mast inkl. Erdnägeln und Abspannung	250,00
Schalterschrank inkl. Laderegung, Sicherung und Dumpload	300,00
Batterien (80 Ah)	100,00
Kopier- und Dokumentationskosten	40,00
Sonstiges	
Unterbringung	400,00
Fahrtkosten (pro km und Person)	0,30 €/km pro Person
Gesamtbetrag für Material, Anreise und Unterbringung	1.690,00 + Anfahrt

6. KONTAKT

Bei Fragen und Interesse Kontakt über info@erni-kollktiv.org.

7. ANHANG

7.1 TECHNISCHE DATEN DER WINDKRAFTANLAGE

Die Windkraftanlage nach der Konstruktion von Hugh Piggott ist ein dreiblättriger Horizontalläufer mit einem direkt angetriebenen Axialfluss-Permanentmagnet-Generator. Die aus Holz gefertigten Blätter arbeiten nach dem Auftriebsprinzip und sind in zwei Segmente unterteilt. Das erste Segment ist für die Anlaufwindgeschwindigkeit von 3 m/s und eine Anlaufdrehzahl vom 240 U/min ausgelegt. Das zweite Flügelsegment (vorderes Drittel des Blatts) ist für eine Schnellaufzahl von 6 bei einer Auslegungswindgeschwindigkeit von 10 m/s ausgelegt und erreicht bei diesem Betriebspunkt eine elektrische Nennleistung von ca. 400 W. Der verwendete Generator ist ein axialer Wechselstromgenerator mit Sternschaltung. Die Spannung wird über Ferritmagnete induziert und erzeugt dreiphasigen Wechselstrom. Der Generator kann entsprechend der Ausgangsspannung für 12-, 24- und 48-Volt-Systeme ausgelegt werden.

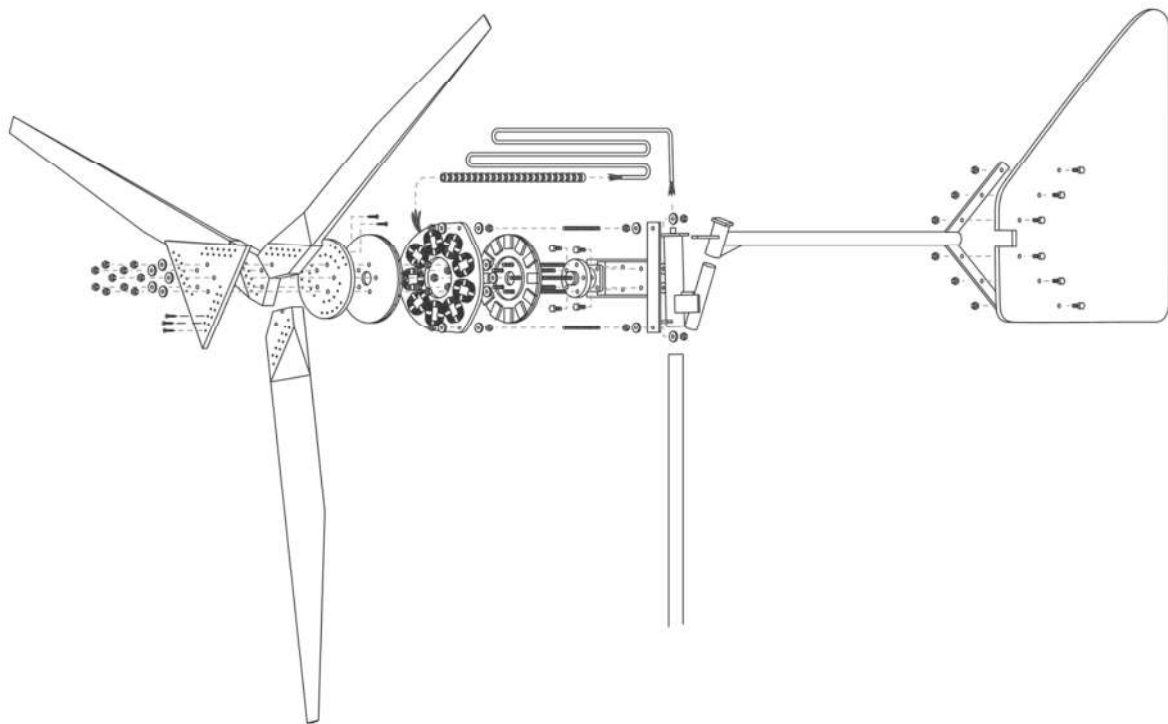


ABBILDUNG 4: EXPLOSIONSZEICHNUNG DER WINDKRAFTANLAGE

Die Windfahnenkonstruktion dient über eine entsprechend dimensionierte Schwerkraftregelung als Sturmsicherung und dreht die Rotorebene ab einer Windgeschwindigkeit von 15m/s kontinuierlich aus dem Wind. Die Abschaltgeschwindigkeit ergibt sich aus einer Leistungskennlinie zu 19,5 m/s.

