

# Forschen und Entwickeln

Die Junior-Ingenieur-Akademie  
des Ursulinengymnasiums Köln



ausgezeichnet von der

Deutsche Telekom Stiftung



**Grundkonzeption / Stand September 2014**

## 1. Einleitung:

Die Ursulinenschule Köln hat mit Beginn des Schuljahres 2012/2013 ihr Angebot im Wahlpflichtbereich II mit der Zielsetzung verändert und erweitert, neben einem sprachlichen Angebotsschwerpunkt einen symmetrisch ausgeprägten MINT-Schwerpunkt zu schaffen. Dazu wurden den drei Sprachen *Französisch*, *Italienisch* und *Russisch* die drei Fächer *Biochemie*, *InformatikPlus* und *Forschen und Entwickeln* gegenüber gestellt, die jeweils verschiedene Teilbereiche aus dem MINT-Spektrum betonen. Das Fach *Forschen und Entwickeln* richtet sich dabei an die Schülerinnen, die einen persönlichen Schwerpunkt im Bereich der angewandten Physik und insbesondere der Technik setzen wollen, sich für Ingenieurberufe interessieren und sich dafür begeistern lassen. Bei der Konzeption des Faches *Forschen und Entwickeln* haben wir uns von Anfang an am Konzept der Junior-Ingenieur-Akademien (JIA) der Deutschen Telekom Stiftung orientiert. Zu Beginn des Schuljahres 2013/2014 wurden wir im Rahmen eines Wettbewerbs auch offiziell von der Telekom-Stiftung ausgezeichnet und in das Netzwerk der JIA-Schulen aufgenommen.

## 2. Grundlagen, Organisation und Rahmenbedingungen unserer Junior-Ingenieur-Akademie

Als übergreifenden Kontext für unsere JIA haben wir für die vier Halbjahre der Jahrgangsstufen 8 und 9 aus dem Bereich der regenerativen Energien die Windenergie ausgewählt, da sich in diesem Rahmen spannende Möglichkeiten aus den Bereichen ganz verschiedener Ingenieurwissenschaften eröffnen.

Jedes Halbjahr erhält seine eigenen inhaltlichen und methodischen Schwerpunkte.

„Forschen“ steht für die wissenschaftlichen Methoden, die praktiziert werden. Der Fachbereich, der für das Fach Pate steht, ist die Physik, wobei das Knowhow anderer Fachgruppen mit einfließt.

„Entwickeln“ drückt aus, dass die gewonnenen Kompetenzen im zweiten Jahr in ein gemeinsames Produkt unter fachkundiger Betreuung externer Experten münden sollen. Hier wird auf die praktische Umsetzung und das Lernen durch Anwendung besonderer Wert gelegt.

Beide Bereiche betonen Projektarbeit, wobei Teamarbeit und Präsentation von Ergebnissen methodische Schwerpunkte bilden. Das sind auch wichtige Bestandteile der sonstigen Mitarbeit.

Es werden als schriftliche Leistungen Klausuren geschrieben; punktuell werden Klausuren allerdings auch durch alternative Leistungsnachweise ersetzt (Portfolio mit Dokumentationen eigener Arbeiten, Bewertung eines Produktes).

Für das Fach *Forschen und Entwickeln* wurde eine eigene Fachschaft an der Schule gegründet, die aktuell aus fünf Personen besteht. Für jeden zweijährigen Durchlauf übernimmt einer der beiden Physiklehrer die Gesamtverantwortung. Im ersten Jahr unterrichtet er die Lerngruppe drei der insgesamt vier Stunden. Die vierte Stunde entfällt auf technisches Englisch und wird von einer der beiden Englischlehrkräfte der Fachschaft übernommen. Das zweite Schuljahr unterrichten der verantwortliche Physiklehrer und eine Kollegin aus der Mathematik jeweils zwei der vier Stunden. Dabei ist die Mathematikerin zunächst für die Vermittlung der Kenntnisse zur Schaffung der CAD-Modelle am Computer und deren Ausdruck mit Hilfe des 3D-Druckers zuständig. Im anschließenden Projekthalbjahr übernehmen beide Lehrkräfte gemeinsam die Projektbegleitung.

