



# Agua es vida V

Dokumentation der  
Physik/Technik-Profilklasse 2012/14  
Stadtteilschule Blankenese  
Januar 2014

# Agua es vida V

**Gefördert von:**



Hamburger Klimaschutz-Fonds e.V.  
[www.klimaschutz.com/](http://www.klimaschutz.com/)



Norddeutsche Stiftung  
für Umwelt und Entwicklung  
[www.nue-stiftung.de](http://www.nue-stiftung.de)

**SIEMENS**  
[www.siemens.com](http://www.siemens.com)

Verantwortlich im Sinne des Presserechts:  
Clemens Krühler  
Stadtteilschule Blankenese  
(ehemals Gesamtschule Blankenese)  
Frahmstr. 15; 22587 Hamburg  
Tel.: 428828-0, Fax: 428828-45  
Email: [ClemensKruehler@aol.com](mailto:ClemensKruehler@aol.com)

Hamburg, Januar 2014

# **Agua es vida V**

**Dokumentation der  
Physik/Technik-Profilklasse 2012/14  
Stadtteilschule Blankenese  
Hamburg, Januar 2014**

Lennart Behn, Sören Behn, Jennifer Campbell, Joshua Farmer, Lys Gebhardt,  
Hauke Heinrich, Eileen Meyer, Celine Scholten, Rico Stave, Marius Strack,  
Max Strauch, Lucas Uhlemann, Henry Zander, Hannah Zimmermann;  
Lehrer: Kirsten Ahrncke, Norbert Römer, Robert Heiden, Clemens Krühler

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Nicaragua im Aufwind</b>	<b>5</b>
<b>Einsatzorte</b>	
<b>Herasmo</b>	<b>7</b>
<b>Juan</b>	<b>10</b>
<b>Luisa</b>	<b>10</b>
<b>Tito</b>	<b>12</b>
<b>Photovoltaik versus Benzinaggregat</b>	<b>15</b>
<b>Fotogalerie</b>	<b>19</b>

## Nicaragua im Aufwind

Nicaragua befindet sich im Aufwind, zumindest was die Energiepolitik angeht. Vor ein paar Jahren stellten wir fest: *„Nicaraguas Abhängigkeit vom Öl ist extrem hoch. Kein anderes Land Zentralamerikas hat seine Energieversorgung derart ans Öl gekoppelt wie Nicaragua. Allein 74 Prozent der elektrischen Energieproduktion geschieht in thermischen Kraftwerken, die zum Betrieb der Generatoren Öl sowie Diesel verheizen“.* *„Die ehemals drei staatlichen Energieunternehmen verfügen über je zwei Kraftwerke, fünf davon sind älter als 35 Jahre. Sie haben hohe Stillstandszeiten und produzieren zum größten Teil unrentabel. Mit Stromausfällen und Rationierungen muss in Nicaragua immer gerechnet werden. Durch veraltete Stromnetze und illegales Abzweigen von Energie durch Endverbraucher verlieren die Stromanbieter zudem 32,5 Prozent der Elektrizität.“....* *„Dabei hat Nicaragua fantastische Möglichkeiten, eigene Energiequellen zu nutzen und damit die Abhängigkeit vom teuer importierten Öl zu lockern. Es ist ein El Dorado für Geothermie, Wasserkraft, Wind und Sonne.“<sup>1</sup>*

2008 hat sich Nicaragua aufgemacht, dieses „El Dorado“ zu nutzen: In einer furiosen und beispielhaften Aufholjagd hat das Land seine mittelamerikanischen Partner hinter sich gelassen. Die Amerikanische Entwicklungsbank (BID) nennt in einem Bericht über die Förderung Regenerativer Energien Nicaragua als zweites Land hinter Brasilien.

Wir haben uns es nicht nehmen lassen, die drei Windparks in der Nähe Rivas an der südwestlichen Küste des Nicaraguasees zu besuchen. Die 19 Windturbinen des „Amayo Wind Power Projects“ haben eine Gesamtkapazität von 39,9 MW. „Atmosfair“, die dieses Projekt unterstützt und im Rahmen des CDM (Clean Development Mechanism) und Gold Standard zertifiziert haben, schätzen die Jahresproduktion der 19 Anlagen auf nicht weniger als 169 GWh. Das ist ein phantastischer Wert, spräche er doch für nicht weniger als 4268 Volllaststunden.<sup>2</sup> Die Deutsche Post DHL, die einen eigenen CO<sub>2</sub>-neutralen Versandservice anbietet, hat in dieses „Amayo-Projekt“ investiert und dadurch Emissionsgutschriften erhalten.<sup>3</sup>

Inzwischen ist Amayo auf 63 MW gewachsen, die dänische Firma VESTAS hat den Windpark Rivas um 39,6 MW mit ihren eigenen Windkraftwerken erweitert und im Mai 2013 hat sich noch die spanische Firma GAMESA mit 40 MW dazu gesellt, so daß jetzt 142,6 MW installiert sind.<sup>4</sup> Das sind 17,68% der nicaraguanischen Kraftwerkskapazität.

Noch wichtiger als Wind ist die Geothermie. In San Jacinto, das vor den Toren Leons liegt, arbeitet das geothermische Kraftwerk Polaris. Auch dieses haben wir besucht. San Jacinto „sitzt“ förmlich auf einem der

---

<sup>1</sup> Alle Zitate aus: Anke Butscher, Clemens Krühler; Regenerative Energien –ein ungenutztes El Dorado; in KOMMUNE 1/2006, siehe u.a. <http://www.eduard-hamburg.de/downloads/Notizen-aus-Nicaragua-3.pdf>

<sup>2</sup> 2012 haben Deutschlands Windenergieanlagen mit einer Leistung von 31,315 GW insgesamt 46000 GWh produziert. Das entspricht durchschnittlich nur 1469 Volllaststunden und einem Faktor 3, d.h., eine identische Windkraftanlage würde am Standort Rivas das dreifache leisten als durchschnittlich am Standort Deutschland!