Da die KWEA Wechselspannung erzeugt, muss zwischen Generator und Akku ein Gleichrichter geschaltet werden. Es wird ein Dreiphasen-Brückengleichrichter verwendet. Ein Tiefentladeschutz und ein Überladeschutz stellen sicher, dass die verwendete Blei-Säure-Batterie immer innerhalb ihres Betriebsbereichs arbeitet und schützen diese vor einer Schädigung. Bei einer Überladung wird die elektrische Energie des Windrads über Lastwiderstände in Wärme gewandelt und an die Umgebung abgegeben. Bei einem zu tiefen Ladestand der Batterie schaltet der Tiefentladeschutz die angeschlossenen Verbraucher ab.

Als Turmkonstruktion wird 2"-Stahlrohr genutzt, welches mit Stahlseilen und Erdnägeln abgespannt wird. Fundamente sind daher für die Errichtung der Anlage nicht nötig.

Abschließend sind in Tabelle 1 die Anlagendaten übersichtlich dargestellt.

Tabelle 2: Überblick technische Daten der Windkraftanlage

Anlagendaten	Wert	Einheit
Rotordurchmesser	<i>2,0</i>	m
Nabenhöhe (bis)	<i>10</i>	m
Leistungsbeiwert c_p	<i>0,35</i>	-
Anlaufschnelllaufzahl	<i>7,5</i>	-
Auslegungsschnelllaufzahl	<i>6</i>	-
Einschaltwindgeschwindigkeit	<i>3</i>	m/s
Auslegungswindgeschwindigkeit	<i>10</i>	m/s
Abschaltwindgeschwindigkeit	<i>19,5</i>	m/s
Nennleistung	<i>400</i>	W

7.2 REFERENZEN

Im Folgenden eine Auswahl an bisher von uns gebauten Kleinwindkraftanlagen:

- Workshop: Inselsystem mit 300W Windturbine Wagenplatz „Sandburg“ Kassel inkl. Inbetriebnahme
- Workshop: Inselsystem mit 300W Windturbine Leipzig Wagenplatz inkl. Inbetriebnahme
- Workshop: Inselsystem mit 300W Windturbine Oberelsungen inkl. Inbetriebnahme
- Workshop: Inselsystem mit 700W Ferrit-Turbine internationaler Workshop Schloss Heinrichshorst
- Workshop: Inselsystem mit 300W Windturbine Reutlingen Hochschule als Lehrveranstaltung (SoSe 13)
- Workshop: Inselsystem mit 300W Windturbine Schule Detmold (8.Klasse) inkl. Inbetriebnahme
- Workshop: Inselsystem mit 300W Windturbine Reutlingen Hochschule als Lehrveranstaltung (WiSe 13/14)
- interner Workshop: Inselsystem mit 1000W Windturbine Landkommune Escherode
- Workshop: Inselsystem mit 300W Windturbine Hochschule Reutlingen als Lehrveranstaltung (SoSe 14) für 30 Studierende mit Entwicklungsstation
- Workshop: Inselsystem mit 300W Windturbine Landkombinat Gatschow e.V. (<http://kombinatg.org/>)
- Workshop: Inselsystem mit 300W Windturbine Hochschule Reutlingen als Lehrveranstaltung (WiSe 14/15) für 30 Studierende mit Entwicklungsstation
- Workshop: Inselsystem mit 300W Windturbine Wagenplatz „Scheffel“ Berlin (Sommer 2015)
- Workshop: Inselsystem mit 350W Ferritbauweise Klimacamp Rheinland (Sommer 2015)
- Workshop: Inselsystem mit 300W Windturbine Hochschule Reutlingen als Lehrveranstaltung (SoSe 2015) für 30 Studierende mit Entwicklungsstation
- Workshop: Inselsystem mit 300W Windturbine Universität Kassel als Lehrveranstaltung (Herbst 2015)
- Workshop: Inselsystem mit 400W Windturbine Hochschule Reutlingen als Lehrveranstaltung (WiSe 15/16) für 30 Studierende mit Entwicklungsstation
- Workshop: Inselsystem mit 800W Ferritbauweise Klimacamp Rheinland (Sommer 2016)
- Workshop: Inselsystem mit 400W Windturbine Hochschule Reutlingen als Lehrveranstaltung (SoSe 16) für 30 Studierende mit Entwicklungsstation
- Workshop: Inselsystem mit 400W Windturbine Hochschule Reutlingen als Lehrveranstaltung (WiSe 16/17) für 30 Studierende mit Entwicklungsstation
- Workshop: Inselsystem mit 400W Windturbine Hochschule Reutlingen als Lehrveranstaltung (SoSe 17) für 30 Studierende mit Entwicklungsstation
- Workshop: Inselsystem mit 400W Windturbine Hochschule Reutlingen als Lehrveranstaltung (WiSe 17/18) für 30 Studierende mit Entwicklungsstation

