

Sponsored by



IPSWAT - International Postgraduate Studies in Water Technologies

Supported by



German Federal Ministry for
Education and Research



Institute for Technology and Resources Management in the
Tropics and Subtropics at Cologne University of Applied Sciences

Development of Sustainable Energy and Water Supply Systems for Off-Grid Remote Communities in Arid Regions

Case Study: New Kalabsha Village in Lake Nasser Region, Egypt

**By
Louy Qoaider**

**Dissertation
presented to the
Faculty of Mechanical and Marine Engineering
at the University of Rostock**

**In Candidacy for the Degree of
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)**

Supervisors

Prof. Dr. –Ing. habil. D. Steinbrecht

Prof. Dr. –Ing. W. Wiesner

Dr. –Ing. A. Nassour

Cologne, 2009

Submission on 15.12.2008

Acceptance on 08.07.2009

Defence on 14.08.2009

Berichte aus der Energietechnik

Louy Qoaidar

**Development of Sustainable Energy and
Water Supply Systems for Off-Grid
Remote Communities in Arid Regions**

Case Study: New Kalabsha Village in Lake Nasser Region, Egypt

Shaker Verlag
Aachen 2009

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Zugl.: Rostock, Univ., Diss., 2009

Copyright Shaker Verlag 2009

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8566-1

ISSN 0945-0726

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen

Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9

Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

Acknowledgment

I would like to thank all organisations and individuals, who assisted me to conduct this work and therefore contributed to its success. My special appreciation is given to the Institute of Technologies Resources Management in the Tropics and Subtropics (ITT) at Cologne University of Applied Sciences (CUAS) and especially to its executive director Prof. Dr. Gaese for his unlimited support over the period of my doctoral thesis.

I am very thankful for Prof. Steinbrecht, Prof. Wiesner and Dr. Nassour, at the University of Rostock and Cologne University of Applied Sciences, for supervising my thesis and their support throughout the project period.

Sincere thanks are given to the staff of WFP/MALR project in Egypt and I am very grateful to its executive manager Dr. Suzan Kamel for her indefinite support to perform on-site researches and studies as well as for her personal commitment to helping people in the study region and to the success of my work.

I would like to thank IPSWaT scholarship program of the German Federal Ministry of Research and Technology for the financial support and the further education possibilities during my dissertation.

I am very grateful to the staff of the OWARA development research project for allowing me to actively work within its framework. Special thanks are given to Mr. Nabil Hasan the project's country coordinator in Egypt for his support throughout my work. I would like also to express my thanks to the staff and administration of the Lake Nasser Development Authority for the on-site assistance and cooperation.

I want to say thank you to all my friends who supported me. My heartfelt gratefulness is given to my family for its love and support and to my partner, who stands by me always in word and deed.

Abstract

This thesis has an interdisciplinary nature and deals with sustainable rural development in arid regions. The main focus of this work is the improvement of energy and water supply and use and the development of a sustainable energy supply system.

Absence of convenient energy supply and inefficient water supply and use were identified to be the core problems in off-grid rural regions. Whereas, absence of energy supply hinders the social and the economic development of any society, the inefficient supply and use of water is an unjustified waste of a precious commodity in the dry arid regions. The objectives of this work are to satisfy the energy and water needs by exploiting the local natural resources in sustainable manners, i.e. employing renewable energy resources instead of fossil fuels for power generation and developing adequate techniques for water use. Comparative analysis was employed as a tool for decision-making, e.g. for the selection of the energy supply system, the water transport technique and the energy system components. A new established village (New Kalabsha Village) in the Lake Nasser Region in Upper-Egypt, which reflects the rural situation in arid regions, was selected as case study.

The results of this thesis are summarised in the following paragraphs:

Water transport sector: Concepts to transport water for irrigation purposes have been developed based on ensuring the enhancement of energy savings and the reduction of water losses. Consequently, the option of transporting water through optimised open channels from surface water source to the acreage plots has been proved to be more adequate for the target region than transportation by pipes, due to energy and cost saving aspects. Accordingly, measures should be taken to reduce percolation and evaporation losses in the channels such as isolating their walls and bottoms and planting their edges with shading trees.