<sup>3</sup> Die Deutsche Post schreibt: „Des Weiteren haben Kostenanalysen ergeben, dass das Projekt ohne die Erlöse aus dem Verkauf von CO<sub>2</sub>-Reduktionen nicht hätte realisiert werden können.“

<sup>4</sup> Adam Dolezal u.a., The Way Forward for Renewable Energy in Central America, June 2013, S.26ff

größten geothermischen Vorkommen weltweit. 2000m tief unter der Erde schlummern diese „heißen Schätze“: passive Vulkane, die als eine der verlässlichsten erneuerbaren Energieressourcen gelten, auch, weil sie - ohne zu fluktuieren – Tag und Nacht bereitstehen. In zwei Bauphasen ist das Kraftwerk im Jahr 2012 auf 72 MW erhöht worden. Das Potential der Geothermie wird auf 1500 MW geschätzt, 4,8% davon werden jetzt genutzt. Im Grunde könnte das Potential der Geothermie – wenn man es erschlösse - die Energieprobleme Nicaraguas allein lösen.

Aber da ist noch das fließende Wasser des Rio Grande de Matagalpa in der Autonomen Region Atlantico Sur (RAAS), ebenso wichtig wie die Geothermie oder der Wind. Geplant ist ein 253 MW-Kraftwerk, das 28% des jährlichen nationalen Energiebedarfs erzeugen soll. Im Sommer 2013 ist mit dem Bau begonnen worden, 4 Jahre wird es dauern bis zu seiner Fertigstellung.

Wir sollten auch noch das Potential der Biomasse erwähnen – die Agentur für Entwicklungszusammenarbeit aus Brasilien (ACB) schätzt es auf 700 MW – und das der Solarstrahlung auf 980 MW. Insgesamt liegt das geschätzte regenerative Energiepotential Nicaraguas bei 5480 MW, der gegenwärtige Kraftwerkspark zur Stromherstellung liegt bei 829 MW, davon werden heute 401 MW aus regenerativen Quellen gespeist. Nicaragua erzeugt jetzt – sieben Jahre, nachdem wir den Aufsatz geschrieben haben, aus dem das Eingangszitat stammt – 48,4% (!!!) seines elektrischen Stroms aus regenerativen Quellen. Diese Quellen, wozu die Geothermie, Wasserkraft, Windkraft, Biomasse und die direkte Solarstrahlung gehören, sind der eigentliche Reichtum des Landes. Nicaragua hat begonnen, den politischen Skandal zu beenden, der darin bestand, für *„Strom aus längst abgeschriebenen, maroden Kraftwerken, die teures Öl verbrennen und CO<sub>2</sub> emittieren, den doppelten Erzeugerpreis zu zahlen wie für regenerativ erzeugten Strom.“*<sup>5</sup> Alle physikalischen und technischen Bedingungen sind gegeben, dass nachweisbar Strom auf regenerativer Energiebasis wirtschaftlicher produziert werden kann als auf Ölbasis. Dies ist das Geheimnis der siebenjährigen Erfolgsgeschichte: Das Land kommt ohne spezifischen Fördersysteme aus, lediglich die Einfuhrzölle sind steuerlich vergünstigt.

Das nicaraguanische Energieministerium wird diese Erfolgsgeschichte weiter-schreiben: Es plant, den Anteil der Nicht-Erneuerbaren auf 6% zu drücken – bis zum Jahr 2016.<sup>6</sup>

Seit 2002 arbeiten wir als Schule gemeinsam mit der nicaraguanischen Firma ENICALSA und dem Wedeler Ingenieurunternehmen SET (Selected Electronic Technologies an der Entwicklung von solargestützten Wasserversorgungssystemen. Wir hören von Benito Rodriguez, dem Geschäftsführer von ENICALSA, dass das Energieministerium noch in diesem Jahr eine Ausschreibung von 500 solargestützten Wasserversorgungssystemen plant. Das wäre nach 11jähriger Arbeit der Durchbruch dieser Systeme!

*Clemens Krühler*

---

<sup>5</sup> Anke Butscher, Clemens Krühler; Regenerative Energien – ein ungenutztes El Dorado, ebda.

<sup>6</sup> Humberto Reyes, Transformación de la Matriz de Generación Eléctrica, unveröffentlicher Vortrag

### **Einsatzort: Finca „Herasmo“**

Zu dem Melonen- und Viehbauern Herasmo zu gelangen, gestaltete sich schwierig, da es keine durchgängige Zufahrt zu dem Farmhaus gibt. Die letzten 300 Meter mussten zu Fuß bewältigt werden. Der Auftrag ist es, einen Solargenerator aufzustellen und eine Lorentz-Pumpe gegen eine Grundfos-Pumpe auszutauschen.

Vor Ort haben wir zunächst die Situation begutachtet und eine Plan entwickelt. Wir haben Maß von dem Brunnen genommen, um eine Zeichnung machen zu können. Dabei konnten wir uns schon einmal daran gewöhnen, zwischen einer Kuhherde, ein Dutzend Schweinen, diversen Hunden und einem Pferd zu arbeiten. Das Farmhaus der Familie ist relativ groß und mit Dachziegeln bedeckt. Die Wände bestehen aus Stein und werden mit Holzpfählern gestützt. Eine Seite ist nahezu komplett offen, damit in der heißen Jahreszeit die Luft besser zirkulieren kann. Vor dem Haus befindet sich eine kleine Koppel, auf der die Kühe über Nacht stehen. Die Erde besteht aus einem Gemisch aus Sand und Kieselsteinen, die durch die vielen Hufe plattgetrampelt sind.



In der Mitte des Hofes steht der Brunnen, der drei Wasserbecken hat. Von dort aus werden die Tiere getränkt oder mit Eimern Wasser für den Eigenbedarf geschöpft. Der Brunnenkomplex verfügt sogar über eine kleine Dusche, die jedoch nicht genutzt wurde. Dafür hatte die Lorentz-Pumpe nicht genügend Leistung.

An dem Farmhaus führt ein großes Flussbett entlang, das jedoch nur in der Regenzeit Wasser führt. Da es keine Brücke gibt, ist die Familie

manchmal für Tage von der Stadt abgeschnitten. Auffällig ist, dass viele grüne Bäume und Sträucher das Land der Familie umrahmen. Auf der anderen Seite des Farmhauses beginnen die Melonenfelder der Familie. Für diese Melonenfelder hat Herasmo einen Wachmann engagiert. Dieser hat eine kleine Hütte, die eher einer Bretterbude gleicht. In ihr hat er eine Hängematte gespannt, aus der er das Feld bewacht und uns mit einem Nicken begrüßt.



