



Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik



Nachdiplomstudium Energie
Diplomarbeit

**Entwicklung eines
Energieversorgungskonzepts für eine Anlage
zur Jatropha Saatverarbeitung in Mpanda –
Tansania**

Heinrich Studer

Itzehoe, Juni 2008

Entwicklung eines Energieversorgungskonzepts für eine Anlage zur Jatrophaaatverarbeitung in Mpanda – Tansania

Eine Diplomarbeit eines Studierenden des Nachdiploms Energie
an der Fachhochschule Nordwestschweiz

Heinrich Studer
hstuder@gmx.net

Itzehoe, Juni 2008

Zu dieser Diplomarbeit

Der vorliegende Bericht wurde von dem Studierenden des NDS-Energie, unter Mithilfe und Betreuung von Dozenten im Rahmen der Diplomarbeit erarbeitet. Die Arbeit ist projektbezogen und zeigt konkrete Handlungsmöglichkeiten auf. Der Autor hofft, dass der Bericht gute Dienste bei der weiteren Arbeit leiste. **Es muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass weder der Autor noch die Fachhochschule Nordwestschweiz für Aktivitäten auf der Basis dieser Studierendenarbeit planerische Haftung übernehmen können.**

Das Nachdiplomstudium Energie an der Fachhochschule Nordwestschweiz

Das NDS-Energie ist ein berufsbegleitender interdisziplinärer Studiengang, der sich über zwei Semester mit anschliessender Diplomarbeit erstreckt. Er richtet sich an Architekt/innen, Ingenieur/innen und Hochschul- und Fachhochschulabsolvent/innen anderer technischer Fachrichtungen oder Personen mit gleichwertiger Ausbildung. Weitere Informationen:

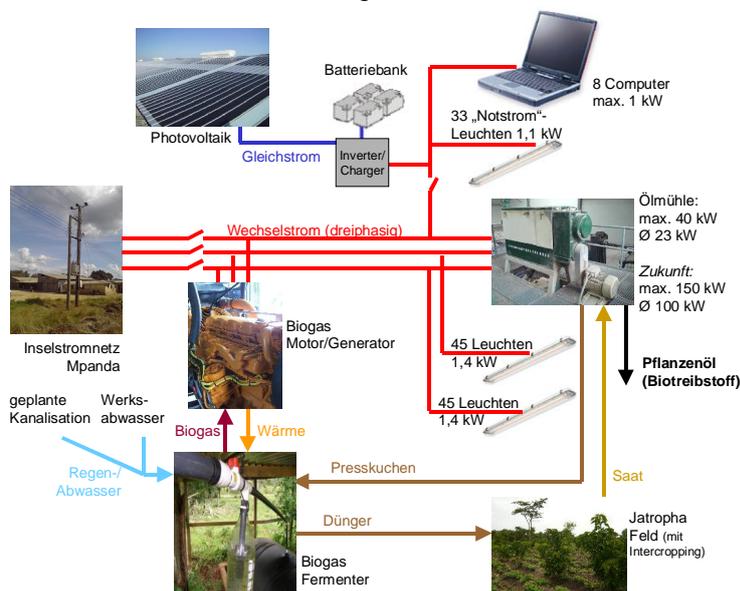
Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau, St. Jakobs-Strasse 84, CH-4132 Muttenz
Tel: +41 61 467 45 45
E-Mail: iebau.habg@fhnw.ch
www.fhnw.ch

Zusammenfassung

Erneuerbare Stromversorgung zum halben Preis

Die Elektrizitätsversorgung in Tansania und insbesondere der abgelegenen Kleinstadt Mpanda ist stark defizitär und unzuverlässig. Nur 5 €-cent/kWh sind für den Dieselstrom zu bezahlen, sofern er verfügbar ist, während sich die Erzeugungskosten auf mindestens 30 €-cent/kWh belaufen müssen. Durch den Einsatz von Jatropha-Pflanzenöl können die Brennstoffkosten um mindestens 20% gesenkt werden, wobei das Geld an die lokalen Farmern zurückfließt statt ins Ausland.

Während sich das Pflanzenöl für den mobilen Einsatz eignet, fällt mit jedem Liter Öl auch die doppelte Menge Presskuchen an, der für die stationäre Stromerzeugung ebenso geeignet ist. Die in dieser Arbeit betrachtete Ölmühle wird je nach Ernteentwicklung zukünftig jährlich 2'500 Tonnen Öl liefern; aus dem dabei anfallenden Presskuchen könnte genug Biogas gewonnen werden, um 4 GWh_e/Jahr zu erzeugen, was 80% vom heutigen Strombedarf der Stadt entspricht. Eine ideale Ergänzung wäre die Abwasserzufuhr aus der geplanten städtischen Kanalisation. Die entscheidenden Manager des nationalen Stromversorgers in der fernen Hauptstadt zeigen jedoch wenig Interesse, durch eine 50% günstigere und erneuerbare Alternative das altgediente Dieselkraftwerk zu substituieren.



Energieoptimierung vor Netzanschluss

Währenddessen verzögert sich der Netzanschluss-Antrag wegen Stromausfall im Regionalbüro. Die Ölmühle würde mit 800 MWh/a bzw. 18% Zusatzstrombedarf zur Überlastung vom isolierten Stadtnetz beitragen.

Vor Versorgungsüberlegungen ist der Bedarf zu optimieren; Auf Arbeitskraft statt energieintensive Fördertechnik zu setzen scheint im afrikanischen Kontext angebracht und günstiger. Öffnungen in der Fabrikhalle sollten den Eintritt von Tageslicht erlauben und eine freie Durchlüftung begünstigen, ansonsten wäre unnötiger Energiekonsum für künstliche Beleuchtung und Lüftung/Klimatisierung zu addieren.

Vom Solar-Backup zur Biogas-Stadtversorgung

Als erster Schritt zu einer zuverlässigen Stromversorgung wird ein solarunterstützter Batteriepuffer für Computer und Notstromleuchten empfohlen. Nimmt man 10 € pro Stromausfallstunde für die erzwungenen Untätigkeit des Büropersonals an, rentiert sich die Photovoltaikanlage mit 7%, ganz abgesehen von dem vermiedenen Datenverlust und Frustration.

Sobald Presskuchen aus der Produktion verfügbar ist, kann ein kleiner Pfropfstromfermenter zur Verifizierung der Biogasbildung aufgebaut werden, welcher auch die Abwasserentsorgung vom Werk übernehmen kann. Die Fermentertemperatur wird mit der Abwärme des Gasmotors aufrecht erhalten, welcher kontinuierlich einen Eigenversorgungsbeitrag von 20-30% leistet und bei Stromausfall die volle Produktion übernehmen kann.

Bei erfolgreichem Betrieb ist es denkbar, in 3-4 Jahren eine Kompogas-Trockenfermentation zur Stadtversorgung aufzubauen. Die kaum geringer werdende Problematik der fossilen Energieversorgung wird die Einigung mit dem Stromnetzbetreiber begünstigen.

Inhaltsverzeichnis

1	AUSGANGSLAGE	5
1.1	Aufgabenstellung.....	5
1.2	Begriffserklärungen	6
1.3	Aufgabenanalyse.....	6
1.4	Jatropha-Pflanzenöltreibstoff	7
2	RESSOURCENANGEBOT	9
2.1	Biomasse	9
2.2	Sonne.....	9
2.3	Geothermie	10
2.4	Wind.....	10
2.5	Wasser.....	11
3	ELEKTRIZITÄTSVERSORGUNG.....	11
3.1	Nationale Situation	11
3.2	Strommarkt.....	11
3.3	Ländliche Elektrifizierung.....	12
3.4	Situation Mpanda.....	12
4	BEBTRIEBS-ENERGIEBEDARF	13
4.1	Ernteerwartung und Produktionsentwicklung.....	13
4.2	Energiebedarf Produktion / Fördertechnik.....	14
4.3	Energiebedarf Beleuchtung und Lüftungsaspekt	15
4.4	Energiebedarf Bürobetrieb und Kleingeräte.....	16
4.5	Energiebedarf Wasserversorgung.....	17
4.6	Verbrauchsprofil	18
5	ZUKUNFTSPERSPEKTIVE UND ZIELE	19
5.1	Basis-Szenario Strombezug.....	19
5.2	Entwicklung der Stromversorgung in Mpanda	19
5.3	Stromausfallkosten	20
5.4	Ziele	21
6	ÖLBASIERTE EIGENVERSORGUNG	22
6.1	Antriebskonzepte.....	22
6.2	Standardlösung Diesel-Notstrom	23
6.3	Einsatz von Pflanzenöl	23
6.4	Betrieb im Netzverbund	23
7	PRESSKUCHENVERWERTUNG.....	24
7.1	Nebenprodukt als Energieträger	24
7.2	Biogas-Anlagevarianten.....	25
7.3	Kompogas-Stadtversorgung	27
7.4	Wärmenutzung Tabaktrocknung.....	28
8	SOLAR-BACKUP BÜRO UND BELEUCHTUNG	28
8.1	Gleichstromversorgung.....	29
8.2	Wechselstrom-Inselanlage.....	29
8.3	Wechselstromkoppelung.....	29
8.4	Komponenten und Platzierung.....	31
9	AUSWERTUNG.....	31
9.1	Wirtschaftlichkeitsrechnung	31
9.2	Empfehlungen	33
9.3	Schlusswort.....	34
10	VERZEICHNISSE	36
10.1	Quellen/Literatur	36
10.2	Kontakte	36
10.3	Links.....	37
10.4	Abbildungsverzeichnis	38
10.5	Tabellenverzeichnis	39

1 Ausgangslage

1.1 Aufgabenstellung

Ausgangslage: Prokon Energiesysteme ist neben dem Windenergie-Geschäft in Deutschland im Vertrieb von Pflanzenöl-Treibstoff tätig. Aus einer Entwicklungszusammenarbeit mit Tansania hat sich ein Biotreibstoff-Projekt ergeben, in welches mittlerweile rund 16'000 Bauern involviert sind. Auf etwa 13'000 ha wird *Jatropha curcas* angebaut, ein anspruchsloses Buschgewächs mit ölhaltigen, nicht essbaren Früchten. Die Kerne enthalten rund 30% Öl, welches als Diesel-Substitut eingesetzt werden kann.

Mpanda hat ein isoliertes Elektrizitätsnetz, betrieben mit Dieselaggregaten (Kapazität 1,6 MW). Eine zuverlässige Energieversorgung ist keine Selbstverständlichkeit, jedoch wünschenswert für den Betrieb der Ölmühle. Einerseits wäre das lokal produzierte Pflanzenöl ein ökologischer Ersatz für den teuren, importierten Diesel. Andererseits bieten sich auch die Nebenprodukte der Pflanzenölproduktion, insbesondere der Presskuchen, für die Energieproduktion an.

Fragestellung: Entwicklung eines Energiekonzepts zur Strom-, Wärme und ggf. Dampfversorgung für die Pflanzenölmühle in Mpanda. Abstimmung von Energiebedarf und Ressourcenangebot, insbesondere Möglichkeiten der Beiprodukteverwertung. Konkret geht es um Abklärungen hinsichtlich der Energieversorgung für die Ölmühle, welche im Sommer 2008 installiert wird.

- Strombezug aus dem Netz, Zuverlässigkeit
- Autonomer Betrieb (Pflanzenöl/Biogas-BHKW, Dampfturbine)
- Netzverbund, Möglichkeiten einer Zusammenarbeit mit dem Energieversorger Tanesco

Evaluieren der verschiedenen Energieversorgungskonzepte, einerseits für die kurzfristige Inbetriebnahme, andererseits sind auch längerfristige Entwicklungsmöglichkeiten zu skizzieren. Ein Wärmenutzungskonzept ist in diesem Kontext auch von Interesse.

Die Arbeit bezieht sich auf ein konkretes Referenzobjekt, die Ölmühle in Mpanda von Prokon. Es wird jedoch auch eine allgemeine Übertragbarkeit angestrebt. Die Verwendungsmöglichkeit von Beiprodukten und Gedanken zur Energieversorgung sollten z.B. auch indischen Akteuren zugute kommen.

Aspekte zum Umfeld in Afrika dürfen durchaus Erwähnung finden; Herausforderung der „Entwicklungszusammenarbeit“, sozio-ökonomische Aspekte, interkulturelle Erfahrungen.