Irrigation sector: A combination of drip and flood irrigations was found to be the best possible option to irrigate each single plot in the target region resulting in optimal water/energy use efficiency and a high technical viability. Whereas, drip irrigation system would be installed for low density cultivated plots, flooding irrigation will be practiced to irrigate the crops crowded plots. Low pressure drip irrigation systems were introduced due to its simple application, the low energy requirements and the high irrigation efficiency. Additionally, the power needs to operate this system can be generated locally in each field by a small solar panel or manually. Furthermore, irrigation autonomy was introduced for each plot whereby water will be stored in each plot so that irrigation can be performed at any time independently from water supply time which is done according to a scheme.

Energy sector: an efficient energy conversion system was designed to satisfy the entire energy needs for village households and water pumping. This system is based solely on photovoltaic (PV) technology and should be supported by gensets backup for emergency operation. The total required capacity of the PV system, which can supply the entire energy demand along the year, was calculated to be 2,184 kWp; this is equivalent to an array area of 17,300 square metres. High energy demand and high temperatures in summer resulted in requiring additional capacity of the PV system a led to an energy surplus during the months of moderate temperatures. This surplus could be used to develop some economic activities in the village, e.g. small scale agriculture based industry and workshops.

In addition to proving the economic competitiveness of the PV system compared to conventional rural energy systems in the arid regions, this work proved that the designed PV energy system has excellent energy yield despite of very high temperatures; the electricity yield per installed capacity of PV per year is about $1,862 \text{ kWh}\cdot\text{kW}_p^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$, which is considerably high and, hence, cost effective. The proposed energy supply system can provide electricity for $0.13 \text{ €}\cdot\text{kWh}^{-1}$, which is only 0.03 € more expensive than electricity generated from an equivalent diesel generator with a subsidised fuel price of $0.20 \text{ €}\cdot\text{l}^{-1}$. Considering the predicted deregulation of subsidies on diesel prices in the nearer future, the PV system will be more competitive than the diesel mini-grid starting from a fuel price of $0.28 \text{ €}\cdot\text{l}^{-1}$. Knowing from the results that solar electricity can be generated in large scales at competitive costs in these regions, the investment in this field by the private sector will become a profitable option as the fuel costs reach the breakeven point. Additionally, the generated clean electricity could be used in other regions for other applications, e.g. industry, rather than only for water pumping.

Furthermore, this thesis addresses the planning, the realisation, the implementation, and the operation and maintenance aspects of the energy system. An analysis of potential stakeholders of the energy project was performed and resulted in producing a matrix of representative of organisations and individual experts including their interests. This matrix establishes the institutional framework to regulate the relationships and interactions between the various actors in the project. Additionally, options to finance the energy project and to develop correlated pricing schemes are introduced in the work.

The concepts developed in this work contribute to the sustainable development of the target village in the ecological, economic and social dimensions due to the following reasons:

1. The employment of clean energy technologies assures the protection of the environment;
2. The convenient and continuous energy supply has a vital role in improving the micro economy of the village because of developing the educational, the industrial and the commercial sectors and boosting the women participation in the society;
3. The village of New Kalabsha benefits from the results of this work as they present a comprehensive plan to provide basic services and manage their use by designing the related institutional framework,
4. The results of this work for the village of New Kalabsha are applicable in other similar off-grid isolated locations in the arid regions. However, factors and features of each location should be investigated individually for the accommodation.

In conclusion, the New Kalabsha developed energy project will have –in case it is realised– decisive results, which will enhance the introduction of renewable energy technologies in Egypt and other similar regions around the world. For these regions, the success in New Kalabsha will open the door for wide employment of PV systems in similar communities to satisfy their energy needs and will, consequently, contribute considerably to the improvement of their livelihood. The success of the renewable energy based mini-grid in New Kalabsha would spread the acceptance and prove the effectiveness of clean energy technologies. This in turn could be an initiator for the integration of such renewable energy based mini-grids into the regional and national electricity grids.

Zusammenfassung

Diese Doktorarbeit benutzt einen interdisziplinären Ansatz, dessen Gegenstand die nachhaltige Entwicklung des ländlichen Raumes in ariden Regionen ist. Sie hat zum Hauptziel, die Wasser- und Energieversorgung und die deren Nutzung zu verbessern, und ein nachhaltiges Energieversorgungssystem zu entwickeln.