Zurück in ENICALSA haben wir entsprechend der Zeichnung ein Gestell konstruiert und gebaut. Das wird die Solarmodule tragen. Es besteht aus zwei T-Trägern, die später auf den Brunnen montiert werden. Weitere U-Profile bilden ein Dreieck, die durch einen Träger miteinander verbunden sind. Auf diesen werden später die vier Solarmodule aufliegen und befestigt werden. Da es in Leon keine U-Profile zu kaufen gibt, haben wir uns für zwei L-Profile entschieden und diese gegeneinander zu einem U-Profil verschraubt. Bei unserer Konstruktion war es sehr wichtig, dass die Solarmodule später in einem Winkel von  $15^\circ$  zur Erdebene stehen. Das fertige Gestell haben wir mit dem Pick-up zu Herasmo gebracht und dort auf dem Brunnen installiert. Dabei wurden wir von den drei Söhnen des Bauern unterstützt, die fasziniert von unserer Bohrmaschine waren.

Als nächstes haben wir die alte Lorentz-Pumpe aus den Brunnen geholt, um diese durch die leistungsstärkere Grundfos-Pumpe zu ersetzen. Nachdem wir die neue Grundfos-Pumpe an das Motorkabel und an den Wasserschlauch angeschlossen hatten, liessen wir diese in den Brunnen





*Lys und Celine demontieren den alten Lorentz-Controller*

hinab. Zum Schluss haben wir den knorrigen Träger der Pumpe, ein alter, verrotteter Ast, durch einen deutlich vertrauensvoller wirkenden T-Träger aus Stahl ausgetauscht. Als das Wasser aus dem Brunnen sprudelte, war die Freude groß. Die neue Pumpe ist in der Lage, 16 Gallonen (3,78 L) in 40 Sekunden zu fördern.

Am 30. Juli, nach sechs Arbeitstagen, haben wir das Projekt erfolgreich abgeschlossen.

Wir hoffen, das Herasmo mit der neuen Pumpe in der Lage ist, seinen Umsatz zu vergrößern und ein wohlhabender Bauer zu werden. Er hofft, dass in der Zukunft seine Söhne eine Universität besuchen können.



*Lys Gebhardt*

### ***Einsatzort: Senor Juan***

Während unseres Aufenthaltes in León bekamen wir plötzlich einen weiteren, sehr dringenden Auftrag. Die Pumpe von Senor Juan, die wir im Oktober 2010 installiert hatten, war kaputt und er brauchte so schnell wie möglich Wasser für die Tiere, also nichts wie los! Als es nach anstrengender Arbeit endlich wieder Wasser gab, war die Freude groß und als Dank wurde sofort ein Essen von der dort lebenden Familie für uns gekocht. Senor Juan ist ebenfalls Viehzüchter und besitzt 35 Rinder. Bislang hatten zwei seiner Söhne morgens und abends in jeweils 2stündiger Arbeit das Wasser für die Rinder aus dem Brunnen gezogen (etwa 70 Liter pro Rind; 2,45 m<sup>3</sup> insgesamt). Das bedeutete, dass allein die Wasserversorgung für die Rinder einen Mann-Arbeitstag in Anspruch nahm. Das Wasser wird nun durch einen 360 Watt Generator bereitgestellt, dieser schafft bei guter Sonneneinstrahlung 15 m<sup>3</sup> pro Tag, genug, um zusätzlich ein kleines Gemüsefeld zu bewässern.



### ***Einsatzort: Senora Luisa***

Senora Luisa besitzt 10 km außerhalb Leons eine kleine Finca, auf der sie Gemüse anbaut und Obstbäume pflegt. Sie ist Mitglied in einer bäuerlichen Frauen-Kooperative. Das Wasser in ihrem Brunnen befindet sich in 12 m Tiefe. Früher hat Senora Luisa das Wasser mit Hilfe eines alten Dieselaggregats und einer – in Nicaragua häufig anzutreffenden – Seilpumpe aus dem Brunnen gepumpt. Die Seilpumpe musste fast

monatlich repariert werden. Außerdem hatte sie den Nachteil, dass z.B. Vogeldreck leicht mit dem Seil zurück in das Brunnenwasser geführt werden konnte und dieses dann bakteriell verunreinigte. Das Dieselaggregat war ebenso reparaturanfällig und zudem teuer im Unterhalt - in Nicaragua kostete im Mai 2013 ein Liter Diesel 1,28 US\$. Umweltschonend und klimafreundlich arbeitet nun ein 400 Watt Solargenerator statt des Diesels und sorgt für sauberes Wasser.



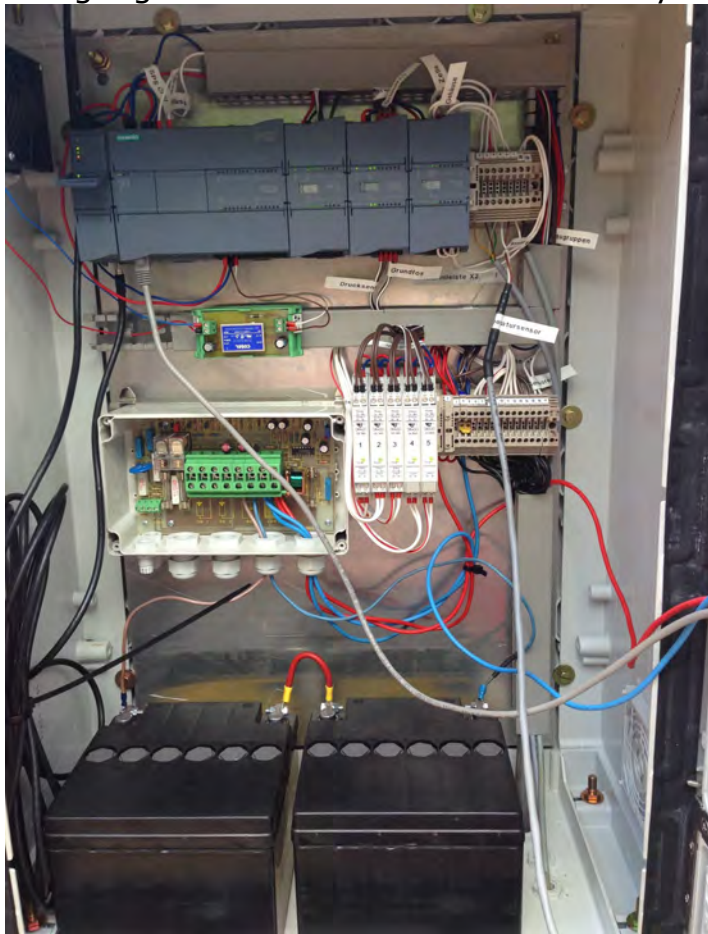
Im März 2010 hatten wir die erste Solarpumpe für Senora Luisa installiert. Sie hatte im Sommer 2012 ihren Geist aufgegeben und war von der Firma Lorentz. Inzwischen sind wir dazu übergegangen, alle Lorentzpumpen durch Grundfospumpen zu ersetzen. Die Lorentzpumpe hat sich für nicaraguanische Verhältnisse nicht als robust genug erwiesen, zumindest bei weitem nicht so robust wie eine Grundfospumpe. Während wir mit der letzteren bis heute keine Probleme hatten, können wir das von den Lorentzpumpen keinesfalls sagen. Kaum eine erreichte ihr 4. Betriebsjahr. Im einzelnen hatten die Lorentz-Pumpen folgende Mängel:

- Der Gummistator quoll auf und setzte den Rotor fest.
- Die Stehbolzen waren teilweise verrostet.
- Die Steuerelektronik war häufig defekt.
- Die Controllergehäuse waren nachlässig verarbeitet, sodass in der Regel innerhalb eines Jahres Ameisen und Ungeziefer sich darin eingenistet hatten.
- Der Motor wurde anscheinend zu heiß und setzte sich fest. Anschließend ließ er sich nicht mehr drehen.

## Einsatzort: **Senor Tito oder: Vergleich zweier Pumpen**

Eines unserer Projekte in Nicaragua war der Vergleich der Leistung zweier Pumpen verschiedener Hersteller. Wie schon das der vorherigen Profilkategorie, war unser Ziel die Messung der Leistung einer *Grundfos*- und einer *Lorentz*-Pumpe. Beide Pumpen erzielen laut Herstellern ähnliche Leistungen, unterscheiden sich jedoch im Preis.

Letztes Jahr sollten die Leistungsdaten mit Hilfe einer SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung) und eines Tixi-Modems gemessen und über das GPRS-Netz übertragen werden, leider fiel dieses System aus. Unser Jahrgang bereitete deshalb ein neues System vor. Die *Siemens AG* stellte



*Vorbereitung des SPS-Schaltschrankes bei  
Enicalsa*

uns zu diesem Zweck zwei Simatic S7-1200 mit Messbaugruppen und Interface zur Verfügung. Eine Simatic haben wir im Juli 2013 in Nicaragua installiert. Die andere möchten wir gerne für Messungen auf unserem Schulgelände benutzen. Für die Vorbereitung der Hardware und das Erstellen der Software bekamen wir Hilfe von Siemens. Wir haben im ersten und im zweiten Semester ein Programm geschrieben, das zusammen mit der SPS die Erfassung aller wichtigen Werte der Pumpen ermöglicht. Wir messen die Stromstärke und die Spannung der PV-Anlage, außerdem erfassen wir die solare Einstrahlung. Der Wasserdurchfluss und der Druck sind die wichtigsten Daten für die Einschätzung der Pumpleistung. Außerdem messen wir verschiedene

Temperaturen, um zum Beispiel unsere SPS vor dem Überhitzen zu schützen. Dies gelingt uns mit einem temperaturprogrammierten Lüfter. Die Arbeit für das Projekt begann in Hamburg mit einer Präsentation von Herrn Essmüller von Siemens. Später half uns Herr Golembiewski bei der Einrichtung der Testverbindung der SPS mit dem deutschen GPRS-Netz und dem Umgang des Programms *Step7*, mit dem die Software für die SPS geschrieben wurde. Wir danken beiden Herren sehr für die Mühe, die

sie sich gemacht hatten! Unser Plan sah vor, den Schaltschrank des alten Tixi Modems abzubauen, den Neuen anzubringen und zu verkabeln. Sowohl der Austausch der Schränke als auch die Ausbesserung der Verkabelung waren schnell erledigt.

Die Durchflusssensoren stellten uns jedoch vor ein größeres Problem, die Sensoren waren für eine Versorgungsspannung von 4-24V ausgelegt, da der Controller der PV-Anlage aber bis zu 28V lieferte, wurde der Durchflusssensor beschädigt. Unser Problem bestand darin, dass wir nur einen Ersatz mit nach Nicaragua genommen hatten. Einen zweiten Sensor gab es zwar, jedoch war dieser fest in unserem Teststand in Hamburg verbaut. Unsere Rettung war der Schulhausmeister Herr Kürschner, der den Sensor in Hamburg ausbaute und uns zuschickte.



*Die beiden Schaltschränke auf Titos Finca, der Schrank links ist neu.*

Während wir auf das Ersatzteil aus Hamburg warteten, bauten wir den einen vorhandenen Ersatzsensor ein. Die Stromversorgung stellten wir jedoch nicht mehr direkt über die Akkus her, sondern über einen Spannungsregler, der eigentlich nur für die Versorgung des Lüfters mit maximal 24V vorgesehen war. Glücklicherweise hat der Spannungsregler eine Höchstlast von 125mA, der Lüfter und die beiden Sensoren liegen bei 124mA.

Das nächste Problem zeichnete sich ab: Trotz laufender Pumpe verzeichnete der Sensor keinen Wasserfluss! Nach einigem Rätseln wurde uns



*Stromversorgung für die SPS und die Pumpen, rechts der Hochtank*

klar, dass der Hochtank gar nicht benutzt wurde. Der Verwalter von Titos Feldern leitete das Wasser direkt zu den Pflanzen, um entstehende Druckverluste durch den Hochtank zu umgehen. Da wir jedoch den Hochtank für genormte Messungen brauchten, mussten wir die unterirdisch liegenden Rohre erneut an dem Hochtank anbringen.

Wider Erwarten konnten wir problemlos eine Sim-Karte mit einem Datentarif kaufen, und auch das Einrichten der Sim-Karte verlief genauso problemlos wie bei unserem Test in Hamburg. Und so zeigten uns die grünen LEDs schon nach einer halben Minute, dass die Verbindung nach Hamburg hergestellt werden konnte.