Lernziele:

- Kennenlernen der *Jatropha*-Verarbeitung
- Problemverständnis für die Energieversorgung einer afrikanischen Kleinstadt
- Erfahrungen in der Entwicklungszusammenarbeit

Arbeitsansatz:

- Erfassen der lokalen Gegebenheiten in Tansania
- Auswertung von Herstellerangeboten
- Dialog mit TANESCO und lokalen Konsumenten
- Erfahrungsaustausch mit anderen Projekten
- Literatur-/Internetrecherche

Abgabeform: Bericht und Präsentation

Link: www.prokon-energiesysteme.de/jatropha / www.prokon-tanzania.com

Betreuung: Die Betreuung erfolgt durch die beiden Dozenten Dieter Seifried und Jean-Marc Suter der FHNW sowie seitens Prokon von Lorenz Kirchner und Yannick Jiongo, y.jiongo@prokon-capital.de.

1.2 Begriffserklärungen

Tansania und Mpanda

Tansania ist mit 945'000 km² und 40 Mio Einwohnern Teil von Ost-Afrika, ist östlich vom indischen Ozean begrenzt, die Westgrenze verläuft entlang dem Tanganyika-See und im Norden liegt der Lake Victoria, an der Grenze zu Kenya und Uganda. Das kaufkraftbereinigte Bruttoinlandsprodukt liegt 2006 bei 383 € pro Person [L21].

Mpanda ist eine Bezirkshauptstadt im Westen des Landes (roter Pfeil, 6° 20' Süd / 31° 05' West), 11 Stunden Zugfahrt bzw. 300 km von Tabora [L4]. Dorthin gelangt man von Dar es Salaam aus entweder per Flug oder nochmals 33 h Zugfahrt. Hauptstadt ist offiziell Dodoma, doch sitzen die meisten Behörden und Unternehmen in der Küstenmetropole. Schon in Tabora ist das Wirtschaftsleben weitgehend auf das lokale Gewerbe beschränkt, abgesehen von Landwirtschaftsprodukten wird nahezu alles von der Küste herantransportiert. Wenige Transitstrassen sind gut ausgebaut, Mpanda ist hingegen nur je nach Witterung über Schotterpisten erreichbar, Asphaltstrassen existieren keine auf dem Land.



Abbildung 1-1: Karte Tanzania [L21]

Prokon und Jatropha

Prokon ist eine über Direktinvestitionen von Kleinanlegern finanzierte Unternehmensgruppe mit Sitz in Itzehoe nördlich von Hamburg. Projektiert, finanziert und betrieben werden Windparks in Deutschland, nahezu jede 1000ste kWh Strom in Deutschland kommt von Prokon-Windrädern. Ein zweites Standbein ist Pflanzenöl-Treibstoff: Fahrzeugumrüstung, Handel und Betrieb von Tankstellen. Während bislang Raps als Ausgangsmaterial im Vordergrund steht, wird Jatropha seit einigen Jahren als vielversprechende Ölpflanze diskutiert. Der anspruchsarme Busch stammt ursprünglich aus Mittelamerika, ist jedoch überall in den Tropen anzutreffen. (Nachhaltigkeitsaspekt siehe Abschnitt 1.4). Primär zur nachhaltigen Entwicklung der afrikanischen Randregion, aber im Bewusstsein des ökonomischen Potentials hat Prokon 2005 begonnen, die Bauern der Region Mpanda zum Anbau von Jatropha zu motivieren. Prokon Renewable Energy Ltd. heisst die Tochterfirma in Tansania, welche rund 30 lokale Mitarbeiter beschäftigt, primär zur Koordination und Expansion des Anbaus und Beratung der Farmer.

Wechselkurs-Festlegung

1 EUR = 1850 TZS
1 EUR = 1,55 USD

1.3 Aufgabenanalyse

Das Jatropha-Projekt von Prokon ist soweit fortgeschritten, dass zur Verarbeitung der zunehmenden Ernte im März 2008 der Bau einer Pflanzenölmühle begonnen wurde, deren Kapazität in den kommenden Jahren wachsen wird. Diesbezüglich stellt sich die praxisorientierte Aufgabe, zu evaluieren, wie der Energiebedarf dieser Produktionsstätte gedeckt werden kann. Zwei weitere Aspekte sind mit dieser Fragestellung eng verbunden: Bei der Ölpressung fällt Presskuchen an, dessen energetische Verwertung sich anbietet – ein Thema von allgemeinem Interesse für Jatropha-Szene. Die resultierende regenerative Energieerzeugung ist sinnvollerweise im Zusammenspiel mit der Energieversorgung der Stadt zu sehen, von welcher Strom für die Pflanzenölmühle bezogen

werden kann. Die Umstellung einer teuren, fossilen Energieversorgung auf eine regenerative, auf lokalen Ressourcen basierende, ist nicht Kernthema der Arbeit, aber gewissermassen ein äusserst viel versprechender Nebeneffekt.

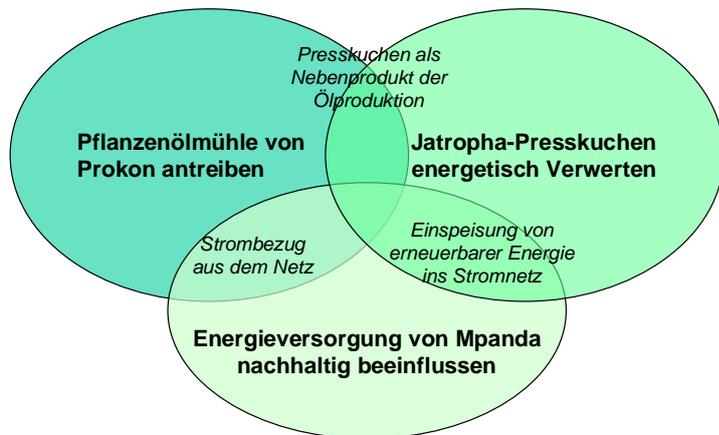


Abbildung 1-2: Aspekte der Aufgabenstellung (eigene Darstellung)

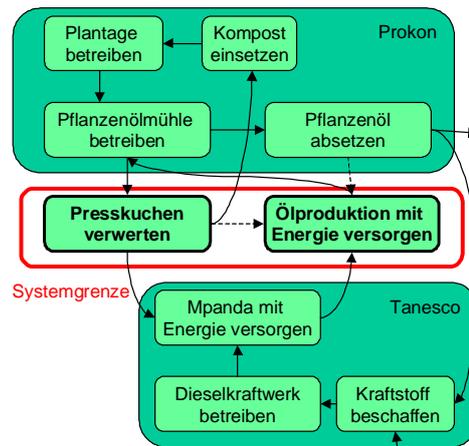


Abbildung 1-3: Systemgrenze (eigene Darstellung)

Das Energieversorgungskonzept orientiert sich am Bedarf der Jatropha-Verarbeitung, welche wiederum von der Plantagenentwicklung abhängig ist. Die Kapazität der Energieversorgung wird mit der Verarbeitung bzw. den Plantagen wachsen müssen.

Sowohl das Jatropha-Öl wie auch das Nebenprodukt Presskuchen kann zur Energieversorgung eingesetzt werden. Das zu konzipierende System ist der Zwischenraum zwischen Prokon und dem staatlichen Energieversorger Tanesco. Es ist eine isolierte Selbstversorgung möglich, aber auch der Bezug aus dem städtischen Stromnetz oder netzverbundene Regenerativstrom-Kapazität. Der erneuerbare Strom kann ein weiteres Energieprodukt von Prokon werden, oder Tanesco oder eine dritte Instanz erschliesst die erneuerbare Energie.

Das Vorgehen orientiert sich an der Methodik „System Engineering“ mit den Elementen Situationsanalyse (Kapitel 2-5), Konzeptsynthese (Kapitel 6-8) und Auswertung (Kapitel 9). Vorerst werden die verfügbaren erneuerbaren Ressourcen (Kapitel 2) und die Stromversorgungssituation in Tansania (Kapitel 3) analysiert. Weiterführend wird der Energiebedarf vom geplanten Werk abgeschätzt und Einsparpotentiale aufgespürt (Kapitel 4). Wie sich die Energieversorgung von Mpanda weiterentwickeln könnte, wenn der industrielle Bedarf hinzu kommt, wird in Kapitel 5 diskutiert. Im Hinblick auf die zu erwartenden Probleme werden Ziele formuliert, welche mit dem Energieversorgungskonzepten erreicht werden sollten. Kapitel 6 widmet sich ölbasierten Optionen (Diesel / Pflanzenöl), Kapitel 7 erörtert das Biogaspotential aus dem Nebenprodukt Presskuchen, und Kapitel 8 skizziert Varianten eines solargespiesenen Batterie-Backups für einen unterbrechungsfreien Bürobetrieb. Die Wirtschaftlichkeit wird in Kapitel 9 ausgewertet und darauf basierend ein schrittweises Vorgehen empfohlen.

Die Grundlagen dieser Arbeit wurden im März 2008 bei Prokon in Itzehoe (D) erarbeitet, ebenso wie der Schlussbericht im Juni 2008. Vom 6. April bis 31. Mai 2008 war der Author in Tansania, für Abklärungen mit Behörden und Unternehmen in Dar es Salaam, und vom 19. April bis 22. Mai 2008 am Standort der Ölmühle in Mpanda.

1.4 Jatropha-Pflanzenöltreibstoff

Biotreibstoffe sind wegen ihrer Konkurrenz zum Lebensmittelanbau und teilweise zweifelhaften Ökobilanz umstritten. Grosser Bedeutung kommt der vorhergehenden Flächennutzung zu, ökologisch hochwertige Vegetation wie Wald und Lebensmittelanbauflächen sollte nicht verdrängt werden. Und im Hinblick auf die bescheidenen Flächenerträge ist offensichtlich, dass Biotreibstoffe nicht in unersättlichen Ausmass bereitgestellt werden können. Sie sind ein kleiner Beitrag, um fossile Brennstoffe abzulösen; Die Sinnhaftigkeit muss jedoch je nach Ausgangsmaterial und Umfeld beurteilt werden (Abbildung 1-4).

In der jüngsten EMPA-Studie erhält das Jatropha-Pflanzenöl zur ländlichen Elektrifizierung in Indien gute Noten, gegenüber dem Dieseleinsatz ist die Treibhausgasemission 14mal geringer, die Gesamt-Umweltbelastung (nach Umweltverträglichkeitspunkten) ist mehr als halbiert [Q3].

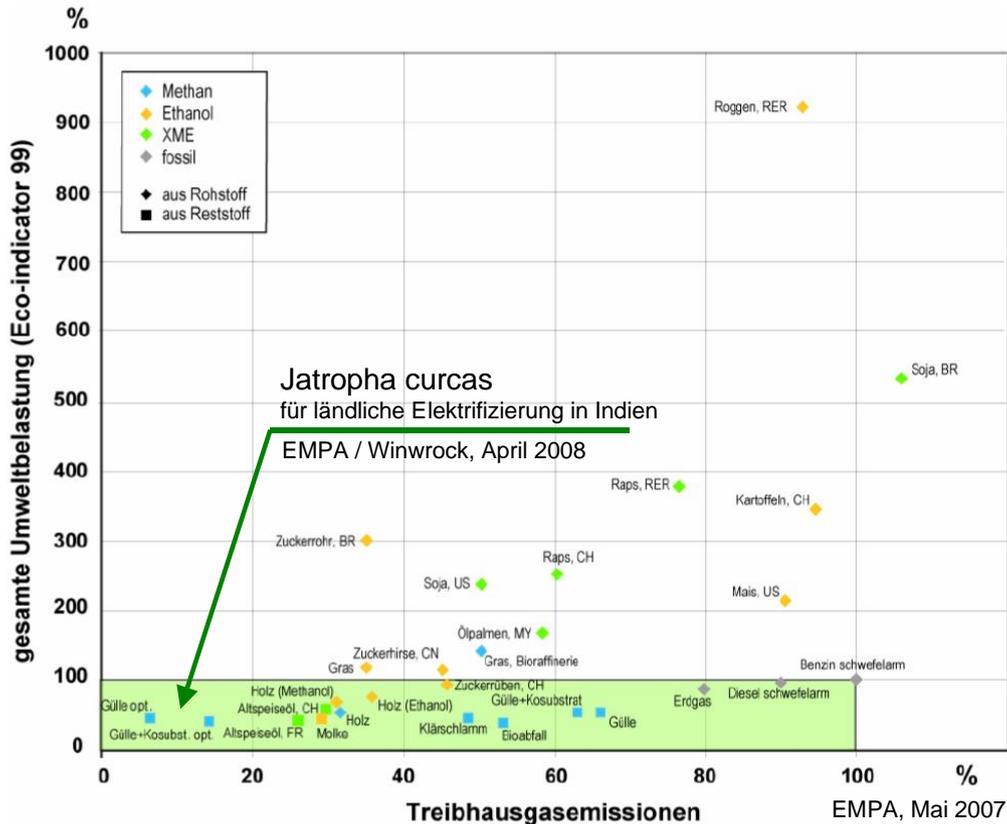


Abbildung 1-4: Ökobilanz Biotreibstoffe (in Anlehnung an [Q2])

Der anspruchsarme Jatropha-Strauch kann auf Brachland kultiviert werden, als Hecke oder als Schattenspendler zwischen anderen Kulturen (Intercropping). Nach 2-3 Jahren trägt der Baum Früchte, deren Kerne rund 30% Öl enthalten. Jatropha kann auch zur Verminderung der Bodenerosion angebaut werden, und als Aufforstung interpretiert werden. Bewertet wurde der Direkteinsatz von Pflanzenöl im (leicht zu modifizierenden) Dieselmotor, was der Strategie von Prokon entspricht. Die energieaufwändige Veresterung des Pflanzenöls zu Biodiesel würde sich eher negativ auf die Ökobilanz auswirken.