Das Nichtvorhandensein zweckdienlicher Energieversorgung, der ineffiziente Wasserverbrauch und die nicht adäquate Wasserversorgung wurden als die Kernprobleme in netzisierten ländlichen ariden Regionen identifiziert. Während der Mangel zweckgemäßer Energieversorgung die soziale und wirtschaftliche Entwicklung einer Gesellschaft behindert, ist die ineffiziente Versorgung und Nutzung von Wasser eine ungerechtfertigte Verschwendung des kostbaren Rohstoffes in diesen trockenen Regionen. Die Ziele dieser Forschung sind die Deckung des Energie- und Wasserbedarfs durch die nachhaltige Nutzung der lokalen natürlichen Ressourcen, d.h. Einsatz erneuerbarer Energieressourcen anstelle von fossilen Brennstoffen für die Energieerzeugung, und die Entwicklung von angemessenen Techniken für die Wassernutzung. Die Vergleichsanalyse wurde als Instrument für die Entscheidungsfindung eingesetzt, z.B. für die Auswahl der Energieversorgungstechnologie, der Wassertransporttechnik und der Energiesystemkomponenten. Das neugegründete Dorf „New Kalabsha Village“ in der Nasserstauseeregion in Oberägypten wurde als Fallstudie genommen, da es die typische Situation in ländlichen ariden Regionen widerspiegelt.

Die Ergebnisse dieser Doktorarbeit sind in den folgenden Abschnitten zusammengefaßt:

Wassertransportsektor: Basierend auf der Optimierung des Energieverbrauches und der Verringerung der Wasserverluste, wurden Konzepte zum Transport von Wasser für die Bewässerung der ländwirtschaftlichen Flächen entwickelt. Folglich erwies sich die Option, den Wassertransport durch optimierte offene Kanäle zu realisieren, als geeigneter für die Zielregion als durch Rohrleitungen; Grund dafür sind die erzielten Energie- und Kosteneinsparungen. Demgemäß sind Maßnahmen nötig, um Wasserverluste durch Versickerung und Verdunstung in den Kanälen zu reduzieren, z.B. durch Isolierung der Kanalwände und -böden und das Verschatten der Kanalränder durch Bepflanzung.

Bewässerungssektor: Hier wurde festgestellt, daß eine Kombination von Tröpfchen- und Rieselbewässerungen die bestmögliche Option für die Bewässerung jeder einzelnen Parzelle darstellt, da sie die optimale Wasser/Energienutzungseffizienz und eine hohe technische Rentabilität hat. Tröpfchenbewässerung wird für die wenig dicht bepflanzten Parzellen vorgeschlagen, Rieselbewässerung für die dicht bepflanzten Flächen. Aufgrund der einfachen Anwendung, der geringen Stromverbrauch und der hohen Effizienz werden Niederdrucktröpfchen-Bewässerungssysteme für jede Parzelle empfohlen. Der Energiebedarf dieser Systeme soll lokal für die einzelnen Felder von einem kleinen Solarmodul oder manuell erzeugt werden. Durch die lokale Speicherung von Wasser auf den einzelnen Parzellen wird die Bewässerungsautonomie für jede Farm gesichert. So kann die Bewässerung der einzelnen Felder zu jeder Zeit unabhängig von der zentralen Wasserversorgungszeit garantiert werden.

Energiesektor: Ein effizientes Energie-Umwandlungssystem wurde entwickelt, um den gesamten Energiebedarf für die Haushalte des Dorfes und die Wasserpumpenstationen der ländwirtschaftlichen Flächen zu decken. Dieses System basiert ausschließlich auf der

Photovoltaik (PV) – Technologie. Für den Notbetrieb sollte der PV-Generator durch Backup-Aggregate unterstützt werden. Die erforderliche Kapazität der PV-Anlage, die den gesamten Energiebedarf in allen Jahrzeiten deckt, ist 2.184 kW_p; dies entspricht einer Solarmodulfläche von 17.300 Quadratmetern. Hohe Energienachfrage und hohe Temperaturen im Sommer führen zu einer zusätzlichen Kapazität des PV-Systems. Das wiederum führt zu einem Energieertragüberschuß in den Monaten mit mittleren Temperaturen. Dieser Überschuß könnte für die Entwicklung wirtschaftlicher Aktivitäten des Dorfes verwendet werden, z.B. die Etablierung von kleiner landwirtschaftlicher Industrie oder Betriebswerkstätten.