Mittlerweile war der Durchflusssensor aus Hamburg in Nicaragua angekommen und wartet darauf ausgelöst zu werden, doch dummerweise machten uns ein Brückentag für die Zollbeamten und das Wochenende einen Strich durch die Rechnung. Wir beschränkten uns darauf, die Funktionen des restlichen Systems zu testen. Leider konnte das Paket mit dem fehlenden Teil nicht mehr vor unserem Abflug ausgelöst werden, jedoch erhielt Benito das Bauteil ein paar Tage später und konnte es problemlos einsetzen. Momentan haben wir noch Probleme mit der Verarbeitung der Daten aus Nicaragua, aber wir hoffen, dass wir dieses Problem bald lösen können und nicht bis zum nächsten Sommer auf die gespeicherten Daten auf der SD-Karte der SPS warten müssen.

*Sören Behn, Lucas Uhlemann*

# Photovoltaik versus Benzinaggregat

## - Ökologische Bilanz -

Der Betrieb eines Benzinaggregats setzt durch die Verbrennung fossiler Treibstoffe beständig CO<sub>2</sub> frei, ein Solargenerator arbeitet emissionsfrei. Insofern ist ein photovoltaisch gestütztes Pumpsystem einem benzingetriebenen ökologisch mit Sicherheit überlegen. Ein kleines Pumpsystem, das die direkte Sonneneinstrahlung zur elektrischen Energiegewinnung nutzt, vermeidet die Emission von rund 2,2 t CO<sub>2</sub> pro Jahr, die bei dem Betrieb eines vergleichbaren Benzinaggregats entstünden. Folgende Überlegungen<sup>7</sup> zeigen das:

- Die solare Einstrahlungsmenge an der Westküste Nicaraguas beträgt pro Jahr im Durchschnitt 1750 kWh/m<sup>2</sup> auf einer horizontalen Fläche.
- Die Energieerzeugung eines 0,5 kW-Solargenerators beträgt bei einer 12°igen Anstellung pro Jahr 900 kWh. Diese Energie steht dem Elektromotor komplett zur Verfügung.
- Nach Betriebsangaben von Honda<sup>8</sup> beträgt die Generatorleistung eines Stromerzeugers maximal 65% der Motorleistung. Bei einer Dauerleistung von 2,0 kVA steht also maximal 1,3 kW Generatorleistung zur Verfügung. In einer Stunde erzielt dieses Benzinaggregat also 1,3 kWh; um dieselbe Energiemenge wie der zum Vergleich herangezogene Solargenerator - nämlich 900 kWh - zu erzeugen, muss es 692 h laufen (1,3 kW \* 692h = 900 kWh).
- Das Motoraggregat verbraucht dabei 914 l Benzin<sup>9</sup> (etwa 1,32 Liter pro h nach Honda).
- Die Verbrennung von 1 Liter Benzin setzt 2,36 Kg CO<sub>2</sub> frei.
- **Pro Jahr werden folglich durch die solargestützten Feldbewässerungspumpe 2157 Kg CO<sub>2</sub> (= 2,2 t CO<sub>2</sub>) vermieden.**

## - Ökonomische Bilanz -

Ob ein solargestütztes Pumpsystem sich gegenüber einem Motorsystem im Markt durchsetzen kann, ist letztlich nicht eine Frage seiner ökologischen Überlegenheit. Es muss auch auf die Dauer wirtschaftlicher arbeiten, d.h., es muss seinem Konkurrenten auch ökonomisch überlegen sein. Die Förderhöhe lässt sich für jeden Brunnen exakt bestimmen, die tägliche durchschnittliche Fördermenge kann aus der jährlichen Fördermenge ermittelt werden. Schwieriger ist es, die Kosten zu bestimmen. Nicht berücksichtigt werden die Kosten jener Komponenten, die bei beiden Systemen (pv-gestütztes bzw. benzingestütztes System) gleich sind. Auch das Tropfbewässerungssystem kann vernachlässigt werden, denn es ist für beide Systeme identisch, ebenfalls ein Tank, falls er denn installiert werden soll. Dasselbe gilt auch für weitere externe Kostenfaktoren wie Bohrloch, Brunnen, Standorterschließung und eventuelle ökologische

<sup>7</sup> siehe Dokumentation 2004: <http://www.eduard-hamburg.de/downloads/FeldbewNicara.pdf>

<sup>8</sup> [http://www.honda.de/industrie/geraete\\_stromerzeuger\\_rahmengerate\\_mit\\_standardregelung.php](http://www.honda.de/industrie/geraete_stromerzeuger_rahmengerate_mit_standardregelung.php)

<sup>9</sup> Im Mai 2013 kostete ein Liter Benzin in Nicaragua 1,33 US\$.

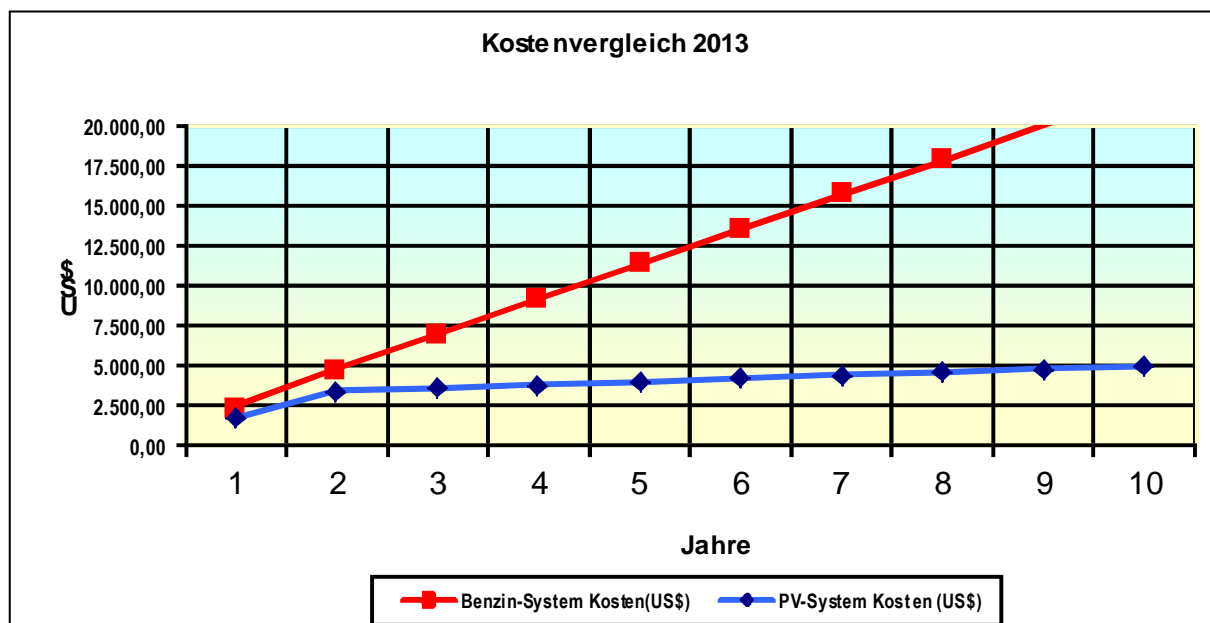
<http://benzinpreis.de/international.phtml?kontinent=MA&land=146&waehrung=USD&einheit=Liter>