3. Aktuelles Planungsraster der JIA des Ursulinengymnasiums Köln (Stand der Umsetzung siehe unten in Abschnitt 5)

	1. Halbjahr	2. Halbjahr	3. Halbjahr	4. Halbjahr
<b>Schwerpunkt</b>	Messungen planen, durchführen, auswerten und dokumentieren ; (regenerative) Energie	Elektrizität und elektrische Energie	Mechanik und Strömungslehre, CAD-Programmierung	Projektphase „Windkraft“
<b>Inhalte/Themen</b>	Standortbewertung für Windkraft (Theorie + Feldmessungen); physikalische Größen messen, engl. Quellen; engl. Dokumentationen, engl. Gesprächspartner	Generator, Wechselspannung, Gleichrichter, (Wechselrichter), Regelungstechnik	Rotoren, Horizontal und Vertikalläufer, CAD-Programmierung, Luftströmungen visualisieren und eigene Profilmodelle (PLA) untersuchen und optimieren , Regelung der Rotorfrequenz	gemeinsame Planung und arbeitsteiliger Bau eines Modellwindrades oder eines vergleichbaren Großprojekts
<b>Ziele</b>	<u>Wie Ingenieure:</u> fragen, messen und bewerten lernen; dokumentieren	<u>Wie Elektrotechnik-ingenieure:</u> elektr. Spannung erzeugen und verändern; regeln	<u>Wie Maschinenbau-ingenieure:</u> Luftströmungen untersuchen und nutzen, Kräfte umformen	<u>Wie Ingenieure:</u> eigene Projekte planen, umsetzen und bewerten
<b>Eingesetzte Materialien</b>	Cassy mit Sensoren, Wetterstation, diverse Messgeräte (auch selbstgebaut)	Spulen, Magnete, ... elektronische Bauteile	Windkanal , Rechner mit OpenScad, 3D-Drucker	3D-Drucker, PLA, Hölzer, Klebstoffe, Metalle, Getriebekomponenten, Generator, Kabel,...
<b>Partner Wissenschaft</b>	FH Köln	FH Köln	DLR	FH Köln
<b>Partner Wirtschaft</b>	Betreiber einer WKA, z.B. LVR	Siemens		VDI (Nacht der Technik)
<b>Besonderheiten</b>	1 Wochenstunde technisches Englisch; Exkursion zu einer Windkraftanlage (z.B. LVR Köln)	Exkursion zur Hannovermesse, Schülerlaborbesuch, technisches Englisch	Praktikumstag am DLR mit Schülerversuch und Besichtigung einer Windkanalgroßanlage	mehrere Projektstage

#### 4. Allgemeine Erläuterungen zur oben dargestellten Grundkonzeption

Wir sind seit Jahren bereits gut vernetzt und haben als Schule in Siemens und der DLR geradezu prädestinierte Kooperationspartner für ein solches Projekt. Weiterhin bestehen enge Verbindungen mit dem VDI und der Fachhochschule in Köln (dreimalige Teilnahme an der Nacht der Technik im IWZ der Fachhochschule Köln initiiert durch VDI, Roboterwettbewerb des VDI gewonnen).

Mit der Windkraftanlage des LVR befindet sich eine kleine Vertikalrotoranlage in unmittelbarer Nähe der Schule, an der sich viele Fragestellungen einer geeigneten Standortwahl und adäquater Technik für spezielle Standorte erarbeiten lässt. In der zugehörigen Unterrichtsreihe erarbeiten die Schülerinnen auf Basis der zur Verfügung gestellten Materialien ein Interview mit einem Fachmann, was nach Möglichkeit im Rahmen der Besichtigung einer WKA durchgeführt wird.

Bei einem Besuch der Fachhochschule Köln steht zunächst das Gespräch mit Ingenieuren in englischer Sprache auf dem Programm, das gezielt im Unterricht vorbereitet wird. Im zweiten Halbjahr besuchen wir dann an mehreren Tagen ein Schülerlabor zu Grundlagen der Elektrotechnik.

Seitens des DLR kooperieren wir einerseits mit dem SchoolLab und haben andererseits die Möglichkeit, eine Windkanalgroßanlage zu besichtigen und uns über deren Aufbau, Einsatzmöglichkeiten und andere interessante Fragestellungen mit Experten auszutauschen.