Neben dem Nachweis der wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit der PV-Anlage im Vergleich zu herkömmlichen Energieversorgungssystemen in ländlichen Gebieten in den ariden Regionen, hat diese Arbeit bewiesen, daß das entworfene PV-System trotz der sehr hohen Temperaturen über einen exzellenten Energieertrag verfügt: der Stromertrag pro installierter PV-Leistung pro Jahr beträgt rund 1.862 kWh·kWp⁻¹·a⁻¹. Das vorgeschlagene Energieversorgungssystem kann Strom für 0,13 €·kWh⁻¹ erzeugen, der damit nur 0,03 € teurer ist als Strom aus einem entsprechenden Dieselgenerator mit einem subventionierten Brennstoffpreis von 0,20 €·l⁻¹. In Anbetracht der vorhergesagten Deregulierung der Subventionen für Diesel in näherer Zukunft in Ägypten, wird die PV-Anlage ab einem Brennstoffpreis von 0,28 €·l⁻¹ noch wettbewerbsfähiger sein als der Dieselgenerator.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß Sonnenstrom in diesen Regionen in großen Maßstäben zu wettbewerbsfähigen Preisen erzeugt werden kann, und deshalb, die Investition in diesem Bereich durch den privaten Sektor profitabel wird, unter der Bedingung, daß Treibstoffkosten den kalkulierten Break-Even-Point erreichen. Des Weiteren könnte überschüssig generierter Strom in anderen Regionen für andere Anwendungen, z.B. Industrie, gebraucht werden.

Darüber hinaus befaßt sich diese Doktorarbeit mit der Planung, der Realisierung, der Implementierung des Energiesystems und mit Aspekten von Betrieb und Wartung. Eine Stakeholderanalyse des Energieprojektes wurde durchgeführt, mit dem Resultat einer Matrix der Organisationsvertreter, Experten, einschließlich ihrer Interessen. Diese Matrix bildet die Vorlage des institutionellen Rahmens zur Regelung von Beziehungen und Interaktionen zwischen den verschiedenen Akteuren des Projektes. Darüber hinaus werden Optionen zur Finanzierung des Energieprojektes dargelegt und ein korreliertes Energiepreismodell wurde in der Arbeit entwickelt.

Die in dieser Arbeit vorgeschlagenen Konzepte tragen zur nachhaltigen Entwicklung des Dorfes New Kalabsha bei. Dabei berücksichtigen sie die ökologische, wirtschaftliche und soziale Dimension der Nachhaltigkeit aus folgenden Gründen:

- 1) Die Anwendung von sauber Energietechnologien gewährleistet den Schutz der Umwelt;
- 2) Die gesicherte und kontinuierliche Energieversorgung spielt eine entscheidende Rolle bei der Verbesserung der Mikro-Wirtschaft des Dorfes, weil das zur Entwicklung des Ausbildungssektors, der Industrie und des Handels beiträgt; des Weiteren führt sie zur Stärkung der Frauenpartizipation in der Gesellschaft;
- 3) Die Ergebnisse dieser Doktorarbeit stellen einen integrierten Entwicklungsplan für die Grundversorgung des Dorfes New Kalabsha dar; außerdem werden Managementstrategien und ein institutioneller Rahmen vorgeschlagen;

- 4) Die erzielten Forschungsergebnisse von New Kalabsha sind für andere ähnliche netzisierte Standorte in ariden Regionen anwendbar. Allerdings sollten bei einer Übertragung immer lokale Faktoren und Merkmale untersucht und gegebenenfalls berücksichtigt werden.

Schlusfolgernd könnte das „New Kalabsha Energieprojekt“, im Falle einer Realisierung, entscheidenden Einfluß auf die Entwicklung und den Einsatz erneuerbarer Energien in Ägypten und anderen ähnlichen Regionen in der ganzen Welt haben. Für diese Regionen, würde der Erfolg in New Kalabsha Türen für die breite Anwendung von PV-Systemen in ähnlichen Gemeinden eröffnen und somit erheblich zur Verbesserung der Lebensbedingungen in diesen Regionen beitragen. Der Erfolg der PV-basierten Energieversorgung in New Kalabsha würde die Akzeptanz von erneuerbaren Energietechnologien in der Region erhöhen und könnte ein Initiator für die Integration solcher Mini-Grids in die regionalen und nationalen Stromnetze sein.