Mitte 2004 kostete ein Liter Benzin in Nicaragua 0,64 US\$, noch nicht einmal die Hälfte.

Folgeschäden. Für den Vergleich werden lediglich die Investitionskosten für den Generator und die Pumpe herangezogen und die je unterschiedlichen Betriebskosten. Betriebskosten sind laufende Kosten, zu ihnen gehören Lohnkosten und die Kosten für Ersatzteile, Betriebsstoffe und deren Transport. Die Investitionskosten müssen in einen gleichmäßigen Zahlungsstrom über die Lebensdauer der einzelnen Komponenten verteilt werden. Um die tatsächlichen Kosten für die Pumpensysteme widerzuspiegeln, werden für die Investitionskosten landesspezifische Kalkulationszinssätze zu Grunde gelegt. Eine jährliche Inflationsrate konnte von uns nicht ermittelt werden, auch nicht die vermutlich enormen Steigerungsraten bei den Benzinpreisen in den kommenden Jahren.

	<b>Photovoltaisches System</b>	<b>Motorsystem<sup>10</sup></b>
Investitionskosten Generator	600,00 US\$	962,00 US\$ <sup>11</sup>
Investitionskosten Pumpe	2080,00 US\$ <sup>12</sup>	370,00 US\$ <sup>13</sup>
Zinssatz (Kreditlaufzeit: 2 a)	12% <sup>14</sup>	12%
Lohnkosten/a	100,00 US\$	100,00 US\$
Betriebsstoffe/a	0,00 US\$	1216,00 US\$
Ersatzteile/a	50,00 US\$	80,00 US\$
Service und Reparatur/a	50,00 US\$	250,00 US\$

Lohnkosten, Ersatzteile und Service/Reparatur haben wir für das PV-System geschätzt, für das Motorsystem beziehen wir uns auf eigene Untersuchungen und Befragungen von nicaraguanischen Landwirten, die über Erfahrungen mit Benzinaggregaten verfügen.



<sup>10</sup> Wir nehmen für das Motorsystem eine Lebenszeit von zwei Jahren an, dann hat es nach unserem Beispiel bereits 1384 Betriebsstunden hinter sich.

<sup>11</sup> Kosten des Benzinaggregats Honda EC 2000

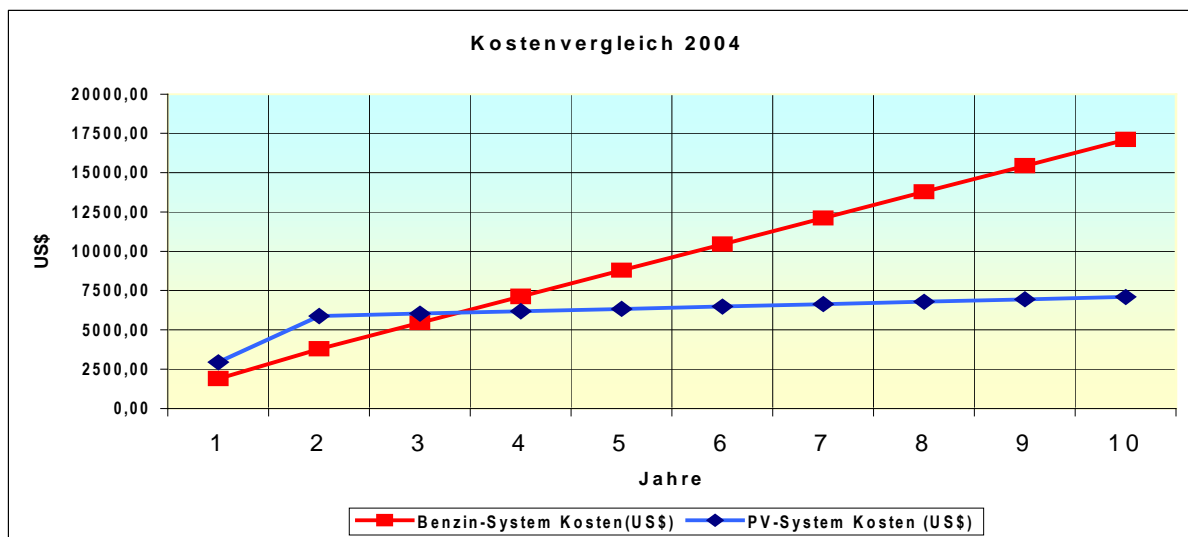
<sup>12</sup> Wir haben eine Grundfos SQF 2.5-2 zu Grunde gelegt.

<sup>13</sup> Vgl.: <http://www.aquascience.net/submersible-pumps/index.cfm?id=1394>

<sup>14</sup> Vgl die Kreditzinsen im Jahr 2012: <http://www.factfish.com/de/statistik/kreditzinsen>



Die Grafik (s.o.), die den erforderlichen Zahlungsstrom gleichmäßig über die Lebensdauer der einzelnen Komponenten verteilt, birgt eine Überraschung in sich: Im Kostenvergleich schneidet das PV-System **von vornherein** günstiger ab als das Benzinaggregat! Vor 9 Jahren, als wir die gleiche Untersuchung anstellten, sah das Ergebnis noch ganz anders aus: die Investitionskosten waren 2004 bei einem photovoltaischen System in den ersten Jahren noch höher als bei einem Benzinaggregat.<sup>15</sup> Erst in der ersten Hälfte des 3. Betriebsjahres war der Punkt erreicht, an dem sich beide Kostenkurven schnitten und ab dem das PV-System sich als das kostengünstigere erwies. Jetzt ist das PV-System nicht nur ökologisch überlegen, sondern auch gegenüber dem Benzinaggregat das wirtschaftlichere System. Das liegt vor allem an den radikal gesunkenen Kosten der Solarmodule in den vergangenen Jahren, aber auch an den stetig steigenden Benzinkosten. Jahr für Jahr muss der Landwirt, der in Nicaragua lebt und ein Benzinaggregat betreibt, für die Erzeugung von 900 kWh einen Preis von 1216 US\$ bezahlen. Tendenz: Steigend!