Unser Kooperationspartner Siemens ermöglicht uns im jeweils zweiten Ausbildungshalbjahr einen Besuch der Hannovermesse und bringt uns dort in Kontakt mit Tochterfirmen, die im Bereich der Windkraft engagiert sind. In diesem Zusammenhang werden auch Großanlagen in diesem Bereich thematisiert.

#### 5. Konkrete Umsetzung der Vorhaben in der bisherigen Unterrichtsarbeit

##### 5.1. 1.Halbjahr: (Wind-)Energie, WKA und Wind in der Stadt, technisches Englisch

Die Auseinandersetzung mit der WKA des LVR :

- Die Anlage wirft grundlegende Fragen auf, die für einen forschenden Umgang mit dem Thema unerlässlich sind. Sowohl Fragen zu physikalischen Größen und ihren Einheiten (z.B. elektrische Leistung in W) als auch wesentliche Fragen nach der Bedeutung regenerativer Energieformen und entsprechender Anlagen als auch Fragen zu den Herausforderungen bei der konkreten Umsetzung einer solchen Anlage und den notwendigen Voraussetzungen (Standorte? Anlagentypen?) für einen erfolg- und ertragreichen Betrieb ergeben sich zwangsläufig.
- Die Anlage spannt einen Bogen zum eigenen Bauvorhaben am Ende des zweijährigen Kurses, liefert erste Ideen, verleiht aber insbesondere auch viel Motivation für den Weg hin zu diesem Ziel.
- Der Unterricht wird das erste Mal an konkrete Ingenieurstätigkeit angebunden und die Schülerinnen kommen bei einer Exkursion mit einem Ingenieur ins Fachgespräch. Dafür wird der Rahmen des "normalen" Unterrichts bewusst verlassen.

Die folgenden Bilder sollen einen entsprechenden Eindruck vermitteln:







**CLEANVERTEC CVT - V50**

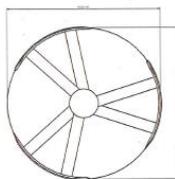
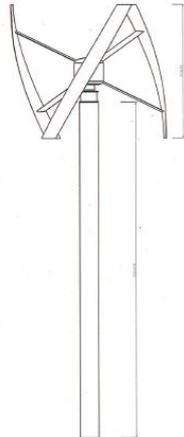
CE-Zertifizierte Windkraftanlage

Engelstraße 151-43  
A-1020 Wien  
T +43 1 305 62 20  
F +43 1 310 20 98  
sales@cleanvertec.com  
www.cleanvertec.com