نبذة

ان رسالة الدكتوراه هذه ذات طبيعة متعددة المجالات لأنها تعالج قضايا مختلفة للتنمية المستدامة في المناطق الريفية المنعزلة في المناطق المدارية. ان هذه الرسالة تهدف عامة الى تحسين امدادات و استخدام المياه و الطاقة و تطوير نظام مناسب لتوليد الطاقة في هذه المناطق.

في هذا العمل تم التعريف بأن طرق امداد و استخدام كل من الطاقة و المياه بأنها أكبر المشاكل التي تعاني منها المناطق المدارية البعيدة و المعزولة عن شبكة الكهرباء الوطنية. حيث أن غياب امدادات الطاقة تعيق التنمية الاجتماعية والاقتصادية لأي مجتمع و استخدام نظام مائي غير فعال يؤدي الى اهدار المورد قيم في هذه المناطق و هو الماء.

ان هذا العمل يهدف بشكل أساسي لتغطية احتياجات هذه المجتمعات الريفية من المياه و الطاقة بواسطة الاستعانة بالموارد الطبيعية المتوفرة بطرق فعالة و صحيحة مثل استخدام مصادر الطاقة المتجددة عوضاً عن الوقود الأحفوري و من خلال تطوير تقنيات مناسبة لنقل و استهلاك المياه. لقد تم استخدام التحليل المقارن كأداة لاتخاذ القرارات في هذا العمل على سبيل المثال لاختيار تكنولوجيا توليد الكهرباء و تقنية نقل المياه و مكونات نظام الطاقة.

لقد تم اختيار قرية كلابشة الجديدة في منطقة بحيرة ناصر في الجنوب المصري و هي قرية مؤسسة حديثاً ضمن برنامج وطني لاستصلاح أراضي صحراوية لاجراء هذه الدراسة لأنها تعكس الوضع في المناطق الريفية المدارية. يمكن تلخيص نتائج هذه الأطروحة من خلال الفقرات التالية:

في حقل المياه: لقد تم تطوير خطط لنقل المياه على أساس ضمان تقليل استهلاك الكهرباء و تقليل نسبة فقدان المياه. على هذا الأساس تم اثبات أن نقل المياه بطريقة القنوات المفتوحة و لكن المحسنة هو أكثر نجاعة من نقلها بواسطة الأنابيب لسبب التوفير في احتياجات الطاقة و تكاليف تأسيس البنية التحتية المطلوبة. كشرط لنجاح هذه الخطط، يجب اتخاذ اجراءات لازمة لتقليل فقدان المياه من خلال التسرب و التخثر في القنوات بواسطة عزل حوائطها و قيعانها و كذلك بواسطة زرع نباتات مظلة على حوافها.

في حقل الري: لقد تم تبني أسلوب التنقيط و الغمر لري الأراضي في منطقة البحث لأنها من أفضل البدائل التي تحقق النسبة الأمثل لاستخدام الطاقة و المياه. سوف يتم استخدام الري بالتنقيط في المساحات المخصصة لزراعة المحاصيل التي تحتاج لمسافات بينية معينة بينها و طريقة الغمر في المساحات ذات المحاصيل المكثفة. لقد تم اختيار نظام التنقيط ذو الضغط المنخفض لهذه المهمة لما يتصف به هذا النظام من سهولة الاستعمال و لانخفاض احتياجاته من الطاقة و بسبب كفاءته الجيدة. يمكن امداد هذا النظام بالطاقة من خلال نظام ألواح شمسية مستقل لكل حقل أو حتى يدويا. فضلا على ذلك، فإنه تم تطوير نظام ري مستقل لكل حقل من خلال تخزين المياه في خزان أرضي بحيث أنه سيتم ضخه لاحقا لخزان علوي على ارتفاع مترين للقيام بعملية الري بشكل مستقل عن أوقات امداد المياه من المصدر و باستقلال تام عن المزارع المجاورة.

في حقل الطاقة: لقد تم تصميم نظام مناسب لتوليد الطاقة الكهربائية و قادر على سد احتياجات القرية كاملة على مدار السنة. هذا النظام مصمم على أساس تقنية الفوتوفولتيك (الخلايا الشمسية) و مسند بمولد ديزل لحالات العطل. تم حساب الحجم الأفضل لهذا النظام ليكون 2184 كيلوات و بمساحة صافية تقدر بحوالي 17300 متر مربع. ينتج عن هذا النظام فائض معقول من الطاقة و خاصة خلال الأشهر ذات درجات الحرارة المعتدلة في السنة و يمكن استهلاكه لتشغيل بعض المرافق التي تنشط الاقتصاد في القرية مثل ورش الصناعات –الزراعية- الصغيرة.

