

S2S SCHOOL TO SCHOOL

EduaRD

**Education and
Renewable Energy
and Development**

Projekt 2004

Solargestützte Feldbewässerung in Nicaragua

**Bericht des
Physik-Ergänzungskurses 2003/04
der Gesamtschule Blankenese**

Hamburg, August 2004

**Projekt „Solargestützte
Feldbewässerung in Nicaragua“**

Physik-Ergänzungskurs Jg. 11 Schuljahr 2003/04
GS Blankenese, 22587 Hamburg
Frahmstr. 15 a/b

Sophie Berg, Benjamin Breckwoldt,
Moritz Daniels, Nils Frick,
Ole Harder, Hannah Kleppin,
Till Krüger, Clemens Krühler,
Eddi Lissow, Martin Nauroz,
Christian Rottmann, Volkan Tunc,

Verantwortlich im Sinne des Presserechts:
Clemens Krühler,
Tel.: 428828-0, Fax: 428828-45
Email: ClemensKruehler@aol.com

Druck: Druckerei in St. Pauli

Hamburg, August 2004

Projekt 2004

Solargestützte Feldbewässerung in Nicaragua

Bericht des
Physik-Ergänzungskurses 2003/04
der Gesamtschule Blankenese

Hamburg, August 2004

INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung	5
Fotogalerie	7
Untersuchungen und Ergebnisse	
• Einstrahlung im Raum Leon	14
• Niederschlag und Verdunstung	16
• Pumpen im Test	18
• Photovoltaik versus Diesel	20
Reisebericht und Kommentar	22

EINLEITUNG

Die GS Blankenese blickt auf eine langjährige und reiche Erfahrung mit Nord-Süd-Schulpartnerschaften zurück, am intensivsten haben wir bisher sicherlich mit verschiedenen Bildungsorganisationen der nicaraguanischen Stadt Leon (u.a. Universität UNAN), Technik-Schule La Salle) zusammengearbeitet. Unser gemeinsames Thema war immer die solargestützte Feldbewässerung. Die Festlegung auf dieses Thema folgte einer Anregung des Universitätspräsidenten von Leon, Dr. Ernesto Medina. Seit Jahren kann man an der Pazifikküste Nicaraguas eine dramatische Verkürzung der Regenzeit beobachten, in manchen Jahren von sechs auf drei Monate. Für den landwirtschaftlichen Anbau in Nicaragua wird die künstliche Bewässerung zur Überlebensfrage. Das Agrarinstitut der UNAN arbeitet eng an den Fragen des Landes und verfügt über landwirtschaftliche Versuchsfelder. Es lag also nahe, die Bedingungen der solargestützten Feldbewässerung auf ihre Tauglichkeit für die landwirtschaftliche Produktion zu untersuchen.

Im Jahr 2002 machte ein Physikkurs des 11. Jahrgangs nach reiflicher Diskussion mit den nicaraguanischen Partnern den Anfang. Er installierte auf dem Gelände der Universität von Leon eine Demonstrations- und Versuchsanlage mit solarbetriebenen Wasserpumpen - gemeinsam mit nicaraguanischen Studierenden und Wissenschaftlern. Im Mai 2003 folgte der nächste Kurs. Ziel dieses Kurses bestand in dem Aufbau zweier solargestützter Pumpen zu Feldbewässerung, die direkt auf Bauernhöfen zum Einsatz kamen. Ein Jahr später wurden die vierte Pumpe in dem Dorf San Pedro und die fünfte auf einem Bauernhof in der Nähe Leons installiert, inzwischen hatten sich uns als weitere Kooperationspartner Schüler und Lehrer der Tecnico La Salle angeschlossen.

Die Pumpsysteme der Jahre 2003 und 2004 dienen unmittelbar der Produktivitätssteigerung – Ernten sind nunmehr auch während der Trockenzeit möglich. In den fünf Systemen kommen unterschiedliche Pumpen (Grundfos, Pumpen-Böse, Lorentz) zum Einsatz, alle fünf Systeme sind mit einer Messstrecke ausgestattet, um ihre Leistungsfähigkeit fortlaufend untersuchen und bewerten zu können, sie dienen somit auch der wissenschaftlichen Betrachtung.

Im Verlauf der drei aufeinanderfolgenden Projekte haben sich die jeweiligen Fragestellungen verschoben bzw. konkretisiert. Ging es im ersten Projekt um den Nachweis, dass ausgereifte und zuverlässige Systeme in Nicaragua prinzipiell und mit Erfolg zum Einsatz gebracht werden können, hatten die nächstfolgenden Projekte konkretere Fragestellungen zu beantworten: Wie groß ist die Leistungsfähigkeit verschiedener Pumpsysteme tatsächlich? Wie viel m^2 Wasser bringt eine bestimmte Pumpe bei einer bestimmten Generatorleistung tatsächlich auf das Feld? Wie groß ist die Fläche, die bei einem gegebenen System bewässert werden kann und letztlich: Wie groß ist der Ertrag, der sich erzielen lässt und in welchem Verhältnis steht er zu den Investitionskosten? Zu den rein physikalischen und technischen Fragestellungen treten im realen Einsatz ökonomische hinzu. Im Grunde geht es darum, dem Bauern ein System anbieten zu können, das auf seine Bedürfnisse zugeschnitten ist und das ein optimales Preis/Leistungs-Verhältnis hat. Darüber hinaus ist die Frage zu klären, ob ein pv-gestütztes System gegenüber einem dieselgestützten konkurrenzfähig ist. Wir setzen voraus, dass es unter ökologischen Gesichtspunkten immer vorzuziehen ist. Viele Fragen bleiben nach unseren Projekteinsätzen noch offen, aber wir behaupten, dass wir manche dieser Fragen heute präziser stellen können und auch über die Methodik ihrer Beantwortung mehr wissen. Auch gilt es, Annahmen zu überprüfen, die zunächst Ausgangspunkt für Prognosen und Berechnungen sein müssen. Daten über die solare Einstrahlung in Nicaragua beispielsweise kann man in allgemein zugänglichen Wetteraufzeichnungen finden. Diese Daten müssen unseres Erachtens auf ihre lokale Genauigkeit überprüft bzw. präzisiert werden, entsprechende Messungen sind unabdingbar. Die solare Einstrahlung ist die primäre Energiequelle für die Pumpsysteme, ihre Leistungsfähigkeit hängt damit unmittelbar von der Einstrahlung der Sonne ab. Sie muss lokal für die einzelnen Monate ermittelt werden, denn die Monate der Trockenzeit sind entscheidend für die Tauglichkeit der Feldbewässerungssysteme.