Abbildung 1-5: Jatropha-Intercropping (eigene Fotos)

Die positive Bewertung ist keine Selbstverständlichkeit, die grossflächige Verdrängung anderer Kulturen bzw. natürlicher Vegetation führt zu Kritik (The Guardian, Dar es Salaam 29.5.08: „Jatropha biofuel: a friend or a foe“ by Peter Kafumu / 31.5.08: „Environmental activists opposed to Jatropha cultivation“ by Amri Lugungulo). In Tansania sind bereits einige internationale und lokale Akteure im Jatropha-Anbau tätig, insbesondere in der Region Arusha ([L6]/[L7], mehr dazu in Anhang 1). Jatropha ist ein Cash-Crop, der die Einkommens- und Energieperspektive von ländlichen Gegenden verbessern soll. Auf 1-2% der Landesfläche könnte genügend Pflanzenöl angebaut werden, um den (pro Kopf bescheidenen) nationalen Dieselmotor zu substituieren. Der Import von Erdölprodukten verschlingt aktuell über 30% der Exporteinnahmen. Statt ins Ausland abzufließen, könnte das Geld den Bauern zugute kommen.

2 Ressourcenangebot

2.1 Biomasse

Jatropha-Pflanzenöl ist nur eine Form der Energiegewinnung aus Biomasse. Die Energieversorgung von Tansania beruht zu über 80% auf der Verbrennung von Holz und Holzkohle, die Bewirtschaftung der Wälder ist entsprechend herausfordernd. Daneben scheinen einige Biomasse-Potenziale ungenutzt: Reismühlen sind umgeben von verrottenden Spelzen-Bergen; statt in einem Steppenbrand zu enden, könnte das meterhohe Gras kontrolliert verbrannt (oder verfüttert) werden; Hausabfall primär organischer Natur säumt den Strassenrand.



Abbildung 2-1: Sical-Biogasanlage (eigene Foto)

Kleine Biogassysteme wurden mit mehr oder minder Erfolg implementiert, von dem in Morogoro besuchten System zeugte nur noch ein überwuchertes Untergrund-Tankeinlauf. Ein vielversprechendes Beispiel der industriellen Biogasgewinnung kann in Hale besichtigt werden: Seit Mitte 2007 verschmutzt das Abwasser der Sical-Fasergewinnung nicht mehr den Fluss, sondern dient der Stromerzeugung für die Maschinen, und der Gärrest wird als Dünger auf die Felder gebracht. Die chinesische 150 kW-Anlage nach deutscher Projektierung [L15] ist als Prototyp zu verstehen; Es soll eine Energie-Unternehmung entstehen, welche bei jedem der fünf Sical-Werke der Region eine 1 MW-Biogasanlage betreibt, und den Strom ins nationale Netz einspeist [K30]. Die Stromgestehungskosten werden erstaunlich tief angesetzt; Man ist zuversichtlich, mit dem nationalen Strompreis von ca. 5 €cent/kWh leben zu können. Dies wäre im Hinblick auf Investitionssubventionen nachvollziehbar, UNIDO und CfC haben den Bau der Pilotanlage unterstützt.

2.2 Sonne

Zur Trocknung von Reis etc. wird die Sonne traditionell in einfachster Weise genutzt, kompliziertere solarthermische Anlagen scheinen wenig gefragt. Zur netzfernen Stromerzeugung sind Photovoltaik-Module hingegen nicht selten. Kleine amorphe 14 Watt-Module sind ab 40 € erhältlich und liefern Energie für zwei Leuchten, eine Nähmaschine oder den plärrenden Lautsprecher (Besuch Maji Moto). Größere Anlage mit über 3 kW sind bei Kommunikationseinrichtungen, z.B. dem Sendemasten oberhalb Mpanda, oder beim Katavi-Nationalpark-Headquarters anzutreffen.

Für ein Jatropha-Projekt einer Klosterschule in Mbinga, etwas weiter südlich in Tansania, wurde ein Pflanzenöl-Generator (30 kW) mit einer Photovoltaik-Anlage von 8,1 kW kombiniert [K21]. Abbildung 2-2 zeigt die Stromproduktion aus der Sonne (gelb) und des Pflanzenöl-BHKWs (grün) im Januar 2008. Der bescheidene Bedarf (rot) kann weitgehend solar abgedeckt werden.

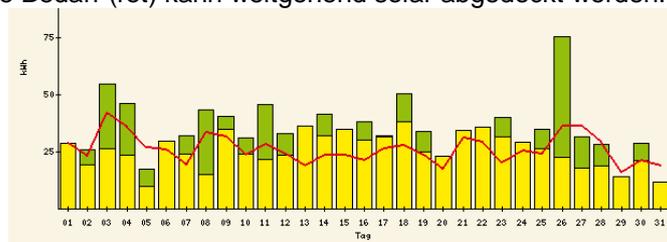


Abbildung 2-2: Strombedarf und -produktion Solar-Jatrophaöl-Hybrid Januar 2008 [K21]

Der Vorteil von PV für ein Elektrifizierungsprojekt ist die kurze Anlaufzeit. Sobald die Anlage installiert ist, produziert sie Strom. Deshalb wurde auch bei dem Jatropha-Projekt von Prof. Rinschede in Busunu / Nord-Ghana vorerst eine 1 kW Anlage errichtet, welche später auf 3 kW erweitert wurde. Bis hingegen die Pflanzenölproduktion und -verstromung angelaufen ist, können mehrere Jahre vergehen. Von den Kosten her hat Photovoltaik jedoch einen schweren Stand. Inklusive Batteriesystem ist auch bei reichhaltigem Sonnenschein mit 45-60 €cent/kWh zu rechnen [K4]. Die Anlage in Busunu ist der Sonne nachgeführt, was den Ertrag erhöht; Andererseits ist der Unterhalt des mechanischen Systems zu berücksichtigen. Der Ersatz von Komponenten (z.B. Wechselrichter) ist alleine aufgrund der Transportkosten teuer. Im Vergleich zu Wasserkraft oder Biogas erfordert Photovoltaik jedoch deutlich weniger Unterhalt [K20].

Während die Dieseldkosten tendenziell steigen, ist bei der Photovoltaik eine Kostendegression zu erwarten, u.a. hinsichtlich Dünnschicht-Photovoltaik. Aktuell ist gegenüber Dieselstrom (noch) kein Kostenvorteil zu erwarten, doch sprechen andere Faktoren durchaus für diese regenerative Selbstversorgung.

Solar-Unternehmer sind in der Hauptstadt diverse anzutreffen ([K22] / [K23] / [K24]). Auch im netzfernen Maji Moto gibt es PV-Equipment zu kaufen, und in Mpanda bieten mindestens zwei Läden Solarmodule an. Sayi Business [K26] ist ein Baumaterial-Händler, der wohl wenig Ahnung von Solartechnik hat, aber 14W-Module und Zubehör zu stattlichen Preisen auf Lager. Demgegenüber ist AGY Electrical Networking [K25] ein Elektroinstallateur, der über beachtliche Kenntnisse zu verfügen scheint. Er rechnet mit 4,5 kWh/m²d, gemäss Satellitendaten könnten es bis zu 5,4 kWh/m²d sein. In [Q1]

Tabelle 2-1 : Solarstrahlung Region Mpanda [L18]

Solar kWh/m ² _{horiz} d	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahres-Mittel
10jähriges Mittel	4,7	4,94	5,12	5,08	5,29	5,68	5,89	6,22	6,34	5,77	5,14	4,61	5,4

2.3 Geothermie

Der Dorfname Maji Moto – warmes Wasser – zeugt vom Geothermiepotential des Kontinentalgrabens, welches bislang jedoch erst in Kenia genutzt wird [Q1]. Die Exploration ist in Tansania ein Thema [Q7], für die hier thematisierte Fabrik-Energieversorgung wird diese Quelle jedoch nicht weiter betrachtet.

2.4 Wind

An windstarken Standorten können die Gesteungskosten für Windkraft unter 7 €cent/kWh liegen, gegenüber den 30 €cent/kWh Dieselstrom wäre dies sehr attraktiv (siehe Abbildung 2-3). Weltweit werden Windkraftanlagen vermehrt wirtschaftlich zur Entlastung von Dieselkraftwerken eingesetzt. Der Windanlagenhersteller Enercon hat sich mit angepasster Regelungstechnik für Inselssysteme u.a. auf den Falklandinseln bewährt [L8]. Eine Machbarkeitsstudie der GTZ aus dem Jahr 2004 befasst sich mit einem Diesel-Wind-System für ein Inselnetz in Mali mit 8,8 GWh/a, wofür drei Enercon-Anlagen zu 300 W empfohlen werden, um den Dieseldkonsum um rund 11% zu senken [Q6]. Der spezifische Dieseldkonsum (l/kWh) steigt allerdings leicht um 1,5%, da die Dieseldmotoren weniger ausgelastet sind. Für nächtlichen Überschussstrom kann ein Hochpumpen von Wasser in einen Speicher in Betracht gezogen werden.

Hinsichtlich Wirtschaftlichkeit ist zu berücksichtigen, dass die Transport- und Infrastrukturkosten aufgrund des abgelegenen Standorts hoch ausfallen und für solche Kleinprojekte die Schulungs- und Planungskosten überproportional hoch sind. Mit 2000 €/kW wurde in Mali fast der doppelte Preis vom europäischen Niveau angenommen. Für Mpanda wäre aufgrund des etwa 3x kleineren Inselstromnetzes wohl nur eine 300 kW Anlage zweckmässig.

Hohe Brennstoff-Transportkosten und -abgaben liessen das Projekt in Mali selbst bei Erdölpreisen um 30 \$/Barrel konkurrenzfähig erscheinen, mit dem Energieversorger konnte jedoch keine Einigung für eine kostendeckende Vergütung erzielt werden. Die mittlere Windgeschwindigkeit liegt bei dem Standort in Mali bei 5 m/s, etwa 1100 Volllaststunden prognostiziert. Es ist nicht auszuschliessen, dass ein ähnlicher Ertrag an einem exponierten Standort in Mpanda erreicht wird. Die in Tabelle 2-2 dargestellte, auf Satellitendaten basierende grobe Windanalyse lässt jedoch erahnen, dass Mpanda kein herausragender Windstandort ist. Windgeschwindigkeiten unter 3 m/s können üblicherweise nicht genutzt werden, attraktiv wären Geschwindigkeiten bis 10 m/s.

Tabelle 2-2 : Windstärke Region Mpanda [L18]

Windstärke m/s auf 50 m	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahres-Mittel
10jähriges Mittel	2,82	2,69	3,05	4,51	5,16	5,4	5,69	5,93	5,73	4,84	3,95	2,88	4,39

Für eine nähere Betrachtung wäre eine mindestens einjährige Windmessung vor Ort nötig. Windmessungen in anderen Regionen versprechen bis zu 9,4 m/s auf 30 m (Kititimo/Singida, Makambako), Projekte mit über 100 MW seinen in Planung [Q7]. Neben Kleinanwendungen zum Wasserpumpen drehen sich jedoch bislang kaum Windräder im Land, nur von einer 400 kW Anlage der Chunya Catholic Mission wird berichtet [Q1]. Prokon ist in Deutschland zwar selbst im

Windgeschäft zuhause, bislang erachtete man die technischen Anforderungen jedoch als zu hoch für die Region.