Ein Kostenvergleich zwischen beliebigen Systemen wird dann möglich, wenn die *spezifischen Wasserförderkosten* ermittelt werden. Folgende Überlegungen sollen das zeigen:

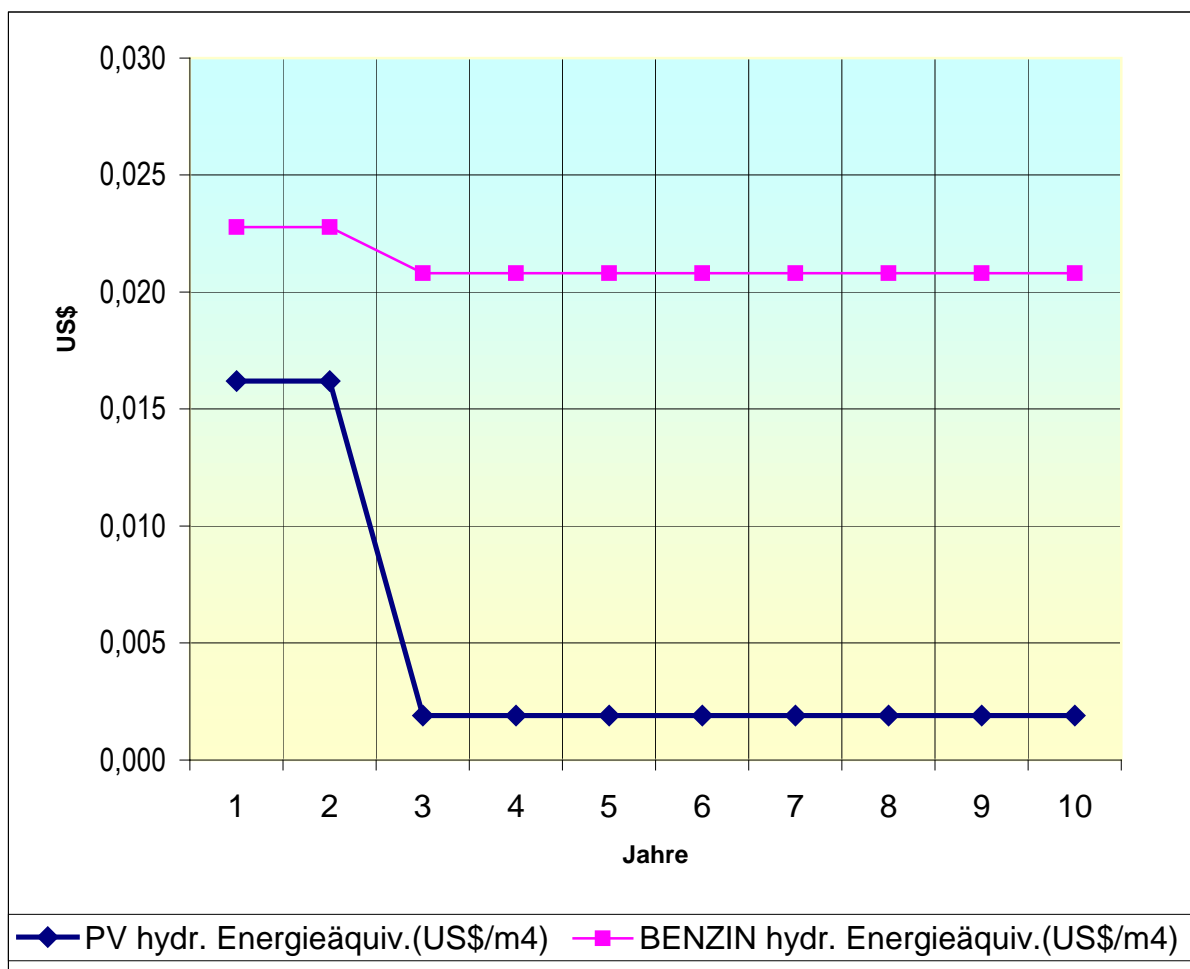
Ein Bauer, der dieselbe Wassermenge aus einem 50 m tiefen Brunnen pumpen will wie jener, der sein Wasser aus 10 m Tiefe gewinnt, muss mehr Energie aufwenden; sein Pumpsystem braucht eine leistungsfähigere Pumpe bzw. einen leistungsfähigeren Generator. Je mehr Wasser aus einer größeren Tiefe gefördert wird, desto mehr Energie muss aufgewendet werden. Verfügt unser Bauer über ein Pumpsystem mit einem 0,5 kW-Solargenerator, so könnte er mit dieser Pumpe an der Westküste Nicaraguas im Jahr rund 4500 m<sup>3</sup> Wasser aus 30 m Tiefe pumpen.<sup>16</sup> Läge sein Brunnenwasser tiefer, müsste er sich mit weniger Wasser begnügen oder die Leistungsfähigkeit seines Systems erhöhen. Damit würden seine Investitionskosten steigen und eben auch seine

<sup>15</sup> siehe die Grafik auf dieser Seite, die wir der „Dokumentation 2004“ entnommen haben.

<sup>16</sup> Ermittelt mit Hilfe des Pumpenauslegungsprogramms WinCAPS von der Firma Grundfos.

spezifischen Wasserförderkosten. Diese lassen sich in US\$/m<sup>4</sup>, in €/m<sup>4</sup> oder in Cordoba/m<sup>4</sup> ausdrücken. Die Einheit **m<sup>4</sup>** gewinnt man durch Multiplikation der Fördermenge (m<sup>3</sup>) mit der Förderhöhe(m). Diese Einheit nennen wir das *hydraulische Energieäquivalent*.<sup>17</sup> Das hydraulische Energieäquivalent des Systems in unserem Beispiel (0,5 kW-Solargenerator) beträgt 4500 m<sup>3</sup> \* 30 m = 120.000 m<sup>4</sup>.