Die Präzisierung der Fragestellungen, die sich aus der je vorangegangenen Arbeit ergab, hatte Rückwirkungen auf den nächstfolgenden Kurs. Die Projektgruppe des Jahres 2003/2004 hat zum ersten Mal betriebswirtschaftliche Überlegungen (PV versus Diesel) in ihre Vorbereitungsarbeiten einbezogen, sie hat weiterhin Fragen thematisiert, die schon nicht mehr physikalischer Natur, sondern z.B. biologischer Natur sind:

Wir wissen, wie ein Pumpsystem funktioniert und wie es aufzubauen ist. Wir können es auch berechnen. Aber wir wissen nicht, wie viel Wasser eine Pflanze im Verlauf ihres Wachstums braucht, bzw. wie viel Wasser wir unter bestimmten klimatischen Bedingungen auf ein Feld bestimmter Größe bringen müssen, um das Wachstum einer bestimmten Pflanze zu garantieren. Projekte solcher Art, wie wir sie realisieren, treiben immer über ihre ursprüngliche Fragestellung hinaus, sie übertreten die Grenzen der eigenen Fachdisziplin und treffen auf Nahtstellen zu anderen Disziplinen (in unserem Fall handelt es sich um Ökonomie, Klimageographie und vor allem Biologie). Als Physikkurs steht man immer dann vor scheinbar unlösbaren Problemen, wenn man die Grenzen seines Fachgebiets überschreiten muss. In solchen Fällen ist es oft unausweichlich, kluge Geister zu Rate zu ziehen, die mit Ihrem Spezialwissen unsere Lernprozesse außerordentlich bereichern. Wir bedanken uns in diesem Zusammenhang bei Herrn Dr. Sorell, Mitarbeiter der Forschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig, der uns für einen Tag in sein Institut eingeladen hat, um uns mit dem aktuellen Stand der Bewässerungstechnik und mit der Methodik der Wasserbedarfsberechnung vertraut gemacht hat. Dieser Kontakt wurde von seinem Ex-Studenten und jetzigen Diplomanden, Gerrit Neumann, vermittelt. Gerrit Neumann hat uns schließlich auf unserer Projektreise begleitet und uns mit wertvollen Hinweisen und praktischer Arbeit unterstützt. Auch ihm gilt unser Dank, ebenso Herrn Dr. Dieter Kasang vom Deutschen Klimarechenzentrum (DKRZ), der uns mit vielen Informationen über mögliche Klimaveränderungen im mittel-amerikanischen Raum und deren Rückkopplungen auf den El Nino-Effekt versorgt hat.

Dieses Heft dokumentiert unter „Untersuchungen und Ergebnisse“ einige Arbeitsergebnisse des Physikkurses, durchaus noch in roher und unsystematischer Form, dennoch sind es Ergebnisse, die Aufschluss geben und in nicht unerheblichem Maß unsere weitere Arbeit bestimmen werden. Interessant für uns bleibt weiterhin, die betriebswirtschaftlichen Berechnungen zu vertiefen und die leistungsfähigste Pumpe sowie das exakte Strahlungsangebot im Raum Leon/Nicaragua zu ermitteln.

Projekte wie das vorgestellte sind nicht realisierbar, ohne dass viele Menschen – oft unsichtbar und im Hintergrund – ihren spezifischen Beitrag leisten. Wir bedanken uns vor allem bei Herrn Karl-Heinz Korupp, Geschäftsführer der Selected Electronic Technologies GmbH in Wedel, der uns während der gesamten Vorbereitungszeit begleitet und uns sein Wissen und seine Firma als Basis für Experimente zur Verfügung gestellt hat. Des Weiteren gilt unser Dank Herrn Schultze von dem Pumpenhersteller Lorentz. Seine Unterstützung mit Rat, Tat und Material war und ist unersetzlich.

Professor Dr. Heinz Baisch, Vorsitzender des Hamburger Klimaschutz-Fonds (HKF), hat uns auf unserer Projektreise begleitet. Der HKF und insbesondere Herr Baisch unterstützen seit Anbeginn die Nord-Süd-Projekte Hamburger Schulen, deren Inhalt „Klimaschutz und Solarenergie“ ist. In den letzten zwei Jahren sind zwölf Projekte von Hamburger Schulen mit Bildungseinrichtungen in südlichen Ländern durchgeführt worden; Ziel aller Projekte war der Aufbau von Solaranlagen als Energiequelle unterschiedlicher Anwendungen, alle Projekte wurden vom HKF finanziell unterstützt. Wir sind dem HKF zu besonderem Dank verpflichtet und ebenso Frau Anke Butscher, Geschäftsführerin des *Eine Welt Netzwerkes Hamburg e.V.*, die unsere Arbeit über Monate konzeptionell beraten, unterstützt und begleitet hat.

Ein solches Projekt wie das unsrige ist ohne finanzielle Unterstützung nicht denkbar. Neben dem HKF hat zu dem Gelingen unseres Unternehmens durch finanzielle Unterstützung insbesondere

- die Deutsche Physikalische Gesellschaft
- die Norddeutsche Stiftung für Umwelt und Entwicklung
- die Gesamtschule Blankenese
- und der Innovationsfonds der Hamburger Behörde für Bildung

beigetragen. Herzlichen Dank!

Clemens Krühler

FOTOGALERIE



▲ Im Oktober 2003 wird in Berlin der Physikkurs 2002/03 beim bundesweiten FOCUS-Wettbewerb "Schule macht Zukunft" mit dem Physik-Sonderpreis der Deutschen Physikalischen Gesellschaft ausgezeichnet. Von links: Stefan Hanke, Fabian Rossmeyer, Falco Feindt, Clemens Krühler, Suyapa I. Padilla Tercero (Botschafterin Nicaraguas in Deutschland), H. Markwort (FOCUS-Chefredakteur), Nils Frick, Stephanie Klose, Hannes Wegner, Jonas Nietz



▲ Während der Vorgängerkurs in Berlin ausgezeichnet wird, steckt der Kurs 2003/2004 längst in seinen Vorbereitungen. Auf dem Bildungsmarkt 2003 in Mainz – veranstaltet vom Bundesministerium für wirtschaftliche Entwicklung und Zusammenarbeit – stellt der neue Kurs sein Projekt im November der Öffentlichkeit vor.



▲ Ein Besuch bei der Forschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig bringt neue Erkenntnisse über moderne Berieselungstechniken.

▼ Auf dem Betriebsgelände der SET GmbH entsteht unser Teststand, mit dessen Hilfe wir ...



▲ ... verschiedene Pumpentypen auf ihre Leistungsfähigkeit prüfen.

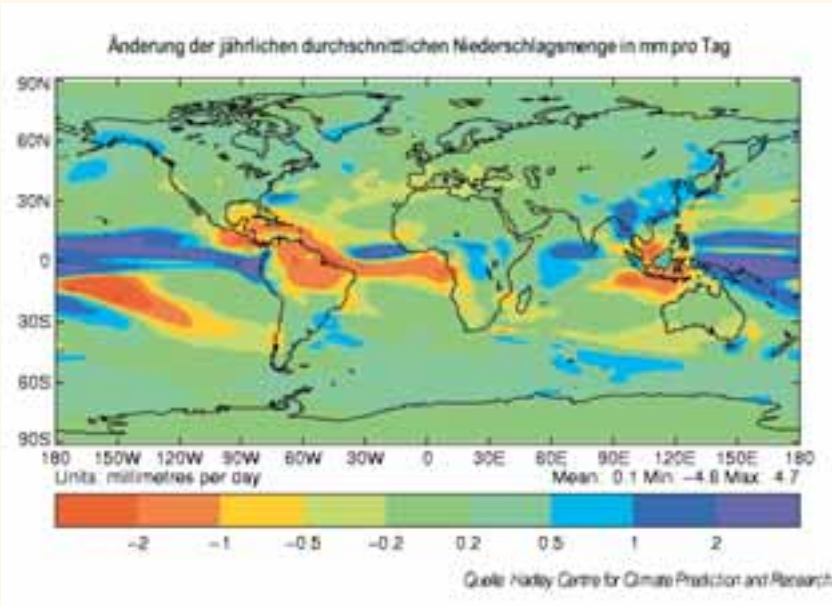
▼ Gleichzeitig testen wir das Verhalten von den Pumpen auf diverse Tropfbewässerungssysteme. Fließgeschwindigkeit, Druckverhältnisse und Tropfraten werden untersucht.