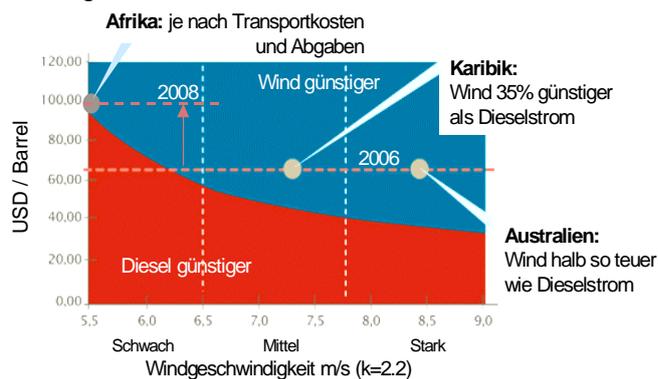


Abbildung 2-3: Wettbewerbsfähigkeit Wind- / Dieselstrom [L9]



Abbildung 2-4: Wasserreservoir nahe Mpanda (eig. Foto)

2.5 Wasser

Zur Trinkwasserversorgung existiert ein Stausee neben Mpanda (siehe Abbildung 2-4), dem gemäss Urban Water and Sewerage Authority täglich 20'000 m³ Wasser entnommen werden könnten. Der Engpass der städtischen Wasserversorgung ist jedoch die Pumpe (75 kW), die täglich 1'400 m³ Wasser zum Dorf hoch pumpt. Dafür wird rund 6% der Stromproduktion von Mpanda aufgewendet. Technische Probleme an der Pumpe und Stromausfälle können dazu führen, dass nur das drucklose Quellwasser zur Verfügung steht (2'000 m³ täglich), welches dem Bedarf nicht gerecht werden kann (Rohrgrösse limitierend). Zum Wassersparen besteht wenig Anreiz, wenn der Wasserpreis pauschal pro Anschluss erhoben wird, da nicht genügend Wasserzähler verfügbar sind. Die Pumpleistung kann nur begrenzt in die Nachtstunden mit geringer Kraftwerksauslastung verschoben werden, da nicht der ganze Tagesbedarf (3'500 m³) in den Hochtanks (450 m³) gespeichert werden kann [K6]. Die Energieausgaben von 1'600 € monatlich werden als hoch betrachtet, die effektiven Dieselstromkosten wäre jedoch rund 6mal höher.

Wasser scheint genügend vorhanden, der Überfluss vom Stausee könnte zur Stromgewinnung genutzt werden. Das Gefälle ist jedoch mit weniger als 10 m gering. 20'000 m³/d entspricht 230 kg/s x 10 m/s² x 10 m = 23 kW. Für ein unelektrifiziertes Dorf wäre das interessant, im Vergleich zum Strombedarf von Mpanda (Ø 525 kW) ist das Potential jedoch klein. Sinnvollerweise würde ggf. der Pumpenergiebedarf so gedeckt, für die Fabrik-Energieversorgung wird diese Quelle nicht weiter betrachtet, zumal die Entfernung doch ca. 2,5 km ist. Dennoch ist Wasserkraft ein Thema für die Region, die Rural Energy Agency wie auch Tanesco deuten solche Pläne an.

3 Elektrizitätsversorgung

3.1 Nationale Situation

Die Stromversorgung von Tansania basiert traditionell auf Wasserkraft, mit günstigen Gestehungskosten (561 MW). In den letzten Jahren ist die Produktion jedoch wegen ausbleibenden Niederschlägen rückläufig (siehe Abbildung 3-1). Verstärkt wird auf fossile Brennstoffe ausgewichen, bereits ca. 60% vom Strom wird thermisch erzeugt (Kapazität 334 MW, siehe [L1] / Anhang 2). Mit einem amerikanischen Konsortium (Richmond) wurde eine „diesel-orientierte Notstromversorgungsvereinbarung“ getroffen; Im Ernstfall konnte das Konsortium seinen Verpflichtungen jedoch nicht nachkommen, die Vereinbarung platzte. Ausgiebige Stromausfälle im nationalen Netz waren die Folge, was zu einer Regierungskrise führte. Viel wird von den aufgespürten Erdgasvorkommen erwartet; der „Guardian“ (Tageszeitung Dar es Salaam) schreibt am 31.05.2008 hoffnungsvoll, dass in den nächsten 18 Monaten die nationale Gasproduktion verfünffacht würde, und dann Strom im Überfluss auch für den Export erzeugt würde. Zumindest am Weltmarktpreis bemessen ist Strom aus Erdgas jedoch teuer, ebenso wie Dieselstrom.

3.2 Strommarkt

Überwiegend private Gesellschaften (IPP, independent power producers) betreiben heute thermische Kraftwerke und verkaufen Strom an den staatlichen Energieversorger Tanesco. Das Parlament verabschiedet im April 2008 ein Gesetz, welches privaten Firmen erlaubt, Strom direkt an die Kunden zu verkaufen. Die nationalen Stromtarife werden jedoch von der Energy and Water Utility Regulation

Authority EWURA festgelegt [L3]. Tabelle 3-1 zeigt die Tanesco-Stromtarife für 2007; Auf Januar 2008 hat Tanesco eine Preiserhöhung von 40% beantragt, genehmigt wurden 22%.

Tabelle 3-1 : Tanesco Elektrizitätstarife 2007 [L2]

Kleinverbraucher-Haushalts-Tarif (D1)		
Kleinverbraucher-Tarif (0-50 kWh)	40 TZS/kWh	0,024 EUR/kWh
Mehrverbrauchs-Tarif (über 50 kWh)	128 TZS/kWh	0,075 EUR/kWh
Allgemein-Tarif (T1)		
Servicegebühr	1892 TZS/Monat	1,11 EUR/Monat
Energietarif 283 kWh < x < 7500 kWh	106 TZS/kWh	0,062 EUR/kWh
Niederspannungstarif (T2)		
Servicegebühr	7012 TZS/Monat	4,12 EUR/Monat
Leistungstarif < 500 KVA	7680 TZS/KVA	4,52 EUR/KVA
Energietarif	70 TZS/kWh	0,041 EUR/kWh
High Voltage Maximum Demand Tariff (T3)		
Servicegebühr	7012 TZS/Monat	4,12 EUR/Monat
Leistungstarif	7123 TZS/KVA	4,19 EUR/KVA
Energietarif	65 TZS/kWh	0,038 EUR/kWh

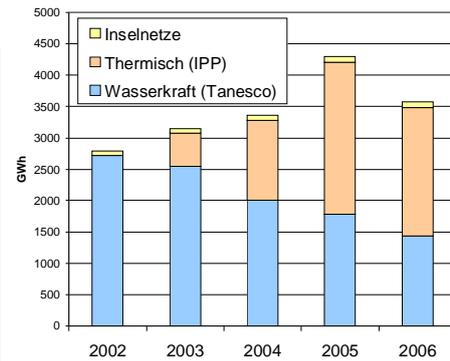


Abbildung 3-1: Stromproduktion in Tansania (in Anlehnung an [L1])

Die Kritik an den „hohen“ Strompreisen ist weit verbreitet. Allerdings ist es wenig erstaunlich, dass Tanesco für 2007 trotzdem 70 Mio € Verlust schreibt (Tageszeitung „Daily News“, Morogoro 14.04.2008), wenn die günstige Wasserkraft zurückgeht und teure fossile Brennstoffe die Lücke schliessen sollen. Der Zukauf der 60% Fossil-Strom von Privaten kostete Tanesco 2006 104% der Stromeinnahmen (siehe Anhang 2).

In einem anlässlich des National Solar Energy Days publizierten Statements beschreibt Tanesco ihre Bestrebungen zur Nutzung erneuerbarer Energien; Eine einfache, attraktive Förderung ist jedoch nicht in Aussicht. Nennenswert ist die Stromerzeugung aus industriellen Abfallprodukten. Die Tanganyika Wattle Company erzeugt 2,8 MW aus Holzabfällen und verkauft Strom an Tanesco für 5-7 €-cent/kWh [K10]. Drei Zuckerfabriken produzieren je 3-5 MW, allerdings nur für den Eigenbedarf [Q1]. 500 kW wird als die untere Grenze für ein Power Purchase Agreement betrachtet, für die in Abschnitt 2.1 erwähnte Sisal-Biogasanlage soll sich die Einspeisung dann bei 5 €-cent/kWh lohnen (Kosten für Netzsynchonisierung, Step up Transformer etc. ca. 36'000 €) [K30].

3.3 Ländliche Elektrifizierung

Für kleinere, ländliche Energieprojekte ist die vor kurzem gegründete Rural Energy Agency REA ein Ansprechpartner. Im Zentrum steht die ländliche Elektrifizierung, nur 2% der Dörfer hängen heute am Stromnetz [Q7]. Dies können auch Dörfer in unmittelbarer Nähe zu Hochspannungsleitungen sein; Eine Transformator-Station zu errichten wäre oft teurer als eine regenerative Inselversorgung [K20]. Die REA bezahlt Beiträge von 500 \$ pro „Minigrid“-Anschluss bzw. maximal 80% der Kosten [K19]. Dabei werden neben Grüne-Wiese-Projekten auch „grid connected mini-grids“ in Betracht gezogen. Die Handhabung von letzterem ist etwas unklar. Erhält ein Stromversorger auch die Subvention, wenn er sein Netz erweitert, ohne die Kapazität zu erweitern? Wenn ein Externer neu Strom in ein oft überlastetes Netz einspeist, erhält er keinen Zuschuss? Können neu ermöglichte, verstreute Anschlüsse als Minigrid definiert werden? So einfach und transparent wie eine Einspeisevergütung scheint dieser Subventionsansatz jedenfalls nicht. Er zielt primär darauf, mehr Haushalten den Komfort der Elektrifizierung zu bringen; nicht auf die Produktion der Energie. Des weiteren wird Photovoltaik für solare Heimsysteme mit 2 \$/W bezuschusst.

3.4 Situation Mpanda

Mpanda liegt rund 1000 km westlich von der Küstenmetropole Dar es Salaam Richtung Tanganyika-See, am Ende einer Bahnlinie, fernab vom nationalen Elektrizitätsnetz. Drei Dieselgeneratoren von je etwa 500 kW Leistung versorgen die 2'300 Stromanschlüsse der Kleinstadt, welche je nach Einbezug der Peripherie 10-20'000 Einwohner umfasst. Der jährliche Stromkonsum liegt bei rund 4,6 GWh/a, die durchschnittlich 26 Watt „Dauerleistung“ pro Person entsprechen ungefähr dem nationalen Mittel. Täglich werden rund 3 Tonnen Diesel verheizt. In Abbildung 3-3 sei versucht, einen typischen Tagesverlauf des Inselnetzes nachzubilden, Realdaten sind leider keine verfügbar.

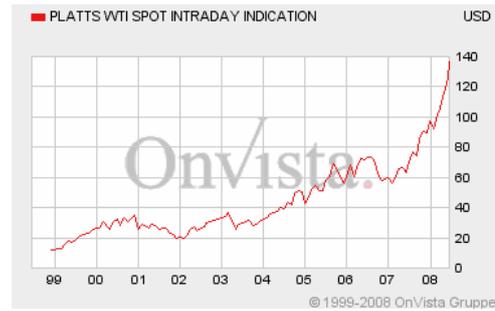
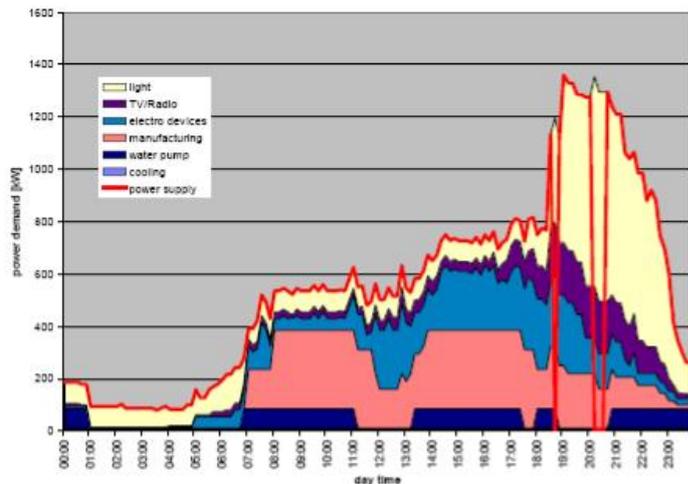


Abbildung 3-2 : Entwicklung Erdölpreis [L22]

Abbildung 3-3: Strombedarfsprofil Mpanda (eigene Abschätzung)

Für den Stromversorger ist der hohe Strombedarf der Reismühlen ab April bis in den Herbst eine Herausforderung, industrielle Grossverbraucher werden bei Überlast als erstes abgeworfen [K16]. Allerdings ist dieser Energieeinsatz doch einiges produktiver als jener für die lärmigen omnipräsenten Lautsprecher und Fernseher, die Ruhe bei Stromausfall ist wohltuend. Die abendliche Spitzenlast setzt mit der Dämmerung ein (in Abbildung 3-3 sind rund 10'000 Glühbirnen zu 60 Watt angenommen). Aufgrund ungenügender Tageslichtnutzung brennt manches Licht auch tagsüber (in Büros und Shops), und manches zieht nach Stromausfallende unaufgefordert und unbeaufsichtigt wieder Energie aus dem Netz (Ventilator/Licht in Hotelzimmer). Mitte April 2008 war mit einsetzender Beleuchtung regelmässig ein Stromausfall von einigen Minuten zu erwarten, vermutlich aufgrund von Überlast. Bis anfangs Mai wurden kaum Ausfälle registriert, dann folgten hingegen Tage mit mehrstündige Ausfälle über Mittag (siehe Abbildung 5-2). Diese Beobachtungen während den 33 Tagen Aufenthalt mögen nicht repräsentativ sein, eine Statistik ist jedoch nicht erhältlich.