7.3 MODULBESCHREIBUNG FÜR DEN MODULKATALOG

Modultitel Bau eines Minigrd-Stromversorgungssystems mit einer Kleinwindkraftanlage als Erzeugungseinheit

Leistungspunkte 2 ECTS

Modulverantwortlicher ERNI - Erneuerbare Ideen Kollektiv

Modulsprache deutsch oder englisch

Kontakt info@erni-kollektiv.org

Lernergebnisse

In dem Projektstudium sollen die Fertigung und hierdurch das Funktionsprinzip einer Windkraftanlage und die Grundlagen von Windenergie im Allgemeinen vermittelt werden. Durch die praktische Fertigung einer KWKA wird theoretisches mit praktischen Wissen verknüpft und verfolgt so die Lehransprüche der Projektlehre.

Lehrinhalte

Vermittlung von Grundlagenwissen Windenergie in Form von Vorlesungen und praktischen Tätigkeiten: Das Ziel der praktischen, interdisziplinären Lehrveranstaltung ist es, das Systemverständnis und die Grundlagen für elektrische Inselssysteme und Windkraftanlagen zu vermitteln.

Folgende Inhalte werden vermittelt:

Theoretische Inhalte

- Globale und regionale Windsysteme
- Leistung des Windes
- Windenergiewandlung und Auftriebsprinzip
- Leistung des Rotors, Betz-Faktor und Bautypen von WKA
- Elektromagnetische Induktion und Synchrongenerator
- Statik und Mast der WKA
- Aktueller Stand der Windenergie-Technik

Das theoretische Wissen wird in Form von Vorträgen mit Diskussion einmal pro Tag vermittelt. Am Ende der Lehrveranstaltung wird dieses Wissen mittels einer schriftlichen Klausur abgefragt.

Praktische Fähigkeiten

- Holzbearbeitung: Sägen, Hobeln, Schnitzen, Feilen und Oberflächenbehandlung
- Metallbearbeitung: Sägen, Trennen, Schweißen und Bohren
- Elektroarbeiten: Löten, Schaltschrank planen und bauen, Spulen wickeln, Generatorbau (Axialfluss-Scheibengenerator)
- Montage und Inbetriebnahme der Windkraftanlage

Bearbeitung der Aufgabestellung durch die Studierenden in Kleingruppen und entsprechender Begleitung: Die Teilnehmenden werden auf verschiedene Arbeitsstationen aufgeteilt und fertigen dort die Einzelteile der Kleinstwindkraftanlage. Zum Abschluss wird die Gesamtanlage montiert und in Betrieb genommen.

Arbeitsaufwand und Leistungspunkte

	Stunden [h]
Präsenzzeit	40
Vor- und Nachbereitung	20
Summe	60

Ein Leistungspunkt entspricht 30.0 Stunden (es wird folgende Rundungsart verwendet: Aufrunden).

Beschreibung der Lehr- und Lernformen

Das didaktische Konzept der Lehrveranstaltung ist nach dem Modell „Erfahrungsbasiertes Lernen“ konzipiert. Die Teilnehmenden fertigen Das Minigrind-System eigenständig unter professioneller Anleitung der Betreuungspersonen an.