Das Foto wurde Ende Mai aufgenommen.
 Die Regenzeit hätte längst einsetzen müssen. Doch noch immer ist der Boden staubig und trocken. Die Rinder scheinen nach Graswurzeln zu graben und diese zu fressen. Seit Jahren beobachten die Bauern an der Pazifikküste eine dramatische Verkürzung der Regenzeit, in manchen Jahren von sechs auf drei Monate.



Untersuchungen des englischen Hadley Centre for Climate Prediction and Research prognostizieren für die Region Mittelamerika eine drastische Verringerung der jährlichen Niederschlagsmengen. In manchen Gegenden Mittelamerikas wird im Verlauf dieses Jahrhunderts eine Reduzierung des Niederschlags von 2 mm Niederschlag pro Tag erwartet, pro Jahr also mehr als 750 mm. Das entspricht fast der absoluten Menge an Niederschlag in einigen Gegenden Mitteleuropas (Hamburg: 768 mm/Jahr)..



Einsatzort des Projektkurses ist das Dorf San Pedro, etwa 60 km nördlich von Leon gelegen. Das Dorf liegt schwer zugänglich in den Bergen, abgeschnitten von jeder Infrastruktur. Der Eigentümer des Brunnens stellt diesen für das Feldbewässerungssystem zur Verfügung. Die Arbeit beginnt...





..... mit der Vorbereitung des Brunnens und dem Ausschachten des Fundaments für den Solargenerator.



Die Hitze zwingt nach sechs Stunden Arbeit zu einer Entspannungspause



..... und zum Ausruhen!

Die Konstruktion, die den Solargenerator tragen soll, muss provisorisch aufgebaut werden, die Materialien sind – außer dem Standfuß – noch nicht komplett vom nicaraguanischen Zoll freigegeben.



Während der Solargenerator aufgebaut wird, ...



... beschäftigt sich ein weiterer Arbeitstrupp mit der Verlegung des Tropfbewässerungssystems. An die Hauptleitung werden die Anschlüsse für die Tropfschläuche geklemmt.





Nach vier Tagen ist das Werk vollbracht. Die Dorfbevölkerung, die Hamburger Schülerinnen und Schüler sowie Vertreter der bäuerlichen Hilfsorganisation INGES versammeln sich im Schatten eines Baumes, um die gemeinsame Arbeit zu begutachten und dem Projekt einen großen Erfolg zu wünschen.



Zum Schluß der Feierlichkeiten werden auf dem Feld Samen von Kürbissen, Melonen und Tomaten ausgesät ...



... drei Monate später ist der prächtige Erfolg zu sehen. Die Dorfbevölkerung ist begeistert. Ernten während der Trockenzeit sind möglich. Kleine Feldbewässerungssysteme erweisen sich als taugliches Mittel zur Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion und zur Nahrungsmittelsicherung.

▶
Beseelt vom Erfolg des ersten Projekts beginnt der Kurs am nächsten Tag ein weiteres. Die Leoner Naturheilklinik hat mit dem Bau eines neuen Brunnens begonnen, der allerdings noch nicht tief genug ausgeschachtet ist. In mühevoller Handarbeit beginnt das Graben, nur eine oder zwei Personen können im Brunnen graben, während die anderen sich ausruhen oder die Erde in Eimern nach oben ziehen.



▶
Zwei Monate später wird eine weitere Hamburger Schulgruppe vom Gymnasium an der Oberalster kommen, um die Pumpe und eine Trinkwasseraufbereitungsanlage zu installieren.



▶
Uns bleibt noch etwas Zeit, die Vulkanlandschaft rings um Leon zu erkunden (hier: auf dem Cerro Negro ...)





... im erfrischenden Wasser des Pazifik zu baden...



... sich auszuruhen ...

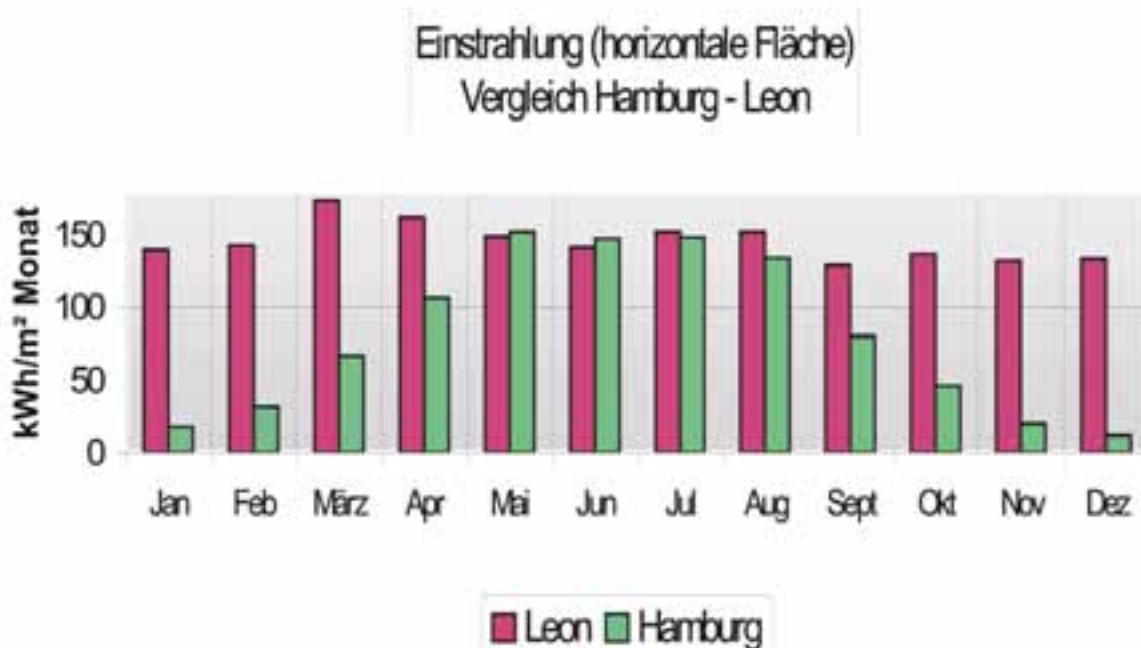


... oder einfach fröhlich die Abende zu genießen.

UNTERSUCHUNGEN und ERGEBNISSE

Einstrahlungsdaten im Raum Leon – Chinandega

Nicaragua ist eines jener Länder Mittelamerikas, das über eine hohe solare Einstrahlleistung verfügt. Durchschnittlich strahlt die Sonne dort im Jahr eine Energie von 1742 kWh auf eine horizontale Fläche. In Hamburg betrug die durchschnittliche jährliche Solarstrahlung in den letzten sieben Jahren 960 kWh/m².¹ Vergleichbare photovoltaische Anlagen arbeiten also in Nicaragua um den Faktor 1,8 ertragreicher als am Standort Hamburg. Wird der Solargenerator um 15° gegen die Horizontale geneigt, steigert sich die eingestrahelte Energiemenge im Raum Leon/Chinandega auf 1939 kWh.