Die Ausfälle legen den Bürobetrieb lahm; Eine gewisse Frustration ist verständlich, wenn man sich nach einem Ausfall wieder an die Arbeit setzt, und nach 10 Minuten der Strom wieder weg ist. Betroffen sind primär die Desktop-Computer, doch Mitte Mai überdauern die Ausfälle auch die Batteriebetriebszeit der Laptops. Ausgerechnet als ein IT-Spezialist aus Deutschland für einige Tage die virenbefallenen Computer revidieren soll, bleibt der Strom den ganzen Tag über aus. Kurzfristige Abhilfe kann nur ein kleiner Notstromgenerator vor dem Fenster bringen (850 W, die Intension der Sekretärin den Wasserkocher einzustecken hätte der Computer-Session beinahe ein Ende bereitet). Für die Abendstunden wurde etwas Treibstoff reserviert. Es dauert fünf Tage (15.-20.05.2008), bis der Lastwagen den Diesel-Nachschub über die weiten Schotterpisten herantransportiert hat. Es wäre aus Sicht des Energieversorgers nicht unökonomisch (und klimaschonend), die zögerliche Versorgung zu tolerieren, da mit jedem Liter das Defizit ansteigt. An der Tanksäule in Mpanda ist im Mai 2'000 Schilling pro Liter Diesel zu bezahlen, im Juni 2008 wurden 2'200 TZS/l erreicht (ca. 1,2 €/l, Weltmarktpreisentwicklung siehe Abbildung 3-2). Die Dieselstrom-Erzeugungskosten müssen bei mindestens 30 €-cent/kWh liegen, während nur 5 €-cent/kWh einkassiert wird. Das Defizit des Kraftwerksbetriebs könnte rund 1 Mio € betragen, was wohl 10-20% vom Bruttosozialprodukt von Mpanda entspricht.

4 Betriebs-Energiebedarf

4.1 Ernterwartung und Produktionsentwicklung

Ende 2005 hat Prokon erstmals Jatropha-Saatgut an interessierte Farmer ausgegeben, anfangs 2008 wird der Baumbestand auf über 4 Millionen geschätzt [Q12]. Pflanzung, Pflege und Ernte erfolgt dezentral unter der Verantwortung der individuellen Farmer (Aufgabenteilung siehe Anhang 11). Deshalb ist die Projektion der zukünftig zu verarbeitenden Mengen schwierig, die Ertragserwartungen von Jatropha sind je nach Quelle (bzw. abhängig von Saatgut, Pflege, Boden, Klima etc.) sehr unterschiedlich. Bereits im Frühjahr 2008 wurden einige Tonnen Saat an Prokon verkauft, ein beachtlicher Anteil wohl von älteren, natürlich in der Gegend vorkommenden Bäumen. Für 2009 wird angestrebt, eine Ölpresse mit einer Verarbeitungskapazität von 250 kg/h für ein halbes Jahr auslasten zu können. Beginn der Ernte bzw. Produktion ab April, vorgesehen ist ein Betrieb rund um die Uhr. Die sich im Bau befindliche Halle ist für fünf bis sechs solche Pressen ausgelegt, die Erweiterung erfolgt je nach Ernteertrag, möglicherweise bis 2012 (Pressenaufstellung siehe Anhang 3).

Für die Energieversorgung dienen folgende zwei Szenarien zur Orientierung, wobei die Aufstockung dazwischen fließend möglich sein sollte:

- A) eine Presse mit 3'000 Betriebsstunden von April bis September (Ölproduktion ca. 225 t/a),
- B) Vollausbau mit fünf Pressen und 7'500 Stunden Produktion pro Jahr (Ölproduktion ca. 2'800 t/a / Presskuchen 6'500 t/a).

4.2 Energiebedarf Produktion / Fördertechnik

Zum Energiebedarf der Produktionsanlage sind nur Angaben zur installierten Leistung vom Hersteller verfügbar, siehe Tabelle 4-1 für Szenario A.

Item	Komponente	Hersteller	
		Angabe [kW]	reduzierte Annahme [kW]
H 0310.01	Screw conveyor	1,5	
H 0310.02	Elevator	2,2	
F 0310.01	Seed cleaning machine	1,1	1,1
F 0310.03	Iron separator		
Z 0310.04	Mill	11	11
H 0310.03	Screw conveyor	0,75	
H 0310.04	Elevator	2,2	2,2
H 0310.05	Screw conveyor	0,75	0,75
A 0310.11	Screw press KP 15	15	15
H 0310.06	Screw conveyor	0,75	
H 0310.07	Elevator	2,2	
F 0310.05	Foots separator screw	1,5	
R 0310.01	Oil bin with agitator	0,75	0,75
P 0310.01	Oil pump	3	3
F 0310.06	Filter press		
B 0310.03	Oil tank		
P 0310.03	Oil pump	3	
Summe installierte Leistung		45,7	33,8 kW
Durchschnittsverbrauch 65%		29,7	22,0 kW
Anteil Fördertechnik		39%	18%

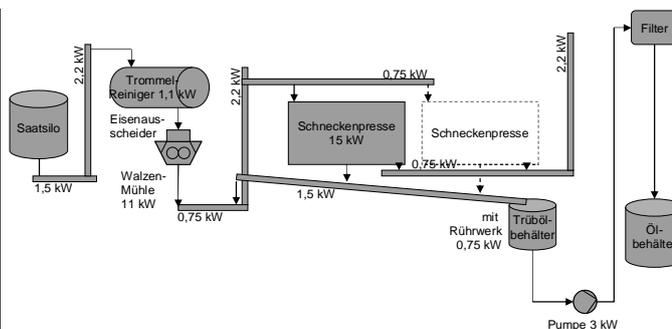


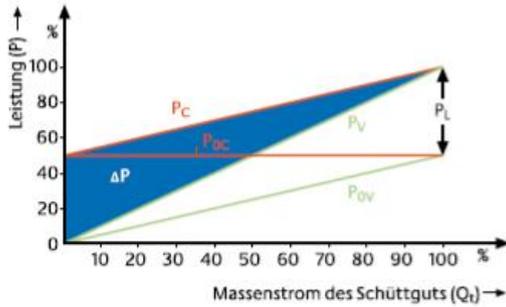
Abbildung 4-1: Anlagenaufbau (in Anlehnung an [K3])

Tabelle 4-1: Installierte Anlagenleistung [K3]

Im kontinuierlichen Betrieb ist mit einer Leistungsaufnahme von üblicherweise 65 bis 70% zu rechnen [K3]. Bei der vom Hersteller vorgeschlagenen Anlagenaufstellung entfällt 39% der installierten Leistung auf die Fördertechnik – sie ist geprägt von diversen Elevatoren und Schneckenförderer (siehe Abbildung 4-1). Schneckenförderer können neben der Förder- auch eine Mischfunktion übernehmen, sind aber aufgrund der Reibung zwischen Schnecke – Fördergut – Wandung besonders energieaufwändig. Auch der Energiebedarf der Elevatoren ist beachtlich. Zur Überwindung der potentiellen Energie (500 kg/h x 4 m) sind theoretisch nur 5,6 Watt erforderlich, die installierte Leistung ist 250 mal höher. Die Reibungsverluste des Becherwerks sind gross, gleichzeitig muss mit einem signifikanten Verschleiss gerechnet werden, wovon ausgefressene Stahlteile zeugen [K2].

Über die Fördertechnik ist die Optimierung des Energiebedarfs mit der Fabriklayoutplanung verbunden. Die Anlagenplanung kann nicht Bestandteil dieser Arbeit sein, dennoch sei ein Entwurf für die Maschinenaufstellung vorgeschlagen, bei welchem statt Elevatoren und Schneckenförderer ein geneigtes Förderband zum Einsatz kommt (Abbildung 4-3). Die Anlagen werden auf zwei Ebenen angeordnet, so dass die Schwerkraft genutzt werden kann. Die Speisung der Anlage ist vorerst manuell vorgesehen. Die Energiekosten für einen Elevator mit 1,5 kW und 7500 Betriebsstunden belaufen sich mit subventionierten Strompreisen auf jährlich 560 € (effektiv Dieselstrom 3'300 €). Zuzüglich Wartungs- und Kapitalkosten scheint es günstiger, und im afrikanischen Kontext angebracht, auf Arbeitskraft (ab 500 €/Pers.a) statt Technik zu setzen. Für Szenario A wäre alle 12 Minuten ein 50 kg Sack hoch zu tragen (ev. Flaschenzug o.ä. als Hilfsmittel). Für Szenario B ist eine Beschickung via Förderband ab aussen liegendem Silo angedacht (siehe Anhang 3).

Der Reinigungsschritt könnte auch manuell ausgeführt werden, aufgehängte pendelnde Siebe sind bei den Reismühlen üblich. Die „seed cleaning machine“ (Reinigung), „mill“ (Aufbrechen) und die Ölpumpe vor dem Filterschritt sind für 2-3 Pressen (screw press KP15) ausgelegt; Für die geringe Auslastung im Szenario A ist ein Frequenzumrichter, um die Motorleistung dem effektiven Bedarf anzupassen. Abbildung 4-2 zeigt die Energieeinsparung ΔP beim Betrieb einer Bandförderanlage mit variabler Drehzahl.



- ΔP = Energieeinsparung bei Betrieb einer Bandförderanlage (mit variabler Drehzahl/Geschwindigkeit)
- Q_t = variabler Massenstrom des Schüttguts
- P_{0c} = Leerlaufleistung zur Überwindung der Reib- und Walkwiderstände (der Förderanlage bei konstanter Drehzahl/Geschwindigkeit)
- P_{0v} = Leerlaufleistung wie vor bei variabler Drehzahl
- P_L = zusätzlicher Leistungsbedarf bei Vollbelastung
- P_c = Gesamtleistungsbedarf bei konstanter Drehzahl
- P_v = Gesamtleistungsbedarf bei variabler Drehzahl

Abbildung 4-2: Energieeinsparung ΔP von Fördertechnik mit variabler Drehzahl [L19]

Der Energiebedarf des Motors hängt auch von der Auslastung des Motors ab, bei 25% Motorwellenleistung kann der Wirkungsgrad bis auf 60% sinken. Üblicherweise lohnt sich die Investition in Effizienzmotoren, da je nach Motorgrosse über 90% der Lebenszykluskosten auf die Energie entfallen. Bei 4'000 Betriebsstunden hat sich ein Motor der Effizienzklasse eff1 mit 40% Energieeinsparung in einem Jahr amortisiert [L19].

Der Energiebedarf für Szenario B entspricht aufgrund der Gruppierung nicht direkt dem fünffachen, andererseits ist je nach Lagerlogistik zusätzliche Fördertechnik zu berücksichtigen. Die total installierte Leistung für das Mittelfristzenario B wird auf 150 kW geschätzt, der durchschnittliche Verbrauch sollte jedoch um 100 kW liegen (siehe Abschnitt 4.6).