لقد تم اثبات النجاعة الاقتصادية لنظام الطاقة المقترح وذلك من خلال مقارنته مع نظام تقليدي له نفس السعة التوليدية. لقد تم استخلاص أن توليد الكهرباء بواسطة الأنظمة الشمسية هي طريقة مناسبة للمناطق المدارية وبالرغم من درجات الحرارة المرتفعة. ان انتاجية وحدة حجم (كيلووات واحد) من هذا النظام بالسنة يساوي 1862 كيلووات ساعة تقريبا وهذا يعتبر حصاد عالي للنظام و بالتالي اقتصادي حيث أن سعر وحدة الطاقة المولدة يساوي 0,13 يورو وذلك أعلى بمبلغ مقداره 0,03 يورو من وحدة الكهرباء المولدة من مولدات الديزل التي تستهلك وقود مدعم بسعر 0,20 يورو لليتر. علما أن الدعم الحكومي سوف يزال تدريجيا عن الوقود فان نظام الطاقة الشمسية سوف يصبح أكثر اقتصادية ابتداء من سعر 0,28 يورو ليتر الديزل الواحد. طبقا لذلك يمكن الاستخلاص بأنها مسألة وقت فقط لمشاركة القطاع الخاص في الاستثمار المربح في قطاع تقنيات الخلايا الشمسية لتوليد الكهرباء على مستوى واسع واقتصادي في المناطق المشابهة لكلايشة.

اضافة للقضايا التقنية فان هذه الأطروحة تعالج قضايا تخطيط و تنفيذ و تشغيل و صيانة نظام الطاقة المقترح. بحيث أنه تم اجراء تحليل للمشاركين المحتملين في المشروع: للممثلين مؤسسات و خبراء مستقلين ذوي صلة و عرض مصالح كل طرف منهم. ان هذا التحليل يعد أساس لاطار التعاون و العلاقات المتبادلة بين الأطراف. بالإضافة لذلك فقد تم تطوير و عرض عدة خيارات لتمويل هذا المشروع و كذلك كيفية تسعير الطاقة لمولدة .

ان هذا المشروع يعد حجر أساس في مجال التنمية المستدامة لمنطقة الدراسة في المجال البيئي و الاقتصادي و الاجتماعي و ذلك للأسباب التالية:

أولا: استخدام تقنيات الطاقات المتجددة يحمي البيئة

ثانيا: ان وجود نظام طاقة يعتمد عليه لامتداد مستمر و كافي له دور في تحسين الاقتصاديات المحلية الصغيرة للناطق الريفية و يؤدي ذلك الى تطوير التعليم و الصناعة و التجارة و ارتقاء دور المرأة في المجتمع

ثالثا: قرية كلايشة الجديدة تستفيد مباشرة من هذا العمل لأنه يقدم لها خطة شاملة و مفصلة لتطوير بنيتها التحتية

رابعا: ان نتائج هذا العمل قابلة للتطبيق في أماكن مشابهة أخرى في العالم العربي و الناطق المدارية بشكل عام. لكنه يجب دراسة و تقييم العوامل و الخصائص لكل منطقة على حدة.

ختاما ان مشروع طاقة كلايشة الجديدة في حالة تنفيذه- سيكون له نتائج مهمة تشجع استخدام تكنولوجيا الطاقات المتجددة في مصر و مناطق مدارية مشابهة على مستوى العالم. بالنسبة لتلك المناطق فان نجاح مشروع طاقة كلايشة الجديدة سيفتح افاق واسعة لاستغلال مصادر الطاقة المتجددة و هذا بدوره سيساهم في تحسين معيشتهم. ان نجاح فكرة الشبكة المحلية لنظام الطاقة الشمسية في المنطقة سيكون حافز لمشاريع مشابهة و البداية لتكامل هذه الشبكات المعزولة بشبكات كهرباء رئيسية و اقليمية.