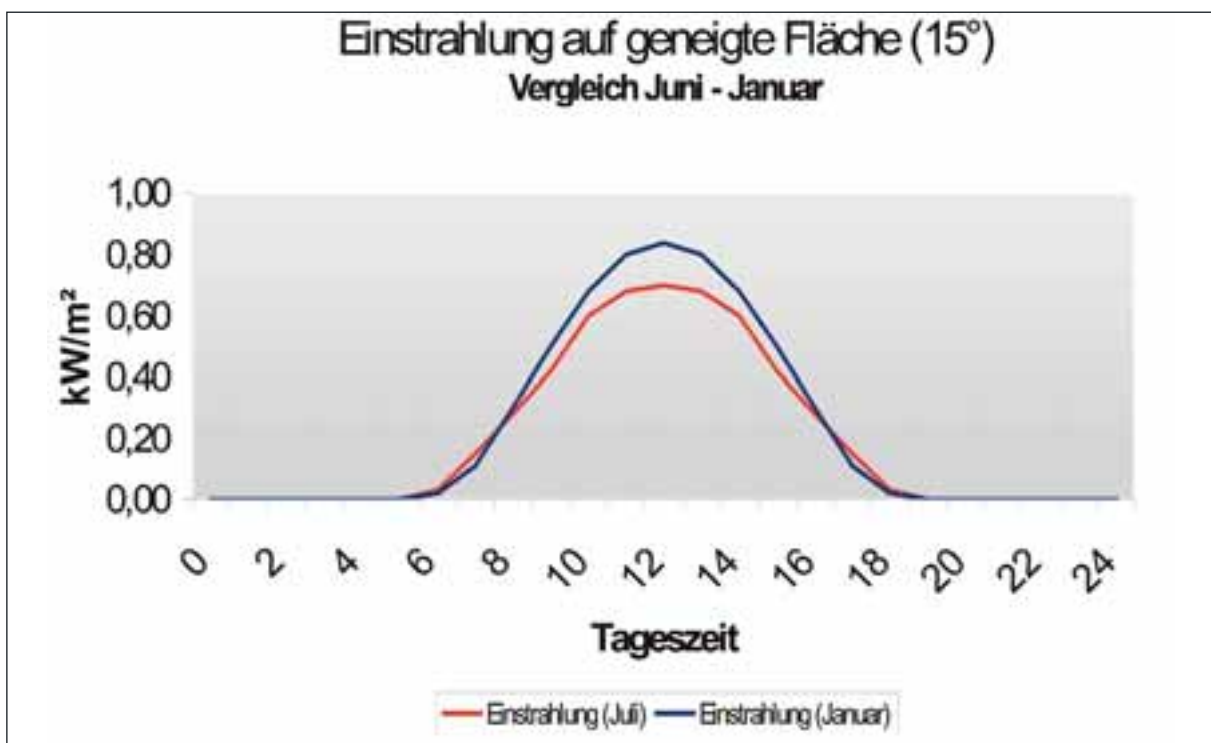
Die Hamburger Kurve zeigt Einbrüche in den Wintermonaten. Die Monate November bis Februar tragen kaum etwas zum Ertrag bei. Demgegenüber zeigt der Jahresverlauf der eingestrahelten Energie in Nicaragua einen fast gleichmäßigen Verlauf auf hohem Niveau mit Spitzenwerten in den Monaten März und April.

In den Küstenregionen von Nicaragua herrscht ein tropisches Klima mit mäßigen jährlichen Temperaturschwankungen. Die Durchschnittstemperaturen liegen bei 25 °C. Die Regenzeit in Nicaragua dauert von Mai bis Oktober. Der jährliche Niederschlag beträgt durchschnittlich 3 800 mm. In den Wintermonaten gibt es praktisch keinen Niederschlag. In diesem Zeitraum müssen die landwirtschaftlichen Betriebe künstlich bewässern, die hohe solare Einstrahlung liefert optimale Voraussetzungen, solargestützte Pumpsysteme einzusetzen.

¹ Nach Angaben der Zeitschrift PHOTON, Jahrgänge 1996 - 2002

Einstrahlungsdaten im Raum Leon – Chinandega

	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	
Temperatur	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	°C
Einstrahlung (horizontal)	4,5	5,1	5,6	5,4	4,8	4,7	4,9	4,9	4,3	4,4	4,4	4,3	KWh/m ² day
Einstrahlung (geneigt)	5,6	6,1	6,3	5,7	4,9	4,7	5	5,1	4,6	5,1	5,3	5,4	KWh/m ² day
Neigungswinkel	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	Grad



Niederschlag und Verdunstung

Ob ein landwirtschaftlich genutztes Gebiet künstlich bewässert werden muss, hängt von der Wasserbilanz ab: Einerseits wird das Land durch natürliche Niederschläge bewässert, andererseits verdunstet der Boden und dessen Bewuchs beständig die Feuchtigkeit. Werden Niederschlag und Verdunstung (Evapotranspiration²) gegeneinander aufgerechnet, ergibt sich eine positive oder eine negative Bilanz: Fallen die Niederschläge (in mm) in einem Monat geringer aus als die Verdunstung, ist die Bilanz negativ (in den Grafiken als blaue Balken dargestellt) und das Land sollte bewässert werden. Die Differenz bestimmt die Menge der künstlichen Bewässerung. Im Raum Chinandega/Nicaragua fallen im April durchschnittlich 18 mm Niederschlag pro Tag, die Verdunstung beträgt jedoch 147 mm pro Tag, die Differenz von 129 mm pro Tag muss durch ein Bewässerungssystem ausgeglichen werden³.

Sind die durchschnittlichen monatlichen Niederschlags- und Verdunstungsmengen bekannt⁴, lässt sich für jeden Monat die Wassermenge berechnen, die ein Bewässerungssystem für eine bestimmte Landfläche bereitstellen muss, wenn die Niederschlagsmengen die Verdunstung unterschreiten. Dies ist in Chinandega in sechs Monaten der Fall, im Raum Managua gar in neun Monaten. Über das gesamte Jahr gesehen weist Chinandega einen positiven Wasserhaushalt auf, Managua demgegenüber einen negativen: Der Niederschlag ist in der Hauptstadt um 573 mm geringer als die Verdunstung. Die Grafik beweist, dass auf jeden Fall in den Monaten November bis April/Mai künstlich bewässert werden sollte.

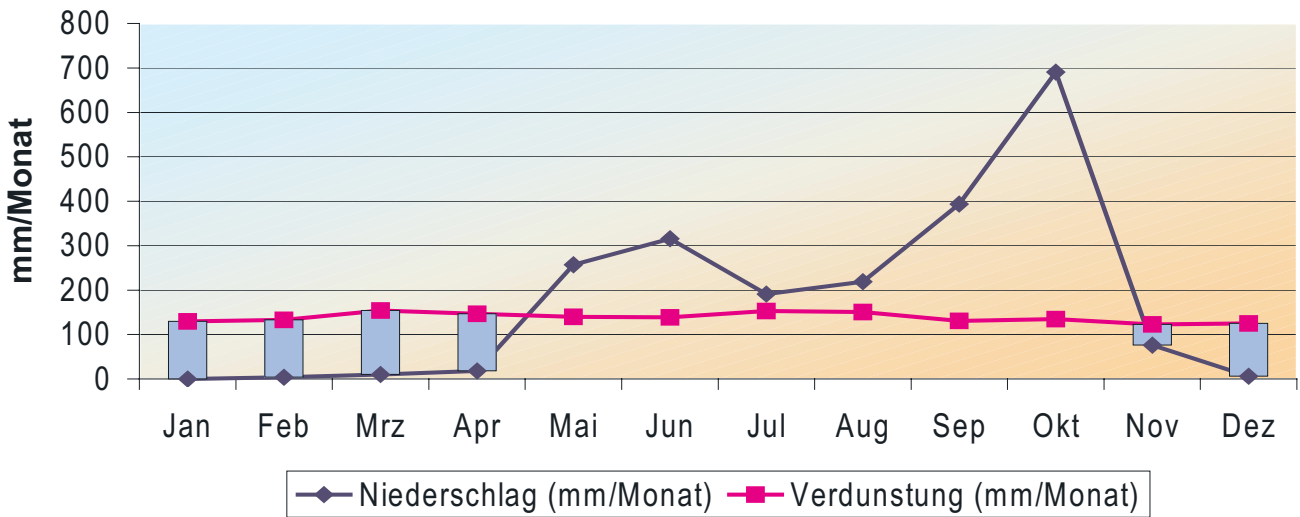
Mit Hilfe der Zahlen lässt sich auch bestimmen, wie viel Wasser auf eine bestimmte Fläche gebracht werden muss. Der Monat März ist im Raum Chinandega der Monat mit dem höchsten Wasserbedarf. 144 mm Verdunstung im März bedeutet, dass pro Tag 4,65 mm durch künstliche Bewässerung kompensiert werden müssen. Auf eine Fläche von 1 ha ($100\text{m} \times 100\text{m} = 10000\text{m}^2$) müssen folglich 46,5 m³ Wasser gepumpt werden, um den Verlust auszugleichen. Das ist die Höchstmenge, die von einem Pumpsystem bereitgestellt werden muss. Der Monat mit dem größten Kompensationsbedarf bestimmt letztlich die erforderliche Leistungsfähigkeit des Pumpsystems für eine gegebene Landfläche, die bewässert werden soll.