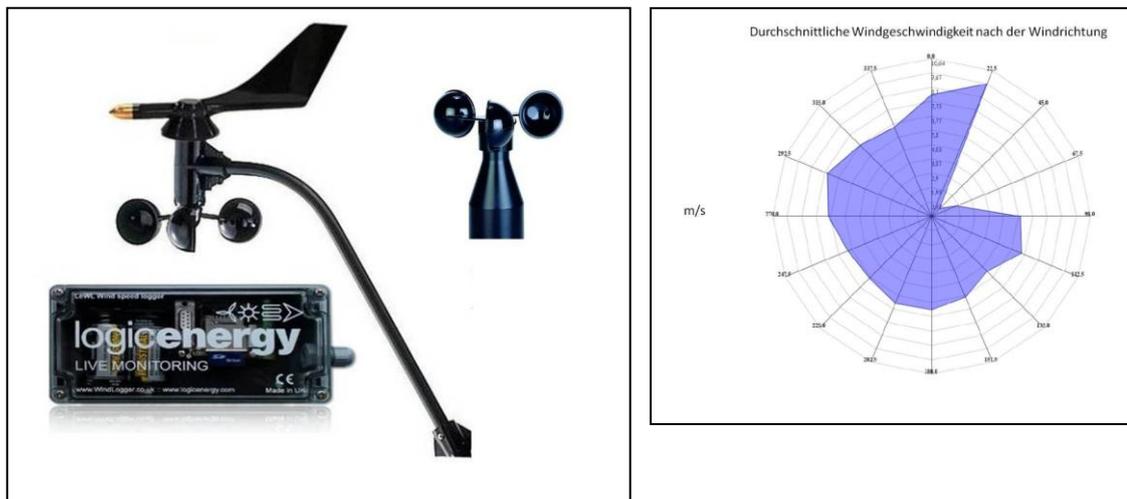
---

**TECHNISCHE DATEN**

<b>1</b>	<p>Rotor (Patent) Funktionsprinzip Anlaufprinzip Nennleistung Nennndrehzahl Blattgeschwindigkeit Anlaufgeschwindigkeit* Einspeiseregion** Abschaltgeschwindigkeit Überlebensgeschwindigkeit Rotordurchmesser Blattzahl Blatthöhe Material Blitzschutz Regelbremse Sicherheitsbremse</p>	<p>Vertikal Start bei 3,0 m/s (=10,8 km/h) 5 kW bei 11,5 m/s (= 41,4 km/h) 150 U/min. 35,4 m/s (bei Nennndrehzahl) 3,0 m/s 3,0 m/s 15,0 m/s (=54 km/h) 50,0 m/s (=180 km/h) 4,5 m 3 4,0 m Glasfaser, Stahl verzinkt, Aluminium Integriert erfolgt über Generator Elektromagnetische Federspeicherbremse</p>
<hr/>		
<b>2</b>	<p>Generator PMG Synchrongenerator, getriebeles</p>	<p>5 kW 11 A 0-600 V</p>
<hr/>		
<b>3</b>	<p>Tragkonstruktion Baustoff Material Nabenhöhe</p>	<p>Gittermast, alternativ Stahlrohr- oder Stahlbetonmast Stahl verzinkt 10 - 20 m</p>
<hr/>		
<b>4</b>	<p>Steuerung Überwachung Einspeisung Sicherheitsabschaltung Fernüberwachung Datenspeicherung und Visualisierung Fernwartung</p>	<p>Drehzahl, Spannung, Strom, Windgeschwindigkeit, ... Frequenzumformer und Rückspeiseeinheit Überlast oder Fehlfunktion, Netzausfall, Vereisung Optional Seriennäßig Optional mit Fernüberwachung</p>

Bei der geplanten Anschaffung einer kompletten Wetterstation haben wir umgedacht. Für die professionelle Bewertung eines möglichen Standorts für eine Windkraftanlage sind Langzeiterhebungen der Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen in verschiedenen Höhen wichtig, wohingegen Temperaturverläufe, Niederschlagsmengen,... zweitrangig erscheinen. Daher haben wir eine Unterrichtseinheit eingebaut, in der einfache Messgeräte für verschiedene Wettergrößen selbst gebaut und getestet werden. Für das eigentliche Interesse an Windmessungen haben wir dagegen mit der Anschaffung einer Spezialmessanordnung die Möglichkeiten einer differenzierten Langzeitmessung geschaffen. Die Wahl ist auf einen Datenlogger der Firma "LogicEnergy" mit 2 Anemometern und einer Windrichtungsanzeige gefallen ([www.eigenewindenergie.de](http://www.eigenewindenergie.de)):



Aktuell wird der Logger für eine erste Langzeitmessung vorbereitet und in Kürze eingesetzt. Bisher war er nur zur Überprüfung der Funktionalität kurzzeitig im Einsatz.