Table of Contents

ACKNOWLEDGMENT	I
ABSTRACT	II
ZUSAMMENFASSUNG	IV
نبذة	VII
TABLE OF CONTENTS	IX
LIST OF FIGURES.....	XII
LIST OF TABLES.....	XIV
LIST OF MAPS.....	XVI
LIST OF EQUATIONS	XVI
LIST OF ABBREVIATIONS.....	XVII
1. INTRODUCTION	1
1.1 BACKGROUND	1
1.2 ENERGY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT.....	2
1.3 ARAB ENERGY SECTOR	3
1.4 CASE STUDY	4
1.4.1 Egypt.....	5
1.4.2 Lake Nasser Region (LNR)	5
1.4.3 Development activities in LNR	6
1.4.4 New Kalabsha Village	7
1.5 RESEARCH QUESTIONS.....	12
1.5.1 Statement of problems	12
1.5.2 Objectives	14
1.5.3 Hypotheses.....	15
1.5.4 Approach and methodology of the research	16
1.5.5 Tools	18
1.6 DATA ACQUISITION.....	19
1.7 LIMITS OF THE RESEARCH	19
1.8 EXPECTED OUTPUTS OF THE PROJECT	20
2. CURRENT ENERGY AND WATER SITUATION IN KALABSHA.....	21
2.1 WATER SUPPLY AND CONSUMPTION	21
2.1.1 Households	21
2.1.2 Irrigation	21
2.2 ENERGY SUPPLY FACILITIES.....	23
2.2.1 Village	23
2.2.2 Pump Station	24
2.3 CURRENT ENERGY CONSUMPTION.....	26
2.3.1 Village	27
2.3.2 Irrigation	28
2.3.3 Summary of the village recent energy demand.....	28
2.4 BASIC ASSUMPTIONS AND PRECONDITIONS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN NEW KALABSHA	28
2.4.1 Economic Preconditions.....	29
2.4.2 Ecological Preconditions.....	29
2.4.3 Social preconditions	29

2.4.4	<i>General Preconditions</i>	29
3.	ASSESSMENT OF RENEWABLE ENERGY RESOURCES AND SYSTEMS	30
3.1	POTENTIALS OF RENEWABLE ENERGY IN KALABSHA.....	30
3.1.1	<i>Solar energy resources</i>	30
3.1.2	<i>Sun's hourly course in Kalabsha and the correlative energy yield</i>	31
3.1.3	<i>Wind Resources</i>	32
3.1.4	<i>Bio-energy potential</i>	33
3.1.5	<i>Summary of Energy resources</i>	33
3.2	SOLAR ENERGY SUPPLY SYSTEMS.....	34
3.2.1	<i>PV power generation systems</i>	34
3.2.2	<i>Solar thermal power generation systems</i>	35
3.3	SELECTION OF MOST SUITABLE ENERGY SYSTEM.....	35
4.	OPTIMIZATION OF MOST SUITABLE ENERGY SYSTEM	37
4.1	INTRODUCTION.....	37
4.2	IRRIGATION IN NEW KALABSHA.....	37
4.2.1	<i>Drip irrigation</i>	38
4.2.2	<i>Conception of Irrigation</i>	39
4.3	ANALYSIS OF WATER TRANSPORTATION ALTERNATIVES IN KALABSHA.....	40
4.3.1	<i>Adjustment of the pumping station</i>	41
4.3.2	<i>Option I: The pumping station in the recent location</i>	41
4.3.3	<i>Option II: Extension of the Kalabsha Channel and Moving the Pumping Station to the endpoint</i> 46	46
4.4	ANALYSIS AND EVALUATION OF THE DIFFERENT ALTERNATIVES.....	49
4.5	LAYOUT AND HYDRAULIC DRAFT OF THE PUMPING STATION.....	51
4.6	DIMENSIONING OF THE IRRIGATION SYSTEM.....	55
4.6.1	<i>Conception</i>	56
4.6.2	<i>System draft</i>	57
4.7	RESULTING ENERGY DEMAND IN THE RECENT PHASE.....	58
4.7.1	<i>Optimised Load Analysis in the Village (Build-up)</i>	59
4.7.2	<i>Pumping Station Energy Demand</i>	61
4.7.3	<i>Filtration Facility Energy Demand</i>	62
4.7.4	<i>Total Energy Demand of Kalabsha Village</i>	63
4.8	RESULTING ENERGY DEMAND IN THE EXPANSION PHASE.....	64
5.	DEVELOPMENT OF KALABSHA ENERGY SYSTEM	67
5.1	INTRODUCTION.....	67
5.2	CONCEPTION OF THE ENERGY SYSTEM.....	68
5.3	COMPONENTS OF THE ENERGY SYSTEM.....	68
5.3.1	<i>Transmission Line</i>	69
5.3.2	<i>PV Modules</i>	69
5.3.3	<i>Energy Storage System (Battery Bank)</i>	74
5.3.4	<i>Off-Grid Inverter</i>	78
5.3.5	<i>Load Manager (LM)</i>	81
5.3.6	<i>Maximum Power Point Tracker (MPPT)</i>	81
5.3.7	<i>Standby Diesel Generator (Gensets)</i>	82
5.4	DESIGN OF KALABSHA ENERGY SYSTEM.....	83
5.4.1	<i>Sizing Approaches of PV Energy Systems</i>	83
5.4.2	<i>Pre-Sizing of the Energy System</i>	84
5.4.3	<i>Optimization of the energy system</i>	86
5.4.4	<i>Size of the PV Sectors</i>	90
5.4.5	<i>Selection and Dimensioning of the Power Transmission Lines</i>	90