² Die Verdunstung aus dem Boden nennt man *Evaporation*, die der Pflanze *Transpiration*. Die Summe aus Evaporation und Transpiration ist die sogenannte *Evapotranspiration*. Neben der Evapotranspiration verdunstet aber auch Wasser über *Interzeption* (direkte Verdunstung von der Vegetationsoberfläche). Es wäre wichtig, zwischen aktueller Evapotranspiration (ET_a) und potentieller Evapotranspiration (ET_p) zu unterscheiden. Die ET_a beschreibt die Evapotranspiration bei aktuellem Wasserangebot und aktueller Vegetation, die ET_p beschreibt die Evapotranspiration bei optimalem Wasserangebot und genau definierter Vegetation (kurz geschnittenes Gras). Für die Bewässerung ist also die ET_a entscheidend, da je nach Kulturart eine andere Evapotranspiration zu erwarten ist. Wir sind derzeit nur in der Lage, für Nicaragua die ET_p darzustellen.

³ Unsere Zahlen stützen sich auf Angaben der FAO aus dem Jahr 1988; diese Zahlen sind relativ alt und spiegeln u.U. nicht unbedingt die Wirklichkeit wieder. Wir haben in den letzten Jahren die Pazifikküste Nicaraguas wiederholt im Mai besucht, in keinem Jahr hatte die Regenzeit bereits im Mai begonnen wie es die Grafik sowohl für Chinandega als auch für Managua vermuten lässt. Wissenschaftler und Bauern stellen bereits seit einigen Jahren eine dramatische Verkürzung der Regenzeit fest, in manchen Jahren von sechs auf drei Monate (s. auch die Grafik S. 8).

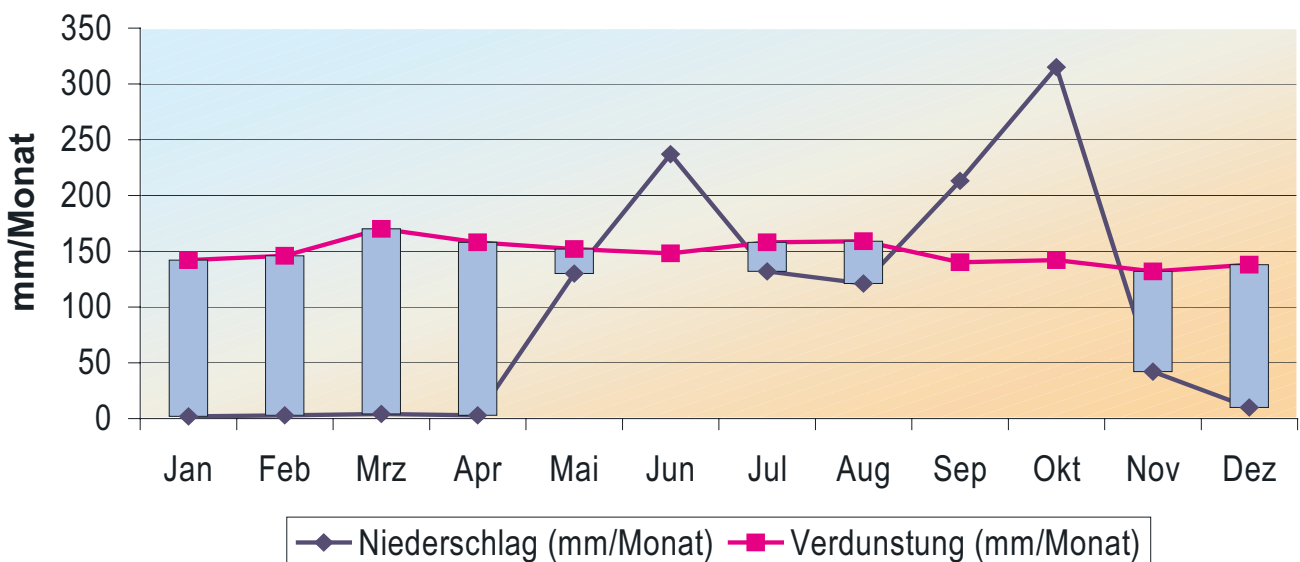
⁴ Uns stehen nur Daten der Standorte Chinandega und Managua zur Verfügung, Leon liegt auf der Linie Chinandega – Managua, etwa 30 km südöstlich von Chinandega und 60 km nordwestlich von Managua. Die doch erheblichen Unterschiede in den Niederschlagsraten zwischen Chinandega und Managua lassen vermuten, dass auch das Klima Leons Besonderheiten gegenüber den beiden anderen Städten aufweist. **Sowohl die geographische Ungenauigkeit als auch die mangelnde Aktualität unserer Daten verweisen auf die Notwendigkeit, neuere und spezifische Daten für den Standort Leon zu erheben.**

Bewässerungsbedarf Raum Chinandega/Nicaragua



	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe
Niederschlag (mm/Monat)	0	4	10	18	257	316	191	219	394	691	76	6	2182
Verdunstung (mm/Monat)	130	133	154	147	140	139	153	151	131	135	123	125	1661
Differenz	-130	-129	-144	-129	117	177	38	68	263	556	-47	-119	521

Bewässerungsbedarf Raum Managua/Nicaragua



	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe
Niederschlag (mm/Monat)	2	3	4	3	130	237	132	121	213	315	42	10	1212
Verdunstung (mm/Monat)	142	146	170	158	152	148	158	159	140	142	132	138	1785
Differenz	-140	-143	-166	-155	-22	89	-26	-38	73	173	-90	-128	-573

Pumpen im Test

- Untersuchungsprotokoll für die Lorentz-Pumpe EtaPump HR-14 -

Um das direkte Zusammenspiel zwischen Pumpaggregat und Tropfbewässerungssystem kennen zu lernen, haben wir diverse Pumpen untersucht. Zu diesem Zweck stand uns ein Brunnen und ein Garten auf dem Firmengelände des Ingenieursunternehmens SET Wedel⁵ zur Verfügung. Am Beispiel der Lorentz-Pumpe EtaPump HR-14⁶ stellen wir unsere Versuchsanordnung und Versuchsergebnisse vor.