## 5.2. 2.Halbjahr: Elektrotechnik, Schülerlabor und Hannovermesse

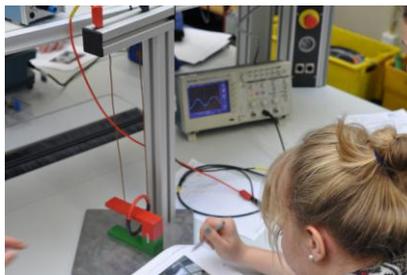
Im zweiten Halbjahr laufen die Englischstunde und der physikalisch-technische Unterrichtsteil auseinander. Während sich die Schülerinnen in englischer Sprache mit dem Klimawandel und dem Treibhauseffekt und der öffentlichen Diskussionen über diese Themen auseinandersetzen, stehen ansonsten inhaltlich die Elektrotechnik von Spannungserzeugung und Umwandlung im Vordergrund. Das ist der Bereich des zweijährigen Kurses, in dem sich eine Schnittmenge mit dem eigentlichen Physikunterricht und auch teilweise ein Vorgriff auf dortige Inhalte nicht vermeiden lässt. Das Verständnis der Funktionsweise eines Generators ohne das Induktionsgesetz von Faraday ist eben nicht möglich. Der Zugang zum Thema konnte aber bisher mit Hilfe des Schülerlabors der FH Köln anders als in Form klassischen Unterrichts erfolgen, so dass die Schülerinnen direkt sehr praxisnah und mit hohem Betreuungsschlüssel in Praktikums- bzw. Workshopform an die Inhalte herangeführt wurden. Trotz intensiver Nachbereitung bleiben das Verständnis und auch die praktische Auseinandersetzung hier allerdings auf der Ebene des Grundverständnisses. Die ambitionierte Idee, dass am Ende dieses Halbjahres ein für unser Modellwindrad geeignet dimensionierter Generator selbst konzipiert und gewickelt werden könnte, wird aktuell noch zurück gestellt. Es hat sich nämlich herausgestellt, dass der Besuch der Hannovermesse den Fokus auf so viele interessante

Fragestellungen rund um den Rahmenkontext Windenergie lenkt (Anbieter, Märkte und deren Dynamik, mögliche Berufe, Dimensionen der Anlagen, Fundamente, Materialien,...), dass ein zielstrebigem Unterricht an dieser Stelle viel Eigendynamik des Kurses kosten würde und viele Chancen in unseren Augen verschenkt würden.

Für die kommenden Jahrgänge werden wir die Schwerpunkte daher zunächst auch in dieser Form setzen, vorausgesetzt, dass die Interessenslage der Schülerinnen sich ähnlich wie bisher verhält. Für die konkrete Umsetzung am Ende muss das kein Nachteil sein. In den Leistungsbereichen, die wir anstreben, können wir kostengünstig auf geeignete Dynamos zurückgreifen. Ein Grundverständnis für diese Bauteile haben die Schülerinnen dann erworben. Die eigene Entwicklungs- und Optimierungsarbeit liegt für die Schülerinnen bei diesem Vorgehen aber in den Bereichen der Mechanik und Strömungsmechanik, die einen hohen Aufforderungscharakter haben, viel praktisches Tun ermöglichen und hohe Motivation mit sich bringen.

Auch für dieses Halbjahr einige Bilder für konkretere Einblicke:

- Schülerlabor FH Köln



- Hannovermesse



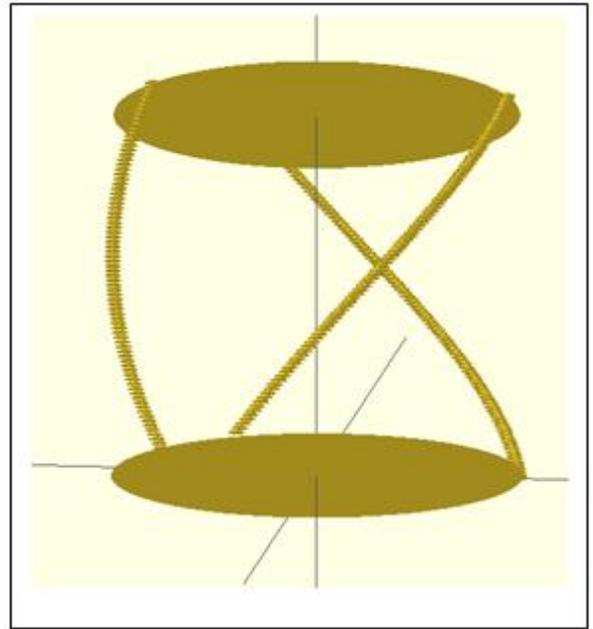


5.3. 3. und 4. Halbjahr: CAD-Modelle und 3D-Druck, Strömungslehre und Windkanal, Großprojekt

Unsere JIA befindet sich mit dem ersten Jahrgang ganz am Beginn des dritten Halbjahres, wo aktuell in zwei der vier Stunden die von uns erworbenen Experimentierkästen zur Windenergie von lexSolar zum Einsatz kommen:



In den zwei anderen Wochenstunden erlernen die Schülerinnen momentan das Erstellen von 3D-CAD-Modellen am Computer mit Hilfe der skriptbasierten Software OpenSCAD (Freeware).