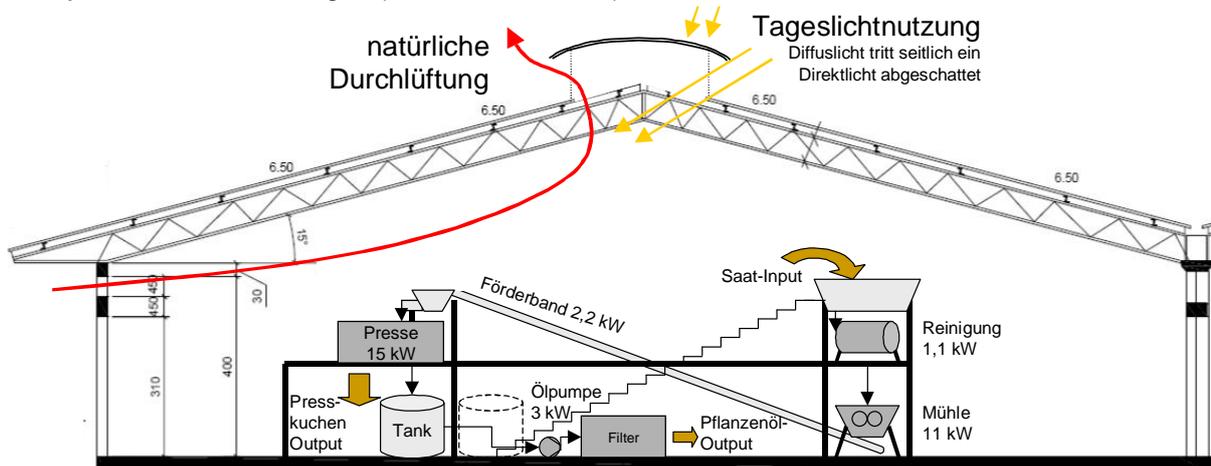


Abbildung 4-3: Anlagenlayout und Licht-/Lüftungsoptimierung (eigene Ergänzung von Architekturplan)

4.3 Energiebedarf Beleuchtung und Lüftungsaspekt

Bedarfsabschätzung

In der Fabrikhalle sind 54 Leuchten zu „2x 40 W“ vorgesehen, auf dem gesamten Werksareal total 123 (siehe Tabelle 4-2). Nach Rücksprache mit dem Elektrounternehmen sind die 40 Watt als Vergleichsleistung zu Glühbirnen zu verstehen, vorgesehen sei der Einsatz von Fluoreszenz-Leuchtmittel mit 60% Einsparung. Die Beleuchtung erfordert somit maximal 4-5 kW. Sparsamere Metall dampflampen werden für die Aussenbeleuchtung empfohlen, beim Einsatz als Hallenbeleuchtung wird die Zuverlässigkeit jedoch in Frage gestellt, Spannungsschwankungen könnten zu Überhitzung und Abschaltung oder ähnlichen Problemen führen [K5].

Eine kleine Energie- aber mögliche Kosteneinsparung betrifft die Beleuchtung der externen Toilette. Ein kleines Solarsystem, mit zwei DC-Leuchten erhältlich ab 100 € [K24], ist möglicherweise günstiger als die Erschliessung vom „Power House“ her mit rund 100 m Untergrundkabel (siehe Skizze Anhang 3).

Verschaltung der Leuchten

Tabelle 4-2 : Beleuchtung

Beleuchtung	total	Notstrom
Maschinenhalle	54	9
Lager	24	2
Werkstatt	6	1
Büro	18	18
Aussen	13	2
Nebenhäuser	8	1
total Leuchten	123	33
total kW	3,9	1,1

Die Verschaltung der Leuchten könnte optimiert werden [K5]. Einerseits sollte das Licht für Bereiche, die vorerst nicht oder kaum genutzt werden, separat geschaltet werden (Bereichsaufteilung, erfordert Layoutplanung). Andererseits sollte zwischen voller Nachtbeleuchtung und Tageslichtergänzung unterschieden werden können, indem z.B. jede zweite Reihe ausgeschaltet werden kann. Um bei einem nächtlichen Stromausfall nicht von kompletter Dunkelheit überrascht zu werden, wäre ein gewisses Sicherheitslicht zweckmässig. Die nebenstehende Tabelle spezifiziert eine gewisse Anzahl leuchten, deren Anschluss an eine (in Kapitel 8 diskutierte) Notstromversorgung empfohlen ist.

Tageslichtnutzung

Die Tageslichtnutzung scheint verbesserungsfähig. Offenstehende Türen als einzige Lichteintritte würde wohl zu dazu führen, dass das Kunstlicht stark auch tagsüber eingesetzt wird. Einfach zu integrieren sind transparente „Dachbleche“. Deren Fläche ist jedoch klein zu halten, um den Wärmeeintrag durch das intensive Direktlicht in Grenzen zu halten. Ein interessantes und recht verbreitetes Beleuchtungs- und Lüftungselement ist ein hochgestellter Dachfirst, siehe Abbildung 4-3. Das Direktlicht ist bei hohem Sonnenstand abgeschattet, Diffuslicht tritt seitlich ein.

Lüftungsaspekt

Gleichzeitig kann die erhitzte Luft nach oben entweichen. Bislang sind nur Lüftungsschlitze entlang der Nordwand vorgesehen, offene Fläche ca. 10 m². Laufen dereinst Maschinen mit über 100 kW in der Halle, so ist mit entsprechender Abwärme zu rechnen (>110 W/m²). Zudem ist anzunehmen, dass die unisolierte Blechdachfläche nochmals über 100 kW Wärme abstrahlen kann. (100 kW entspricht 12% der maximalen Sonneneinstrahlung 1'000 W/m² x Dachfläche 880 m².) Wenn auch nur 100 kW innere Wärmelast angenommen werden, so wäre ein 12facher Luftwechsel nötig, wenn die Innentemperatur gegenüber aussen nicht um mehr als 5 Kelvin ansteigen soll.

$$\text{Luftwechsel}[1/h] = \frac{\text{Wärmelast} \cdot 3600 \frac{s}{h}}{\Delta T \cdot \text{Wärmekapazität} \cdot \text{Luftdichte} \cdot \text{Luftvolumen}}$$

$$= \frac{100kW \cdot 3600s/h}{5K \cdot 1kJ/kgK \cdot 1,2kg/m^3 \cdot 5000m^3} = 12 \frac{1}{h}$$

Pro Sekunde sollten somit 16,6 m³ Frischluft in die Halle einströmen und erhitzt wieder austreten können. Wenn die Strömungsgeschwindigkeit 1 m/s nicht überschreiten soll, so ist für Ein- sowie Austritt jeweils 16,6 m² Öffnungsfläche erforderlich. Auf die Hallenlänge von 37 m entspricht dies einem 45 cm hohen Streifen. Der First sollte deshalb um mindestens 23 cm angehoben sein (beidseitiger Austritt), hinsichtlich Tageslichtnutzung und besserer Durchlüftung seinen 50 cm empfohlen. Um mehr als 16,6 m² bei der Einströmung zu erreichen, müssen mindestens 2 der 7 Tore offen sein.

Sowohl hinsichtlich Durchlüftung als auch Tageslichtnutzung sei hier empfohlen, auch an den Seitenwänden (vergitterte) Öffnungen vorzusehen. Es wird angenommen, dass unter Einhaltung dieser Empfehlungen auf ein Lüftungsgerät bzw. eine Klimatisierung verzichtet, und tagsüber die Beleuchtung ausgeschaltet werden kann.

4.4 Energiebedarf Bürobetrieb und Kleingeräte

Der Energiebedarf der 6 Büroräume plus Besprechungs- und Aufenthaltsraum ist im Vergleich zur Produktion gering. Solange die Produktion noch nicht ganzjährig ausgelastet ist, ist zeitweise (z.B. von Oktober bis März) nur der Bürobedarf zu decken. Stromausfälle legen den Bürobetrieb weitgehend still, insbesondere wenn mit Desktop-Computern (ohne Batteriepuffer) gearbeitet wird. Neben Lohnkosten für die resultierende Untätigkeit ist auch der mit einem plötzlichen Datenverlust verbundene Aufwand und Frustration zu beachten. Die Notstromversorgung für's Büro ist auch für den Fall ohne Produktion zu betrachten.

Kurzfristig wird mit 8 Computer zu durchschnittlich 100 W (inkl. Peripherie) während 10 Arbeitsstunden gerechnet (Szenario A), mittelfristig mit 12 Computern, wovon zwei 24h/Tag in Betrieb sind (Szenario B).

In der „Teeküche“ ist ein 10 kW Stromanschluss vorgesehen. Der bislang verwendete Wasserkocher hat eine Stromaufnahme von 2 kW, und würde somit bei 30 min Betrieb pro Tag 1 kWh Strom fressen. Im Hinblick auf die Dieselstromversorgung scheint ein Elektroherd für weitergehende Kochvorhaben sehr fragwürdig, könnte beim Direkteinsatz des Brennstoffs doch mindestens doppelt so viel Kochenergie bereitgestellt werden. Da der Dieselstrom jedoch zu einem sechstel seiner Kosten verkauft wird, ist der Strom günstiger. Aus Ressourcen- und Ökologiesicht sei jedoch empfohlen, einen Gasherd (passend für Biogas, siehe Kapitel 7) oder eine lokal übliche Feuerstelle im Aussenbereich anstelle des Elektroherdes vorzusehen. Dann kann auch bei Stromausfall gekocht werden.

Der Energiebedarf der Werkstatt wurde hier mangels Angaben nicht berücksichtigt, allfällige Maschinen werden vermutlich nur kurzzeitig betrieben. Schweißen stellt möglicherweise spezielle Anforderungen an Stromanschluss und Erdung.

4.5 Energiebedarf Wasserversorgung

Wie in Abschnitt 2.5 erläutert ist wenig Verlass auf die städtische Wasserversorgung; Dafür bietet sich die grosse Dachfläche zur Regenwassernutzung an. In der Regenzeit kann mit 4 mm/m².d gerechnet werden [L18]. Mindestens 1'000 m³ könnten jährlich aufgefangen werden, was mit einem Reservoir von 300 m³ den täglichen Bedarf von schätzungsweise 2 m³ abdecken könnte. Wie das Fabriklayout kann auch das Wasserversorgungskonzept hier nicht detailliert ausgearbeitet werden, zur groben Orientierung soll Tabelle 4-3, Abbildung 4-4 und Anhang 3 dienen.

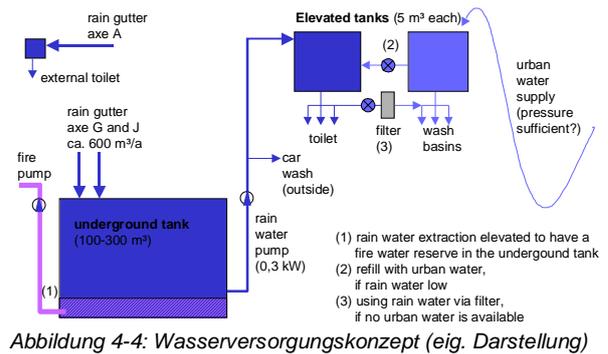


Abbildung 4-4: Wasserversorgungskonzept (eig. Darstellung)

Tabelle 4-3 : Niederschlagsmengen Mpanda

Niederschlag mm/d	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jahres Mittel
22jähriges Mittel	4,79	4,46	4,82	3,35	0,67	0,07	0,06	0,06	0,21	0,93	3,35	5,18	2,31 mm/d
m ³ in Rinne J	45	42	45	31	6	0	0	0	2	9	31	48	260 m ³ /a
m ³ in Rinne G	117	109	118	82	16	0	0	0	5	23	82	127	680 m ³ /a
m ³ in Rinne A	66	61	66	46	9	0	0	0	3	13	46	71	380 m ³ /a
Regenwasser	228	212	229	159	32	0	0	0	10	44	159	246	1319 m ³ /a

Ein „Direktanschluss“ der Tanks im Obergeschoss an die Regenrinne auf Achse G wäre denkbar, womit Pumpenergie gespart würde. Aus Angst vor einem Wasserschaden ist man diesbezüglich jedoch skeptisch. Die Wasserpumpe dann als Ausgleichslast betrieben werden. Um einen 5 m³ Hochtank in einer Stunde zu füllen (4-5 m Höhendifferenz), scheint eine Pumpe mit rund 300 W angebracht (Pumpenauswahl siehe [L13]).

Ein anderer Energieaspekt ist Warmwasser, falls erforderlich. Bislang ist keine Warmwasserversorgung geplant, für sporadischen Reinigungsbedarf kann kesselweise Warmwasser auf dem (Gas-) Kochherd bereitgestellt werden. Für den Fall, dass ein Warmwassernetz gewünscht ist, sind einfache Solar-Kollektoren von Dayliff [L13] über AGY Electrical Networking [K25] in Mpanda erhältlich (siehe Abbildung 4-5). Falls vorhanden kann auch Abwärme der Biogasverstromung genutzt werden.



Abbildung 4-5: Solar Warmwasser [L13]

4.6 Verbrauchsprofil

Abbildung 4-6 zeigt ein beispielhafter Verbrauchs-Tagesverlauf bei einer Presse (Szenario A), Abbildung 4-7 ein analoges Beispiel für 5 pressen (Szenario B).