Die Einheit **m<sup>4</sup>** lässt einen Kostenvergleich von Pumpsystemen mit unterschiedlichen Förderhöhen zu. Die spezifischen Wasserförderkosten (US\$/m<sup>4</sup>) bei einem Benzinaggregat betragen in den ersten beiden Betriebsjahren 0,023 US\$ pro m<sup>4</sup> und bleiben dann in den folgenden Jahren konstant bei 0,021 US\$ pro m<sup>4</sup>, bei einem PV-System betragen sie in den ersten zwei Betriebsjahren 0,016 US\$ pro m<sup>4</sup>, um dann – nachdem die Anlage abbezahlt ist – radikal auf 0,002 US\$ pro m<sup>4</sup> zu fallen und dort für den Rest der Lebensdauer der Anlage zu bleiben. Die solargestützte Anlage arbeitet in den folgenden Jahren fast kostenfrei.



Clemens Krühler

<sup>17</sup> 1m<sup>4</sup> ist nichts anderes als ein Vielfaches des Newtonmeters (Nm). 1 Liter Wasser hat die Masse von 1 Kg und damit die Gewichtskraft von ca. 10 N. 1 m<sup>3</sup> Wasser hat die Gewichtskraft von 10.000 N und 4500m<sup>3</sup> entsprechend 45.000.000N. Wenn dieses Wasser aus einer Tiefe von 30m gepumpt werden muss, ist eine mechanische Energie von 45.000.000N x 30m = 1,35x10<sup>9</sup>Nm erforderlich.

## Fotogalerie



Wenn nicht gerade auf dem Feld gearbeitet wurde, versammelten wir uns im Pick-Up, um verschiedene Exkursionen zu unternehmen.



Unter anderen bestiegen wir den noch aktiven Vulkan „Cerro Negro“. Nach einem einstündigen anstrengenden Marsch wurden wir mit einer wundervollen Sicht auf das Land belohnt.



Des Weiteren haben wir ein Geothermie-Kraftwerk besichtigt, und dort eine interessante Führung genossen, da ein Mitarbeiter in der Lage war, deutsch zu sprechen.

Am meisten Freizeit verbrachten wir am Strand. Wir fuhren ca. eine halbe Stunde mit dem Pick-Up hin, und verbrachten dort den Tag, bis die Sonne im Meer versank.



Waren wir nicht gerade am Strand, erkundeten wir die vielen Stände auf dem Markt und kosteten von verschiedenen Früchten.



Außerdem widmeten wir unsere Zeit der Kultur Nicaraguas. Wir besichtigten historisch bedeutsame Gebäude wie die Kathedrale Leons, und machten mit Benito einen Stadtrundgang.

*Eileen Meyer, Marius Strack*



*Das Nord-Süd-Projekt  
„Agua es vida“  
wurde unterstützt von:*

## Das Nord-Süd-Projekt „Agua es vida“

der Gesamtschule Blankenese ist Bestandteil des School to School-Programms **EduARD** (Education and Renewable Energy and Development).

**EduARD** ist eine Initiative der Gesamtschule Blankenese-Hamburg und des Ingenieurunternehmens Selected Electronic Technologies Wedel GmbH. Es verknüpft deutsche Schulen mit Schulen im Sonnengürtel der Erde. Ihr gemeinsames Ziel: Einsatz der Solartechnik.

**EduARD** führt deutsche und ausländische Schüler und Schülerinnen zusammen. Entsprechend den Bedürfnissen der Partnerschule errichten sie nach einjähriger Vorbereitung eine Solarstromanlage in der Schule des Partnerlandes.

**EduARD** zielt auf eine anwendungsorientierte Ausbildung in moderner, zukunftsfähiger Energietechnik. Das Programm bündelt die Themen Solarenergie und Entwicklung innerhalb der schulischen Ausbildung. Es kooperiert mit Firmen, um modernes Ingenieurwissen für den Unterricht bereit zu stellen.

Die Beschäftigung mit dem Thema „regenerative Energietechnik“ gehört seit 1996 zum Curriculum der Gesamtschule Blankenese. Die verschiedenen Physikkurse des 11 Jahrgangs sind für ihre Aktivitäten „rund um die Solarenergie“ im Herbst 2000 mit dem Deutschen Solarpreis, im Februar 2001 mit dem „Energy Globe Award“, 2002 mit dem Förderpreis Eine Welt der Nordelbischen Evangelischen Kirche und 2003 im Rahmen des FOCUS-Schülerwettbewerbs "Schule macht Zukunft" mit dem Sonderpreis der Deutschen Physikalischen Gesellschaft ausgezeichnet worden. 2007 nimmt die GS Blankenese auf Einladung des Bundespräsidenten Horst Köhler und der Deutschen Bundesstiftung Umwelt an der „Woche der Umwelt“ im Schloss Bellevue teil. Im selben Jahr wird die GS Blankenese Deutschland-Sieger im Wettbewerb "Kampf dem Klimawandel" von National Geographic und Vattenfall Europe. 2009 wird „Agua es vida“ zum offiziellen Projekt der UN-Dekade „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ erklärt und 2010 gehört die GS Blankenese mit „Agua es vida“ zu jenen Orten im „Land der Ideen, an denen vorbildhaft zukunftsorientierte Ideen entwickelt, gefördert und umgesetzt werden“. 2012 nimmt die GS Blankenese auf Einladung des Bundespräsidenten Joachim Gauck und der Deutschen Bundesstiftung Umwelt erneut an der „Woche der Umwelt“ im Schloss Bellevue teil.

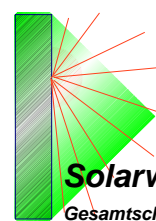


Hamburger Klimaschutz-Fonds e.V.  
[www.klimaschutz.com/](http://www.klimaschutz.com/)



Norddeutsche Stiftung für  
Umwelt und Entwicklung  
[www.nue-stiftung.de](http://www.nue-stiftung.de)

**SIEMENS**  
[www.siemens.com](http://www.siemens.com)



**Solarwerkstatt**

Gesamtschule Blankenese e.V.  
[www.eduard-hamburg.de](http://www.eduard-hamburg.de)