Die ab jetzt folgenden Beschreibungen beziehen sich auf den Pilotjahrgang "Forschen und Entwickeln". Auf Basis der gemachten Erfahrungen und der entstandenen Produkte lassen sich aber Ausblicke auf das kommende Jahr der ersten JIA werfen, die direkt in die Darstellung mit einfließen sollen. Dazu muss zunächst noch einmal deutlich unser Grundansatz herausgestellt werden:

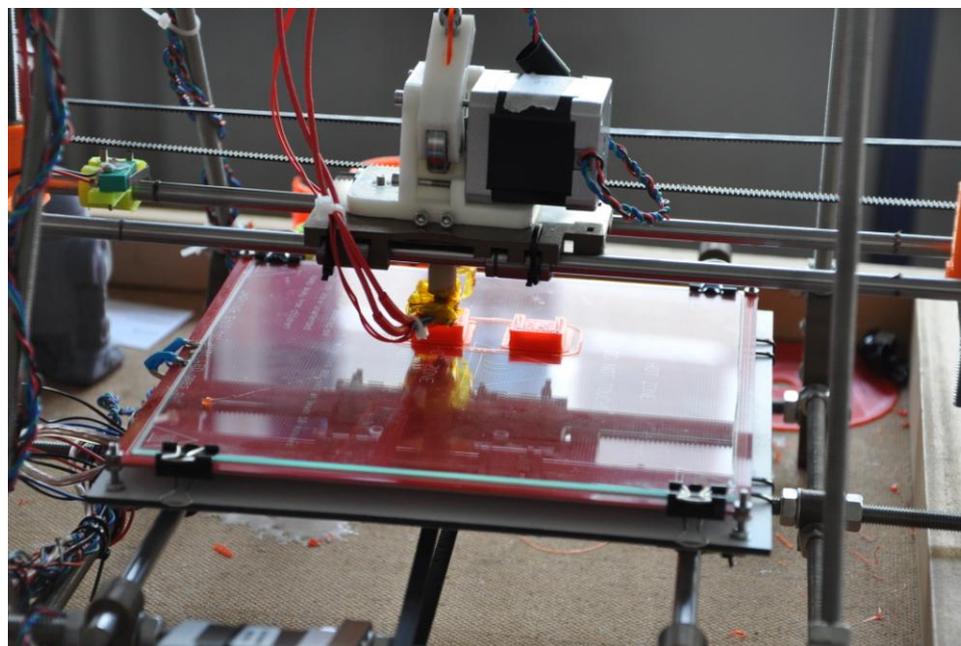
Wir möchten uns in unserer JIA so zielführend in verschiedene Bereiche rund um Windenergie forschend einarbeiten, dass wir gegen Ende des Kurses in der Lage sind, ein in diesem Themenfeld angesiedeltes Großprojekt mit allen dafür erforderlichen Entwicklungsschritten selbst zu realisieren. Letztendlich geht es dabei um die Entwicklung einer eigenen Kleinwindkraftanlage, wobei sich herausgestellt hat, dass der Weg dahin sehr weit mit vielen Teiletappenzielen ist. Das große Ziel muss also generationsübergreifend für mehrere JIA-Jahrgänge gesehen werden, die sich erworbenes Knowhow und vorbereitende Produkte vermachen.

Der ganze Weg im Kurzabriss: Die Schülerinnen entwickeln inspiriert durch den Unterricht der ersten zweieinhalb Halbjahre am Computer ein CAD-Modell einer möglichen Rotoranordnung in Abmessungen von maximal 12cm x 12cm x 12cm. Die Modelle werden mit dem 3D-Drucker in PLA ausgedruckt und im eigenen Windkanal umfangreichen Tests unterworfen. Erkenntnisse fließen in ein optimiertes CAD-Modell ein, das als Ausdruck in die nächste Testphase im Windkanal geht. Sukzessive entsteht ein optimales Modell. Da im Windkanal ca. die zehnfache Geschwindigkeiten gegenüber der später zu erwartenden durchschnittlichen Geschwindigkeit am Standort der Kleinwindanlage vorliegt, können die dort gewonnenen Ergebnisse auf ein zehnmal so großes Windrad bei gleichen strömungsphysikalischen Eigenschaften übertragen werden (gleiche Reynoldszahl, Machzahl unter kritischer Grenze). Damit kann also eine Vertikalanlage von ca. 1m Rotorhöhe entwickelt werden, die mit allen zusätzlich erforderlichen

Komponenten (mechanische Aufhängungen und Stativ, Generator,...) gebaut, getestet und eingesetzt wird.