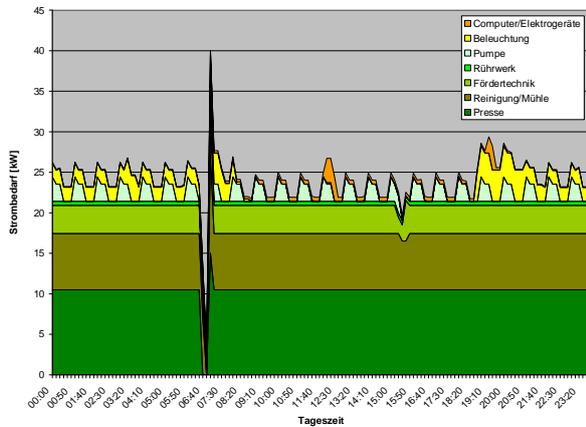


Abbildung 4-6: Verbrauchsprofil 1 Presse (eigene Darstellung)

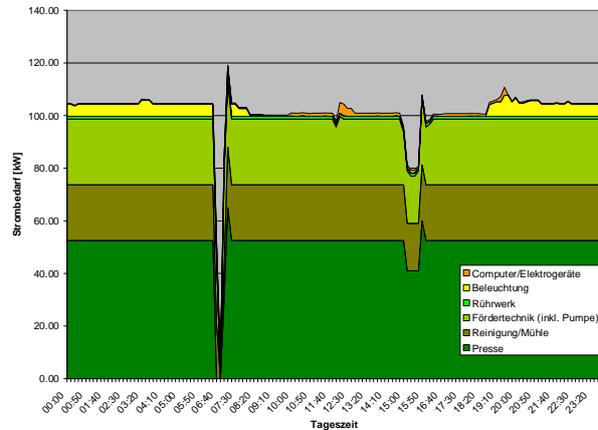


Abbildung 4-7: Verbrauchsprofil 5 Pressen (eigene Darstellung)

Um 7 Uhr wird ein kurzer Unterbruch und Neustart der gesamten Anlage angenommen (was nicht täglich vorkommen muss, aufgrund einer Störung aber möglich ist). Das Versorgungssystem muss mit den Schwankungen, insbesondere mit der Anfahleistung zurecht kommen. Bei den 5 Pressen wurde angenommen, dass die beiden Gruppen mit 3 Pressen leicht nacheinander anfahren, so dass eine „Höchst-Spitze“ von ca. 150 kW vermieden wird. Um 15 Uhr ist eine kleinere Betriebsstörung o.ä. eingetaktet, im Fall der 5 Pressen wird eine kurzzeitig abgestellt. Im Fall mit 1 Presse wird nur eine unregelmässigkeit in der Förderanlage simuliert, z.B. unzureichende Materialzuführung, welche auch den Leistungsbedarf der Vorbearbeitung leicht mindert.

Das Verbrauchsprofil mit 1 Presse ist deutlich schwankender, geprägt von der 3 kW Ölpumpe, die mangels Auslastung nur periodisch betrieben wird. Zudem sind auch die Schwankungen der Beleuchtung im Verhältnis zum Anlagenverbrauch höher. (Der Einsatz des Elektrokochherds ist orange in der Mittagszeit und um 19 Uhr zu erkennen, kann aber auch stellvertretend für einen anderen Kleinverbraucher wie eine Werkzeugmaschine gesehen werden.) Bei der einen Presse wir ein reduzierter Energieaufwand der Fördertechnik angenommen (wie oben diskutiert, Förderband statt Schnecke und Elevator). Bei den 5 Pressen wird die volle Mechanisierung angenommen, entsprechend ist der Fördertechnik-Bedarf höher. Dafür sind ist die Mühle und Reinigung besser ausgelastet.

5 Zukunftsperspektive und Ziele

5.1 Basis-Szenario Strombezug

In den Werkplänen ist ein „Power House“ mit einem Busbar von 2000 A vorgesehen. Multipliziert mit 230 V entspricht dies 460 kW, was deutlich über dem prognostizierten Bedarf liegt. In Absprache mit dem Elektro-Contractor wird eine Reduktion auf 1000 A empfohlen, was eine Kostenreduktion von rund 25% bzw. 2'300 € mit sich bringt [K5].

Am 30.04.2008 wurde der Strombezug beantragt; Kurzfristig für 50 kW (2008), mittelfristig für 150 kW (2012). Zumindest die Presse und der Crusher erfordern Drehstrom. Nach Rücksprache mit dem Tanesco-Ingenieur Mr. Maskini wären die Verluste einer Niederspannungsleitung ab dem nächsten 465 m entfernten Trafo zu hoch [K16]. Es wird die Verlängerung der 11 kV Leitung sowie eine neue Substation mit einem 200 kVA Transformator konzipiert (200 kVA x Leistungsfaktor 0.85 = 170 kW). Die Kostenschätzung dafür wird am 21.05.08 vorgelegt:

Table 5-1 : Kosten Stromanschluss Tanesco

Kosten Stromanschluss Tanesco			EUR	TZS korrigiert	Angebot in TZS
Hochspannungsleitung	11 kV	465 m	5.029,02	9.303.691,88	9.303.691,88
Substation (ohne Trafo)	200 kVA	11/0,4 kV	3.667,25	6.784.414,90	6.784.414,90
Transformator	200 kVA	11/0,4 kV	3.732,65	6.905.400,00	6.905.400,00
Service Line	3phasig	bis 30 m	556,14	1.028.850,00	1.028.850,00
Zwischensumme			12.985,06	24.022.356,78	
Mehrwertsteuer	20%		2.597,01	4.804.471,36	4.682.723,35
Depot für Stromzähler			81,08	150.000,00	150.000,00
Total			15.663,15	28.976.828,14	28.246.340,14



Abbildung 5-1: nächste Transformerstation (eigene Foto)

Die Kalkulation ist mit Vorsicht zu geniessen, die erste Auskunft war noch rund 2000 € tiefer: Angeblich wurden die Kosten für die 3x 500 m Draht vergessen. Da auch im Tanesco-Büro der Strom fehlte, war das Erstellen des vorliegenden Schriftstück eine längere Prozedur. Erst zu spät stelle ich fest, dass das Total sowie der Steuerbetrag nicht stimmt; Da die Abweichung zugunsten von Prokon ist, wird meinerseits der Einfachheit halber vorerst nicht interveniert.

Die Kosten müssen von dem Antragsteller getragen werden, gemäss dem Elektro-Contractor werden jedoch nicht die vollen Kosten verrechnet [K5]. Zukünftige Strombezüger in dem Gebiet werden sich an die Hochspannungsleitung anhängen können – so wie wir von der von der nächsten Substation profitieren, welche wohl von Reismühle finanziert wurde. Die Transformator-Kapazität bleibt jedoch reserviert [K16].

Anhang 3 zeigt die Aufstellung von Substation, Power House und Hauptverteiler. Die Substation muss ausserhalb des Zauns liegen, und da die Leitung der bestehenden Strasse folgen muss, bietet sich der Standort in der Ostecke an. Die überirdische Niederspannungsleitung kostet unter 30 m 556 €, darüber bis 70 m 1'000 €. Vorerst ist die Versetzung vom Power House bis 20 m an die Ostecke vorgeschlagen, der ursprünglich geplante Standort ist aktuell ohnehin vom temporären Baubüro besetzt. Sollte damit die werksinternen Verkabelung hingegen zu teuer werden, könnten die 70 m ausgeschöpft werden und das Power House östlich vom Werkstor platziert werden (vermeiden einer überirdischen Stromleitung über Werkstor).

Zum Schutz vor Schmutz/Öl, Tierfrass sowie Feuer soll der Hauptverteiler in einen separaten Raum verschoben werden, wo auch die Anlagensteuerung und andere sensible Technik Platz finden kann. Ein Blindstromkompensator ist gemäss Elektro-Contractor für die geringe Leistung anfangs nicht erforderlich, bei einer späteren Erweiterung sollte die Korrektur des Lastfaktors jedoch berücksichtigt werden. Gemäss Antragsformular darf der Lastfaktor nicht unter 0,9 liegen.

5.2 Entwicklung der Stromversorgung in Mpanda

Bedarfsentwicklung

Die im Kraftwerk eingesetzten Dieselgeneratoren nähern sich mit über 20 Jahre ihrer vorgesehenen Lebensdauer. Der für die thermischen Kraftwerke verantwortliche Senior Manager, Mr. Gregory Chegere, glaubt, dass die Maschinen nach einer Revision dem Bedarf in Mpanda auch in Zukunft gerecht werden, er erwartet keinen wesentlichen Anstieg der Nachfrage [K14]. Der neue Bedarf von Prokon würde mittelfristig hingegen eine Erhöhung der Stromproduktion um 18% erfordern (110 kW x

7500 h/a / 4,5 GWh/a). Auch weitere Hausanschlüsse werden angestrebt, für 2008 über 200 neue, was wohl ohne Erweiterung der Erzeugungskapazität unweigerlich zu vermehrter Überlastung des Lokalnetzes führen wird.

Biotreibstoff für Kraftwerk

Wie in Abschnitt 3.4 erwähnt besteht auch hinsichtlich Kosten Handlungsbedarf. Anfangs 2007 hat Prokon mit Tanesco die Möglichkeit diskutiert, Biotreibstoff 20% unter dem Dieselpreis für das Kraftwerk zu liefern [Q11]. Mr. Chegere bekundet beim Treffen vom 30.05.2008 verstärktes Interesse an dieser Option, was in Anbetracht der aktuellen Preissteigerung des Rohöls nachvollziehbar ist. Prokon soll jedoch die Kosten und die Haftung der Motorenumrüstung übernehmen und für den einmonatigen Testbetrieb das Pflanzenöl kostenlos liefern. Im Hinblick auf die altgedienten Motoren mit häufigen Störungen könnte es schwierig sein, zwischen üblichem Wartungsaufwand und Pflanzenöl-verursachten Schäden zu unterscheiden. Und was ist mit der Rück-Umrüstung, falls das Testergebnis abgelehnt wird?

Kapazitätserneuerung und -erweiterung

Die Frage der Erneuerung und Erweiterung der Erzeugungskapazität bleibt dabei offen. Ein neuer Pflanzenölmotor könnte auch bei Prokon stehen; So könnte in eigener Regie Erfahrung mit dem neuartigen Öl gewonnen werden könnte. Mr. Chegere kann sich ein solches Stromeinspeiseszenario jedoch vorerst nicht vorstellen [K14]. Von „Standardised Power Purchase Agreements“ wird zwar gesprochen ([K17]/[K19]), doch muss man wohl dennoch mit der Tanesco-Abteilung für Strategische Planung verhandlungseinig werden. Mr. Abdullah ist an Stromlieferungen über 1 MW interessiert, weniger sei die Mühe nicht wert [K15]. Für Mpanda würde dies gewissermassen einer „Gesamtlösung“ entsprechen. Angeblich wird an Zukunftsszenarien für Mpanda gearbeitet, Prokon solle sich beeilen mit einem detaillierten Proposal, sonst würden andere Wege – eventuell Wasserkraft – eingeschlagen (vorgestelltes Kurz-Proposal siehe Anhang 13). Eine (teure) Möglichkeit wäre auch der Anschluss an das nationale Netz, doch Produktionskapazität ist dort auch nicht überschüssig vorhanden.

5.3 Stromausfallkosten

Bleiben die Pläne auf geduldigen Papier, muss der Kosteneinfluss der unzuverlässigen Stromversorgung abgeschätzt und den Vor- und Nachteilen einer zumindest partiellen Eigenversorgung gegenübergestellt werden. Konzepte zu letzterem werden unter den in 5.4 festgelegten Forderungen in den folgenden Kapiteln skizziert. Zuvor jedoch einige Überlegungen zu den betrieblichen Stromausfallkosten.

Büroausfall

Es scheint üblich, dass das Büropersonal bei Stromausfall mehr oder minder untätig den Tag genießt. Zumindest die Lohnkosten für die unproduktive Arbeitszeit sind als Ausfallkosten zu betrachten. Sind drei Kaderpersonen mit einem Monatslohn um 500 € sowie drei Büroangestellte zu 150 €/Monat tätig (Szenario A), so betragen die Stillstandskosten etwas über 10 € pro Stunde (2100 €/Monat / 180 h/Monat). Für das Mittelfrist-Szenario B werden 15 € pro Stunde Büroausfall angesetzt, wobei Standkosten für Computer, „Overhead“, Gebäude etc. ausgeklammert sind. Ist eine Person aus Deutschland vor Ort, und wird an ihrer Arbeit gehindert, wären nochmals 10 €/h zu addieren. Noch signifikanter wäre der Kosteneinfluss, wenn wie in Abschnitt 3.4 erwähnt ein extra eingeflogener Experte seine Arbeit nicht erledigen könnte. Schwieriger zu quantifizieren sind die Kosten eines allfälligen Datenverlusts sowie die arbeitspsychologische Auswirkung der plötzlichen Unterbrechungen und zwangsweisen Untätigkeit.