Der Wasserspiegel des Brunnens befindet sich in 2m Tiefe. Die Energieversorgung wird über ein Netzgerät (max: 26 Volt) sichergestellt – da die Sonneneinstrahlung im Januar (bedeckter Himmel) während der Untersuchung nicht ausreicht. Die Pumpe arbeitet über eine Messstrecke direkt auf das Tropfbewässerungssystem (T-Tape). Über die Messstrecke werden der Druck am Pumpenausgang und die Durchflussmenge gemessen, gleichzeitig werden am Netzgerät die Spannung und die Stromstärke gemessen. Wir erfassen die Spannung U, die Stromstärke I und die Leistung P, um Hinweise auf den optimalen Betriebspunkt der Pumpe zu gewinnen. In dem Versuch wird die Anzahl der Tropfstellen variiert, indem die einzelnen Stränge der Tropfbewässerung nacheinander geöffnet werden.

Test Lorentz-Pumpe HR-14 und T-Tape

		Zwei Stränge (53 m) geöffnet, 176 Tropfstellen	Drei Stränge (79,5 m) geöffnet, 265 Tropfstellen	Vier Stränge (102 m) geöffnet, 340 Tropfstellen	offenes System
Anzahl Tropfstellen	88	176	265	340	
Spannung (U)	24,3	23,4	22,5	23,1	26,7
Stromstärke (I)	7	5,32	4,06	3,71	1,62
Leistung (P)	170,1	124,5	91,4	85,7	43,3
Volumenstrom (l/min)	4	6	8	9,5	17,5
Druck (bar)	4	2,9	2	1,75	0,9
Tropfrate (Tropfen/min; 43 Tropfen = 10 ml)	193	147	129	120	
Wassermenge pro Tropfstelle [l/min]	0,045	0,034	0,030	0,028	
Wassermenge pro Tropfstelle [l/h]	2,727	2,045	1,811	1,676	
Systemwirkungsgrad	0,157	0,233	0,292	0,323	0,607

⁵ Vergl.: <http://www.setwedel.de/>

⁶ Vergl.: http://www.lorentzpumps.com/de.etapump_hr.htm

Die Firma **BERNT LORENTZ** GmbH & Co. KG in 24558 Henstedt-Ulzburg hat uns während unserer Vorbereitung optimal unterstützt, Pumpen und Messtechnik hat sie kostenlos zur Verfügung gestellt, die Ingenieure waren bei Bedarf jederzeit mit Rat und Tat zur Stelle.

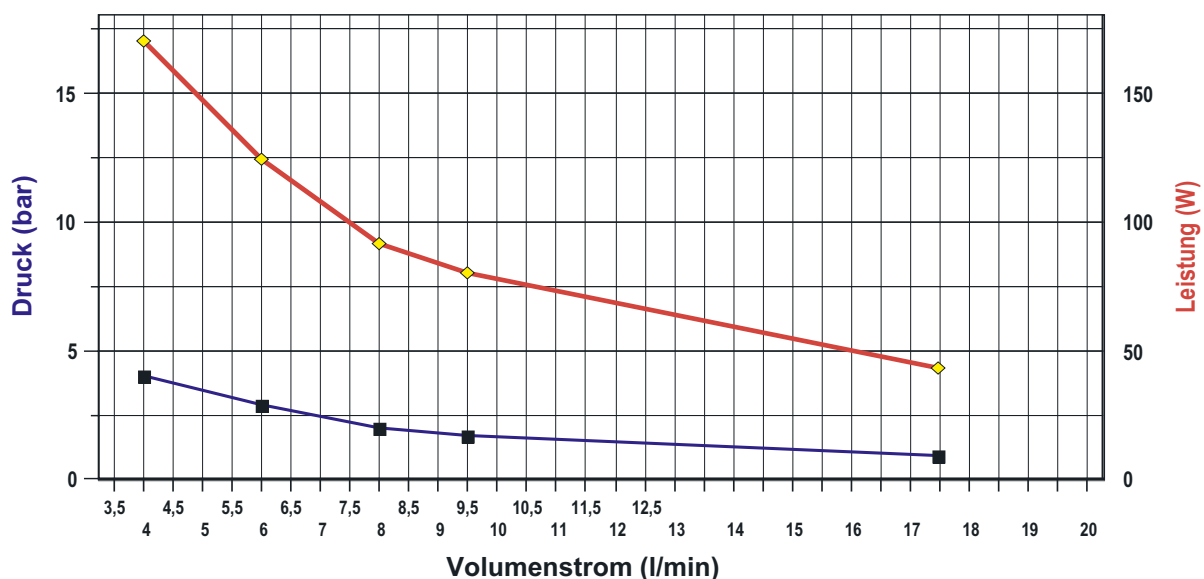
Versuchsergebnisse:

- Volumenstrom und Drehzahl der Pumpe hängen linear voneinander ab: Je höher die Drehzahl, desto größer der Volumenstrom.
- Je höher der Druck, desto größer die Stromaufnahme des Pumpenmotors. I beeinflusst P bei konstantem U unmittelbar ($P = U \cdot I$), höhere Leistungsaufnahme bedeutet daher nicht unmittelbar, dass der Volumenstrom steigt.
- Volumenstrom und Tropfrate hängen unmittelbar voneinander ab.
- Mit fallendem Druck nimmt der Volumenstrom zu.
- Gleichzeitig sinkt die Leistungsaufnahme mit der Zunahme des Volumenstroms.
- Den besten Wirkungsgrad (0,607) erreicht das System bei einem „offenem System“, d.h., das Wasser verlässt die Hauptleitung, ohne in die Tropfbewässerungsschläuche eingeleitet zu werden, es strömt fast ungehindert ins Freie, nur die Drosselung hält einen Druck von 0,9 bar aufrecht. Bei dieser Konstellation nimmt die Pumpe lediglich eine Leistung von 43,3 Watt auf. Mit dieser Leistung werden 17,5 Liter pro Minute (etwa 1 m^3 pro h) gefördert⁷, bei einem Druck von 0,9 bar. Nach Angaben von T-Tape reicht jedoch ein Druck von 0,5 bar, um das Tropfbewässerungssystem anzusteuern.
- Ziel bei der Auslegung von Tröpfchenbewässerungssystemen sollte also sein: Volumenstrom sowie Förderdruck, abhängig vom Schlauchsystem, sollten bestmöglich an den optimalen Betriebspunkt des verwendeten Pumpsystems angepasst werden. Im vorliegenden Fall hätte eine Vergrößerung des Schlauchsystems (Gegendruck 0,9 bar) zu einer insgesamt größeren Fördermenge bei geringerer Leistungsaufnahme (opt. Wirkungsgrad) geführt, ließ sich jedoch mit dem zur Verfügung stehenden Material nicht realisieren.



EtaPump HR-14

Druck und Leistung als Funktion vom Volumenstrom



⁷ Nach Angaben der Firma Lorentz ist die Pumpe HR-14 für eine Leistung bis zu 900 Watt ausgelegt. Die maximale Fördermenge beträgt $2,4 \text{ m}^3$ pro Stunde.