Ein nicht unerheblicher Teil dieses Weges wurde schon konkret beschritten:

- seit Herbst 2013 ist unser 3D-Drucker gebaut (Workshop in Frankfurt, 3 Lehrerinnen und Lehrer) und im Einsatz (Schülerinnen):



- eine aerodynamische Testapparatur wurde hergestellt und zum Einsatz gebracht:



- der Windkanal ist vom Grundaufbau her fertig und einsatzbereit, wobei die Visualisierung von Strömungen mittels einer Nebelmaschine bereits möglich ist:









Das verwendete Gebläse befördert bei voller Leistung in einer Stunde laut Hersteller mehr als  $8800\text{m}^3$  Luft aus dem Kanal, d.h. ca.  $2,4\text{ m}^3$  pro Sekunde (das Gebläse ist dimmbar, Kontraktionszahl der Düse ca. 5,5). Theoretisch müsste im Bereich des Untersuchungsraums, der einen quadratischen Querschnitt mit einer Innenkantenlänge von 30cm besitzt, damit eine Strömungsgeschwindigkeit von über  $90\text{km/h}$  vorliegen. Genaue Messungen werden wir in Kürze vornehmen, wobei der Wert durch den Strömungsgleichrichter (mehr als 1000 Strohhalm) und andere Effekte wahrscheinlich etwas geringer ausfallen wird. Die Visualisierung der Strömung zeigt, dass im zentralen Untersuchungsraum in guter Qualität eine laminare Strömung vorliegt. Kleine Nebenwirkung: Da es sich um eine offene Bauweise (nach Eiffel) handelt, ist der gesamte eingebrachte Nebel in Kürze im ganzen Raum verteilt, so dass wir auf den Tag warten, an dem die Nachbarn die Feuerwehr rufen.

Die aerodynamische Testanlage fällt im Vergleich zum Windkanal deutlich ab. Sie ist zwar auch für einen anderen Zweck gebaut (Test des letztendlichen Modells und dessen Vorstufen in finaler Größe), produziert aber nur ein laues Lüftchen und muss noch erheblich verbessert werden.

## 6. Ausblick

Der laufende JIA-Jahrgang wird den Staffelstab aufnehmen und die Möglichkeiten schaffen, mit dem Windkanal quantitative Untersuchungen in Form von Kraft-, Druck- und Leistungsmessungen durchzuführen. Dazu müssen bauliche Änderungen am Untersuchungsraum vorgenommen werden (Halterung für die Rotormodelle, Experimentieröffnung unten) und

Messgeräte konfiguriert werden. Es werden vielfältige Testrotoren konzipiert und vermessen werden. Da wir für die kommende Nacht der Technik 2015 wieder (wie bei den vier bisherigen Veranstaltungen auch) vom VDI angefragt worden sind, haben wir als Zielsetzung für den aktuellen Jahrgang die Präsentation der eigenen Anlage im vollständigen, d.h. auch quantitativen Einsatz mit zahlreichen selbst entworfenen und gedruckten Testobjekten an diesem Abend in der FH Köln. Als Partner für den Bau des Vertikalrotors schwebt uns mittelfristig ein Unternehmen vor, das im Prototypenbau mit CFK-Werkstoffen befasst ist. Hier recherchieren wir aktuell, welche Unternehmen aus diesem Bereich in Frage kommen und ihrerseits ebenfalls an einer Zusammenarbeit interessiert sein könnten.

7. Ein weiterer Ausblick der wohl zentralsten JIA Kölns



Raimund Servos für die JIA des Ursulinengymnasiums Köln im September 2014