5.4.6	<i>Cost estimation of the energy system</i>	92
5.5	MODIFICATION OF THE OPERATION OF THE PUMP STATION.....	94
5.6	OPERATION AND CONTROL OF THE DEVELOPED ENERGY SYSTEM.....	97
5.7	ASSESSMENT OF THE SUSTAINABILITY OF THE DEVELOPED ENERGY SYSTEM	98
5.7.1	<i>Cost estimation of the equivalent diesel generation system</i>	99
5.7.2	<i>Assessment Matrix</i>	101
5.7.3	<i>Economic assessment</i>	102
5.7.4	<i>Ecological assessment</i>	103
5.7.5	<i>Socio-economic assessment</i>	106
5.7.6	<i>Summary of the comparative assessment</i>	107
5.8	SUMMARY AND CONCLUSIONS	108
6.	ENERGY PROJECT MANAGEMENT	109
6.1	INTRODUCTION	109
6.2	REALISATION STEPS OF THE ENERGY SYSTEM IN KALABSHA	110
6.2.1	<i>Planning phase</i>	110
6.2.2	<i>Implementation and monitoring phase</i>	110
6.2.3	<i>Operation</i>	111
6.3	STAKEHOLDERS ANALYSIS	111
6.4	PROJECT FINANCING OPTIONS	114
6.5	ENERGY PRICING	116
6.6	ORGANISATIONS FORMS AND REGULATORY FRAMEWORK	116
7.	CONCLUSIONS AND FUTURE PERSPECTIVES	118
7.1	CONCLUSIONS.....	118
7.1.1	<i>Case Study Scale</i>	118
7.1.2	<i>Regional Scale</i>	119
7.2	PROSPECTS AND RECOMMENDATIONS	120
8.	REFERENCES	121
9.	APPENDICES	129
9.1	ENERGY AND WATER DEMAND QUESTIONNAIRE/KALABSHA.....	129
9.2	TECHNICAL DATA OF GRUNDFOS NK 250-500/441 PUMP.....	131
9.3	SIMULATION RESULTS OF OPTION I.....	132
9.4	SIMULATION RESULTS OF OPTION II.....	144
9.5	TECHNICAL DATA OF GRUNDFOS NKE 125-250/262	152
9.6	SIMULATED HOURLY COURSES OF PUMPED WATER	154
9.7	OFFER FOR LOW PRESSURE DRIP SYSTEM	158
9.8	VILLAGE LOAD ANALYSIS SUMMARY	159
9.9	IRRIGATION LOAD ANALYSIS SUMMARY	160
9.10	FILTRATION FACILITY PUMPS CURVES	161
9.11	SUMMARY OF KALABSHA TOTAL LOAD ANALYSIS	162
9.12	SUMMARY OF KALABSHA TOTAL LOAD ANALYSIS IN THE FINAL EXPANSION PHASE	163
9.13	VILLAGE INVERTER	164
9.14	PVSYST SIMULATION REPORT	165
9.15	SCHEMATIC PLAN OF KALABSHA ENERGY SYSTEM.....	168
	SELBSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG	169