Photovoltaik versus Diesel

- Ökologische Bilanz -

Der Betrieb eines Benzin- oder Diesellaggregats setzt durch die Verbrennung fossiler Treibstoffe beständig CO₂ frei, ein Solargenerator arbeitet emissionsfrei. Insofern ist ein photovoltaisch gestütztes Pumpsystem einem diesel- oder benzingetriebenen ökologisch mit Sicherheit überlegen. Ein kleines Pumpsystem, das die direkte Sonneneinstrahlung zur elektrischen Energiegewinnung nutzt, vermeidet die Emission von rund 3,1 t CO₂ pro Jahr, die bei dem Betrieb eines vergleichbaren Diesellaggregats entstünden. Folgende Überlegungen zeigen das:

- Die solare Einstrahlmenge an der Westküste Nicaraguas beträgt pro Jahr im Durchschnitt 1750 kWh/m² auf horizontaler Fläche.
- Die Energieerzeugung eines 0,5 kW-Solargenerators beträgt bei einer 15°-Anstellung pro Jahr 864 kWh. Diese Energie steht dem Elektromotor komplett zur Verfügung.
- Nach Betriebsangaben von Honda⁸ beträgt die Generatorleistung eines Stromerzeugers maximal 65% der Motorleistung. Bei einer Motorleistung von 1kW steht also maximal 0,65 kW Generatorleistung zur Verfügung. In einer Stunde erzielt dieses Benzin- oder Diesellaggregat also 0,65 kWh, um dieselbe Energiemenge wie der zum Vergleich herangezogene Solargenerator - nämlich 864 kWh - zu erzeugen, muss es 1329 h laufen (0,65 kW * 1329h = 864 kWh).
- Das Motoraggregat verbraucht dabei 1329 l Benzin (etwa 1 Liter pro h nach Honda).
- Die Verbrennung von 1 Liter Benzin bzw. Diesel setzt 2,34 Kg CO₂ frei.
- **Pro Jahr werden folglich durch die solargestützten Feldbewässerungspumpe 3110 Kg CO₂ (= 3,1 t CO₂) 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. 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 4000 m³ Wasser aus 30 m Tiefe pumpen.⁹ 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 spezifischen Wasserförderkosten. Diese lassen sich in US \$/m⁴, in €/m⁴ oder in Cordoba/m⁴ ausdrücken. Die Einheit **m⁴** gewinnt man durch Multiplikation der Fördermenge (m³) mit der Förderhöhe (m)¹⁰. Diese Einheit nennen wir das *hydraulische Energieäquivalent*. Das hydraulische Energieäquivalent des Systems in unserem Beispiel (0,5 kW-Solargenerator) beträgt 4000 m³ * 30 m = 120000 m⁴. Die Einheit **m⁴** lässt einen Kostenvergleich von Pumpsystemen mit unterschiedlicher Förderhöhe zu.

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. dieselgestütztes 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 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

⁸ http://www.honda.de/specials/pedetails/031029_S8-9.html

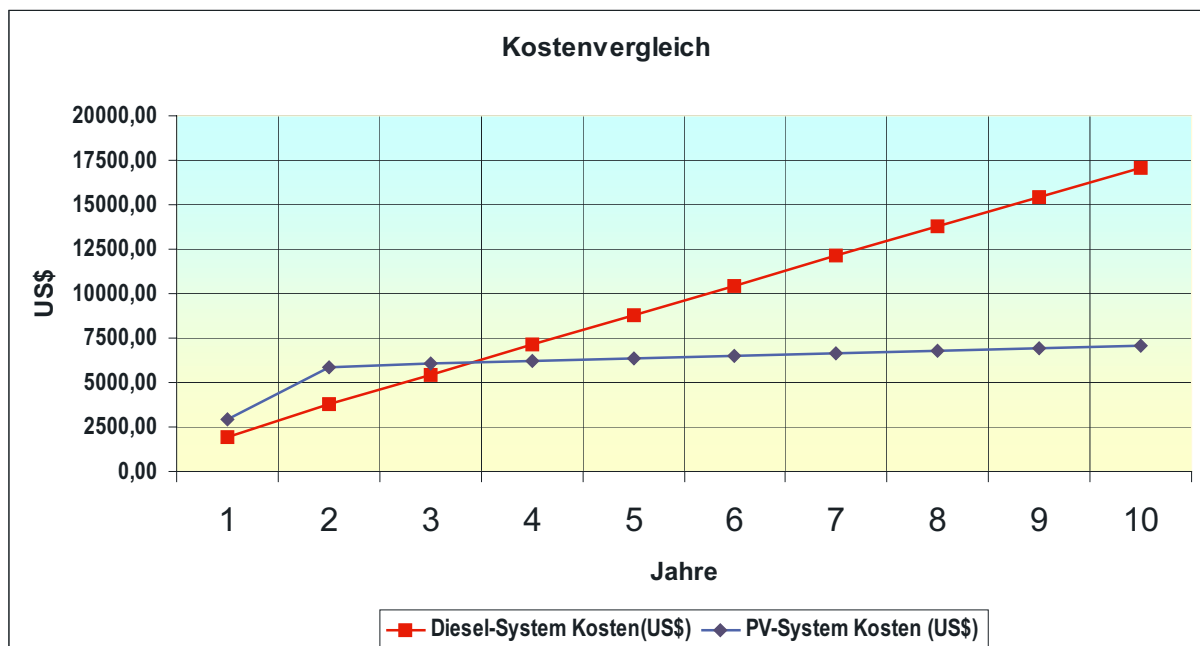
⁹ Ermittelt mit Hilfe des Pumpenauslegungsprogramms WinCAPS von der Firma Grundfos.

¹⁰ 1m⁴ 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 m³ Wasser hat die Gewichtskraft von 10000 N, 1m⁴ entspricht daher 10000 Nm.

Investitionskosten müssen in einen gleichmäßigen Zahlungsstrom über die Lebensdauer der einzelnen Komponenten verteilt werden. Um die tatsächlichen Kosten für die Pumpsysteme 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.

	Photovoltaisches System	Motorsystem ¹¹
Investitionskosten Generator	4000,00 US\$	500,00 US\$
Investitionskosten Pumpe	900,00 US\$	400,00 US\$
Zinssatz (Kreditlaufzeit: 2 a)	14%	14%
Lohnkosten/a	100,00 US\$	100,00 US\$
Betriebsstoffe/a	0,00 US\$	950,00 US\$
Ersatzteile/a	20,00 US\$	80,00 US\$
Service und Reparatur/a	30,00 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 Diesel- bzw. Benzinsystemen verfügen.



In der Tat sind die Investitionskosten bei einem photovoltaischen System in den ersten Jahren höher als bei einem Dieselaggregat. Doch schon **in der ersten Hälfte des 3. Betriebsjahres schneiden sich die beiden Kostenkurven**, das PV-System erweist sich auf die Dauer als das kostengünstigere. Das ist den immens hohen Preisen der Betriebsstoffe zu verdanken¹², die in den kommenden Jahren mit Sicherheit steigen werden. Entsprechend günstiger wird der Vergleich zugunsten des PV-Systems ausfallen. Die spezifischen Wasserförderkosten (US \$/m⁴) bei einem Motoraggregat betragen in den ersten beiden Betriebsjahren 0,018 US\$ pro m⁴ und bleiben dann in den folgenden Jahren konstant bei 0,016 US\$ pro m⁴, bei einem PV-System betragen sie in den ersten drei Betriebsjahren 0,028 US\$ pro m⁴ um dann – nachdem die Anlage abbezahlt ist – radikal auf 0,001 US\$ pro m⁴ zu fallen und dort für den Rest der Lebensdauer der Anlage zu bleiben. Wenn es also gelingt, die relativ hohen Kosten des photovoltaischen Systems in den beiden ersten Betriebsjahren zu tragen, arbeitet die Anlage in den folgenden Jahren fast kostenfrei.

¹¹ Wir nehmen für das Motorsystem eine Lebenszeit von zwei Jahren an, dann hat es nach unserem Beispiel bereits 2658 Betriebsstunden hinter sich.