Durch die Methode des informellen Lernens wird automatisch eine positive Lernerfahrung in allen Arbeitsbereichen erzielt. Die Verknüpfung von theoretischen Lerninhalten durch kurze Vorträge über den Themenkomplex Windenergie und die direkte praktische Verknüpfung festigen das erlernte Hintergrundwissen und erleichtern den Zugang für alle Teilnehmenden.

Voraussetzungen für die Teilnahme

Wünschenswerte Voraussetzungen für die Teilnahme zu den Lehrveranstaltungen: Grundkenntnisse in Windenergie, Elektrotechnik und Grundpraktikum Metallbearbeitung.

Verpflichtende Voraussetzungen für die Modulprüfungsanmeldung: keine

Abschluss des Moduls

Prüfungsform: Portfolioprüfung

Benotung: benotet

Notenschlüssel:

Note	1,0	1,3	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	3,3	3,7	4,0
Punkte	90	85	80	75	70	66	62	58	54	50

Prüfungselement	Gewichtung [%]	Dauer
Aktive Teilnahme	60	mindestens 80% Anwesenheit zum Bestehen notwendig
Klausur (schriftlich)	40	30 - 45 min

Dauer des Moduls

Das Modul kann in 1 Semester(n) abgeschlossen werden. Das Modul wird als Blockveranstaltung innerhalb einer Woche angeboten.

Maximale Zahl teilnehmender Personen

Das Modul ist auf max. 30 Teilnehmende begrenzt.

Anmeldeformalitäten

Anmeldung: Vor der ersten Vorlesung im laufenden Semester im jeweiligen Prüfungsamt. Einteilung in Arbeitsgruppen: In der ersten Vorlesung. Anmeldung zur Prüfung: Die jeweiligen Anmeldefristen sind der Prüfungsordnung zu entnehmen.

Literaturhinweise, Skripte

Skript in Papierform: wird in der der ersten Veranstaltung zur Verfügung gestellt.

Literaturempfehlungen:

- Piggott, Hugh: Wind Power Workshop: Building Your Own Wind Turbine. 2011 Centre for Alternative Technology
- Green Step e.V.: Drei Flügel im Wind - Eine Selbstbauanleitung für Kleinwindturbinen. 2. Aufl. 2011. GREEN STEP e.V.
- Hau, Erich: Windkraftanlagen: Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit. 4. vollst. neu bearb. Aufl. 2008. Berlin Heidelberg: Springer Science & Business Media, 2008.
- Heier, Siegfried: Windkraftanlagen: Systemauslegung, Netzintegration und Regelung. 5. überarb. und akt. Au. 2009. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2009.
- Quaschnig, Volker: Regenerative Energiesysteme: Technologie - Berechnung - Simulation. M: Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2013.
- Gasch, Robert; Twele, Jochen; Gasch, R.; Twele, J.; Bade, Peter; Conrad, Wolfgang; Heilmann, Christoph; Kaiser, K.; Kortenkamp, Rüdiger; Kühn, Martin; Langreder, W.; Liersch, Jan; Maurer, J.; Ohde, Karsten; Reuter, A.; Schubert, Mathias; Sundermann, Bastian; Stoßel, Alexander: Windkraftanlagen: Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb. 6. durchges. u. korr. Aufl. 2010. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2010.

- Franquesa, Manuel: Kleine Windräder: Berechnung und Konstruktion.: Udo Pfriemer Buchverlag in der Bauverlag, 1989.
- Crome, Horst: Windenergie-Praxis: Windkraftanlagen in handwerklicher Fertigung. Staufen bei Freiburg: Ökobuch, 1987.
- Ladener, Heinz: Kleinwindkraftanlagen zur Stromerzeugung: Erfahrungen vom Teste. 200-Watt-Windchargers: Gesamthochschulbibliothek, 1980.
- Hochfelner, Friedrich: Kleinwindkraftanlagen - Anwendungen und Technik im Detail. München: GRIN Verlag, 2008.
- Kutzt: Langsamläufer Windrad: einfachste Bauweise!; aus Waschmaschinenschrott & Holz ; nutzt schwächsten Wind ; lautlos, leistungsfähig & stabil. : Kutzt, 2005.

Zugeordnete Studiengänge

Elektrotechnik, Maschinenbau, Umweltingenieurwesen, Mechatronik, Energie- und Prozesstechnik, Wirtschaftsingenieurwesen, regenerative Energien, alle technischen Studiengänge