¹² Mitte des Jahres 2004 kostete der Liter Normalbenzin in Nicaragua 0,64 US\$, Diesel war nur geringfügig billiger (0,60 US\$)

Zwei Wochen voller Abenteuer

von Hannah Kleppin und Sophie Berg



Hannah Kleppin



Sophie Berg

Wir, der Wahlkurs Physik Technik des Jahrgangs 11 der Gesamtschule Blankenese, sind im Mai '04 für zwei Wochen nach León/ Nicaragua geflogen. Unser Vorhaben war, zwei solarbetriebene Wasser-pumpen, in Verbindung mit einem wassersparenden Feldbewässerungs-system und in Zusammenarbeit mit Studenten der Universität León und Schülern der Tecnico La Salle in dem abgechiedenem Bergdorf San Pedro zu installieren. Gleich an unserem ersten Tag in Leon begannen wir mit unseren Arbeitsvorbereitungen, unter anderem inspizierten wir die Projektarbeit des vorigen Jahrgangs. Am folgenden Tag bereiteten wir uns dann auf den Aufenthalt in San Pedro vor, indem wir uns in der Leóner Markthalle mit Lebensmitteln eindeckten, und die Wasservorräte der umliegenden Supermärkte aufkauften. Ungläubig schauten uns die Leóner an, als wir säckeweise Melonen und Ananas davon schleppten. Noch am selben Nachmittag fuhren wir, zunächst in halber Besetzung, ins Dorf. Dort wurden wir skeptisch begrüßt und uns wurde deutlich, dass die Bewohner des Dorfes noch nicht vollständig überzeugt von unserem Projekt waren.

Nach einer schlaflosen Nacht, angefüllt mit unbekanntem Geräuschen, die den Lärm einer Großstadt übertrafen, begannen wir um kurz nach fünf Uhr morgens unsere Arbeit. Das Gießen des Fundamentes für die Solarmodule war sehr anstrengend. Die Zeit verging für uns wie im Schnecken-tempo; am Nachmittag hatten wir nur noch wenig zu essen, die Hitze lähmte unsere Körper und wir wurden auf Schritt und Tritt von mindestens 20 Bewohnern des Dorfes unter ständiger Beobachtung gehalten. Ein neues und ungewohntes Gefühl für uns. Die übermäßige Sonne schien uns etwas zu Kopf gestiegen zu sein, denn wir begannen bei 40°C im Schatten fröhliche deutsche Weihnachtslieder vorzusingen.

Nachdem der Rest der Gruppe am Nachmittag eingetroffen war, konnten wir mit der Arbeit fortfahren. Die Pumpe mit Gestänge wurde in den Brunnen abgelassen, die Schläuche auf dem Feld ausgerollt und die Solarmodule verdrahtet. Zum offiziellen Einweihungsfest versammelte sich das ganze Dorf, begleitet von Hühnern und Rindern unter einem großem, alten Mangobaum. Trotz mancher Kommunikationsschwierigkeiten fand zum Schluss jeder eine Art der Verständigung und so sind wir diesen Menschen, welche fernab von Strom und Technologie leben und ein ganz anderes Leben haben als wir, ein Stück näher gekommen, auch im Bereich der Menschlichkeit und des gegenseitigen Respekts.

Nicaragua hat viele landschaftliche und kulturelle Reize zu bieten - wir sollten sie in den kommenden vier Tagen etwas näher kennen lernen. Nach einem entspannenden Strandtag am Pazifik fuhren wir in die Mangrovensümpfe und bestiegen den Cierro Negro, den aktivsten Vulkan des Landes.

Gegen Ende unseres Aufenthaltes in Nicaragua zeigte uns die Direktorin der technischen Schule Tecnico La Salle voller Stolz ihre fortschrittliche Ausbildungsstätte, in der Jungen und Mädchen hervorragende Ausbildungen genießen. Den meisten dieser Schüler ist nach dem Schulabschluss ein Arbeitsplatz sicher - trotz einer Arbeitslosenquote von 85%.

Schon bald war unser letzter Tag in Nicaragua gekommen. Mit gemisch-

K O M M E N T A R

ten Gefühlen über ein Land, in dem die Kraft der Menschen immer wieder für einen neuen Aufbruch sorgt und die Armut der ständige Begleiter aller ist, sahen wir unserer Abreise entgegen. Einerseits freuten wir uns auf unser gewohntes, bequemes Leben in Deutschland, doch andererseits war auch vielen klar, dass wir schon bald die Freundlichkeit, Unbeschwertheit und das lateinamerikanische Temperament der Nicaraguaner vermissen würden.

Solarwerkstatt in San Pedro

von Prof. Dr. Heinz Baisch,

Vorsitzender des Hamburger Klimaschutz-Fonds e.V.

Zwei Bilder aus Nicaragua haben sich mir besonders eingeprägt. Das eine war in Leon, in unserem Restaurant "Fuego con Miguel" als ich mit Clemens ankam und wir die Gruppe "San Pedro" an einem Tisch vorfanden. Trotz der etwas schummrigen Beleuchtung war dies wie ein Symbol für Teamarbeit. Alle wirkten ernst und konzentriert und wahrscheinlich wurde über den bisherigen Projektlauf gesprochen. Wenn wir auch später über andere Dinge geredet haben, zum Beispiel, was für Berufsziele einige haben und andere noch nicht, blieb dieser lange Tisch für mich typisch für das Projekt-Team.

Das zweite Bild stammt aus der praktischen Arbeit in San Pedro. Am ersten Vormittag mussten gleichzeitig die PV-Module auf ein Gestell gesetzt, die Pumpe mit den Rohren in den Brunnen abgesenkt und auf dem Feld die Schläuche für die Tropfbewässerung verlegt werden. Das war fast wie auf einem Bild von Breughel, an allen drei Stellen wurde fleißig und gemeinsam gemessen, geschraubt und befestigt. Und das Ganze unter einer heißen Sonne, die senkrecht von oben herunter brannte. Leider hat sie sich immer wieder hinter Wolken versteckt als alles fertig war und sie eigentlich die Pumpe treiben sollte. Mitten unter den Hamburger Schülern die drei Studenten aus Leon, konzentriert auf die Arbeit und lernbegierig. Und natürlich drum herum die vielen Dorfkinder, die sich nichts entgehen lassen wollten. Um die Idylle komplett zu machen, kamen auch die Hühner, Schweine, Rinder und Pferde, um nach dem Fortgang der Arbeiten zu sehen.

Das dritte, das ich besonders erinnere, ist die schweißtreibende Arbeit auf der Rampe von Benito, wo einige aus der Gruppe das Gestell für die zusätzlichen zwei Module vorbereitet haben. Ich fand es schon am Abend bei etwas über 30° sehr heiß, wie muss es über Mittag bei über 40° gewesen sein. Aber alles wurde zurecht gesägt und vorgebohrt, so dass es am nächsten Tag angesetzt werden konnte. Das war eine Lehrstunde in Improvisation, die in Nicaragua zum täglichen Leben gehört. Alles in allem war dies ein gutes und erfolgreiches Projekt, bei dem sich alle nach ihren Kräften eingesetzt haben und nach der Arbeit auch noch ein bisschen Spaß hatten. Und natürlich haben wir alle viel gelernt, über uns selbst und über das Leben in einem anderen Land.



Prof. Dr. Heinz Baisch

**Das Nord-Süd-Projekt
„Solargestützte Feldbewässerung
in Nicaragua“
wurde unterstützt von:**

Deutsche Physikalische
Gesellschaft e.V.
www.dpg-physik.de



Das Nord-Süd-Projekt „Solargestützte Feldbewässerung in Nicaragua“

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.



Hamburger Klimaschutz-Fonds e.V.
www.klimaschutz.com/



Norddeutsche Stiftung für
Umwelt und Entwicklung
www.nue-stiftung.de



Solarwerkstatt
Gesamtschule Blankenese e.V.
www.gsbl-hh.de/Schwerpunkte/Solarenergie.php