Produktionsausfall

Produktionsausfallkosten könnten über die entgangene Marge der nicht-produzierten Güter berechnet werden, oder Stundensätze der Maschinen, was jedoch wenig sinnvoll ist, wenn die Produktion aufgrund geringer Auslastung gut auf später verschoben werden kann. Es kann zudem angenommen werden, dass Fabrikarbeiter auch ohne Strom gewisse Wartungs-, Reinigungs- oder Transportaufgaben erledigen können. In der Nachtschicht ist die Beleuchtung jedoch Voraussetzung. Bei ganztägigen Ausfällen ist die Belegschaft sinnvollerweise nach Hause zu schicken, wobei natürlich nie bekannt ist, wie lange der Unterbruch andauert.

Steht eine Ölpressen länger als zwei Stunden, droht der Presskuchen in der Maschine zu erhärten [K2]. Unterbrüche von über 2 h sind deshalb mühsam, die Presse muss geöffnet werden und der Presskuchen manuell entfernt. Auch Maschinenschäden sind möglich. Es könnte hilfreich sein, wenn statt dem überraschenden Stillstand ein Warnsignal eine Pufferzeit ankündigen würde (z.B. 5 min), in der die Anlage kontrolliert heruntergefahren werden kann. Monetär lässt sich diese Problematik kaum quantifizieren, für die spätere Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sei jedoch 5 € pro Ausfallstunde und Presse angenommen (Investkosten 400'000 € / Abschreibungszeit 10 Jahre).

Häufigkeit

Die Annahme von durchschnittlich 1 h Stromausfall pro Tag scheint realistisch; Wobei gewisse Tage sicher störungsfrei verlaufen, während an anderen der Strom während der Bürozeit ganz ausbleibt. Die rechts dargestellte Ausfallhäufigkeit im Beobachtungszeitraum 06.-21.05.08 mag ausserordentlich sein, doch mit ähnlichem muss man auch in Zukunft rechnen. Es seien jährlich 200 Ausfallstunden in der Verarbeitungszeit April bis September angenommen, 100 h während der Arbeitszeit des übrigen Jahres und 60 h nachts. Für Szenario A wären fürs Büro mindestens 3000 €/a anzusetzen plus 1000 €/a für Produktionsausfälle. Bei Szenario B wären seitens Büro 4500 €/a und für die Produktion über 8000 € zu kalkulieren.

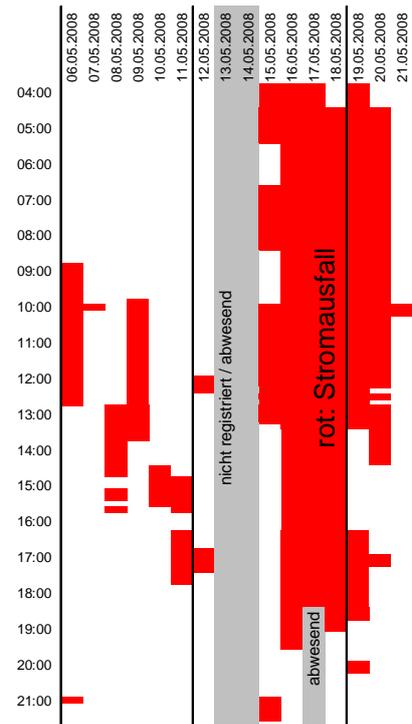


Abbildung 5-2: Stromausfälle Mpanda Mitte Mai 2008 (eigene Aufzeichnung)

5.4 Ziele

Eine Elektrizitäts-Grundversorgung ist sicherzustellen (*Muss-Forderung M1*), wobei die Kosten und Umstände von Stromausfällen den Investitions- und Betriebskosten einer ergänzenden oder autonomen Eigenversorgung gegenüberzustellen sind (*Optimierung O2*). Ein Verkauf von Überschussenergie wird nicht explizit angestrebt, ist jedoch möglich, falls wirtschaftlich attraktiv und organisatorisch handhabbar (*Optimierung O3*). Der Einsatz von erneuerbaren Energien wird bevorzugt, Mehrkosten sind jedoch zu minimieren und zumindest mit qualitativen Argumenten (z.B. positive Publizität, Vorbildfunktion) zu begründen (*Optimierung O4*). Funktionell wird folgendes angestrebt, in absteigender Dringlichkeit:

Tabelle 5-2: Funktionale Ziele

M5	Notbeleuchtung Nacht	Minimalbeleuchtung in der Halle plus Büroflur	Muss
W6	Unterbrechungsfreier Computerbetrieb	Mo – Sa 8 bis 18 Uhr	Wunsch
W7	Notbeleuchtung	Pro Raum eine Leuchte	Wunsch
W8	Kontrolliertes Herunterfahren der Maschinen	5 min Pufferzeit	Wunsch
W9	Durchgehender Maschinenbetrieb	24h/d	Wunsch

Wärmeseitig werden keine Anforderungen gestellt, wobei ggf. eine ökonomisch sinnvolle Abwärmenutzung anzuvisieren ist.

6 Ölbasierte Eigenversorgung

6.1 Antriebskonzepte

Das Energieversorgungskonzept konzentriert sich auf die Elektrizitätsversorgung, das laufende Bauprojekt ist auf einen Netzanschluss ausgelegt und elektrische Maschinen sind vorgesehen. Dennoch seien hier kurz verschiedene Möglichkeiten betrachtet, die benötigte mechanische bereit zu stellen. Eine Ölmühle kann auch ohne den Umweg über Strom direkt über einen Verbrennungsmotor angetrieben werden (Abbildung 6-1).

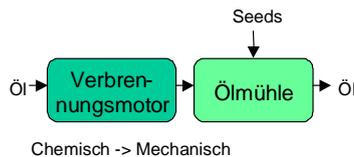


Abbildung 6-1: Direktantrieb über Verbrennungsmotor

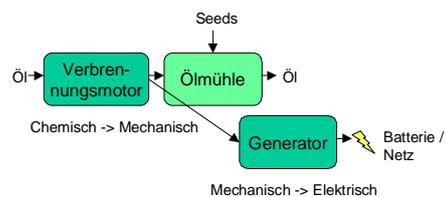


Abbildung 6-2: Lastausgleich Ölmühle/Generator

Die Jatropa-Aktivitäten von TaTEDO [L5] beinhalten z.B. die Installation von Multifunctional Platforms: Ein mit Jatropa-Öl getriebener Motor treibt diverse mechanisch gekoppelte Maschinen an, ein Generator kann ggf. die Restlast in Strom umwandeln. Experimentiert wird mit einem vergleichbaren Konzept auch an der FH Gelsenkirchen [K4]: ein Generator wandelt nur die Leistung, welche von der vorgeschalteten Jatropa-Pressen nicht benötigt wird, und glättet damit den Lastverlauf des Motors. Der Überschussstrom wird in die Batteriebank einer vorhandenen Photovoltaikanlage gespeist. Allerdings könnten der Effizienzgewinn des Verbrennungsmotors im Batterieverlust untergehen.

Der in Abbildung 6-3 dargestellte Inselbetrieb elektrisch scheint nur kurzfristig als Notstrom-Lösung zweckmässig, oder wenn die Ölmühle aus verschiedenen Komponenten besteht, welche einfacher elektrisch als direkt-mechanisch zu betreiben sind. In der bestehenden Sonnenblumen-Ölmühle von Mpanda hingegen ist ein Elektromotor im Einsatz, der über Riementriebe drei Pressen antreibt [K8]. Ein Grossmotor ist wohl preiswerter und effizienter als drei Kleinmotoren. Ein eigener Generator wird zwar seit der Installation des Kraftwerks vor gut 20 Jahren nicht mehr betrieben, was man in Anbetracht der aktuell sehr unzuverlässigen Stromversorgung jedoch bereit.

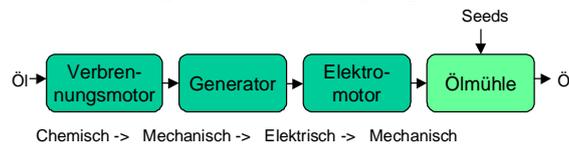


Abbildung 6-3: Inselbetrieb elektrisch

Über die gesamte Energiekette betrachtet ist der Elektro-Antrieb gegenüber dem direkt-mechanischen nicht nur mit zusätzlichen Investitionen in die Stromumwandlung verbunden, die Elektrizitätsumwandlung ist auch mit Wirkungsgradverlust verbunden. Die Elektrizität überzeugt jedoch durch ihre Multifunktionalität (Kraft, Licht, Wärme, Kommunikation/Steuerung) und die Vernetzungsmöglichkeit. Über das Stromnetz findet ein Lastausgleich statt, womit der Verbrennungsmotor regelmässiger und somit effizienter als im Inselbetrieb operieren kann.

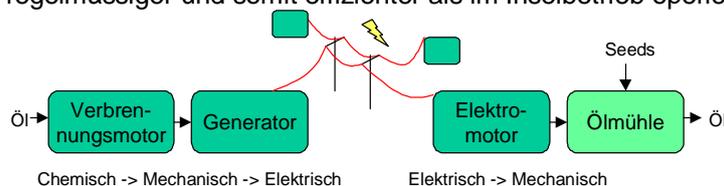


Abbildung 6-4: Elektrizitätsnetzanbindung (eigene Darstellungen)

Abbildung 6-4 zeigt die „Basislösung“ Netzanbindung, wobei der Verbrennungsmotor nicht nur das zentrale Dieselmotorkraftwerk sein kann, sondern auch ein eigenes Kleinkraftwerk. Letzteres wird bei Stromausfall zur Insellösung.

6.2 Standardlösung Diesel-Notstrom

Die landesübliche Notstromlösung sind Diesel- oder Benzin-betriebene Generatoren; Kleine tuckern reihenweise vor Ladenlokalen, große Motoren stehen vor Banken, Bürogebäuden, Spitälern und Fabriken. Der Elektro-Contractor Kalolo bietet einen für Szenario A dimensionierten 40 kVA-Dieselmotor (Perkins) für umgerechnet 21'180 € (39'183'000 TZS) an, inklusive Lieferung und Montage. Ein „Automatic Change Over Switch“ für weitere 4'243 € (7'850'000 TZS) erkennt, wenn das Stromnetz zusammenzubrechen droht, und startet den Motor für einen unterbrechungsfreien Übergang [K5]. Der Importeur in Dar es Salaam (Mantrac [K9]) offeriert die gleiche Maschine 40% günstiger (16'200 USD + 20% VAT), jedoch wohl ohne Lieferung und Montage (Olympian Generator, Perkins Diesel Engine Water Cooled, 1500 rpm, 50 Hz, 380-415 V, 3phasen, Lastfaktor 0,8). Der Übergangsschalter ist 60% günstiger (2'000 USD plus VAT). Für Szenario B käme ein 200 kVA-Generator der gleichen Baureihe in Frage, Mantrac-Angebot 42'800 USD plus Übergangsschalter 4'200 USD (exkl. VAT).

6.3 Einsatz von Pflanzenöl

Reines Pflanzenöl ist leicht viskoser als Diesel, der Schritt zum Biodiesel dient der Verflüssigung. Alternativ kann das Pflanzenöl zu 20-50% dem fossilen Diesel beigemischt werden, oder durch eine Umrüstung des Motors kann 100% Pflanzenöl eingesetzt werden. Prokon rüstet in Deutschland Fahrzeuge für den Pflanzenölbetrieb um, und hat auch Erfahrung mit dem Betrieb von Pflanzenöl-Blockheizkraftwerken. Ein Pflanzenöl-Motor scheint nahe liegend, da dieser mit dem Produkt der Mühle betrieben werden kann. Allerdings würde der selbstversorgende Betrieb bis zu 10% vom Endprodukt fressen (Grobrechnung: 23 kW / (75 l/h x 10 kWh/l x 30%)). Der in Anhang 4 vorgestellte Zündstrahlmotor funktioniert deshalb mit Pflanzenöl im Inselbetrieb, kann hingegen auch mit Biogas betrieben werden (Biogas Option siehe Kapitel 7). Die 110 kW Container-Lösung wird für 178'590 € angeboten, kleinere Motoren sind für diese Kombination leider nicht erhältlich.

Denkbar wäre auch der Transfer von Prokon-eigenen Gebraucht-Blockheizkraftwerken aus Deutschland: 4 Stück zu 150 kW liegen zur Zeit brach, da der Betrieb bei den aktuell hohen Pflanzenölpreisen unwirtschaftlich ist. Der mit den Anlagen betraute Techniker kann diese Option jedoch nicht empfehlen, da öfters Probleme im Betrieb aufgetreten sind [K1]. Wenn drei nebeneinander aufgestellt würden, wäre wohl eines schon stets einsatzbereit haltbar; Mit einem alleine könnte jedoch kein unterbrechungsfreier Betrieb garantiert werden. Eine kleinere technische Hürde wäre zudem, dass die existierenden Anlagen auf eine Spannung von 690 V ausgelegt sind, das könnte jedoch wohl modifiziert werden.

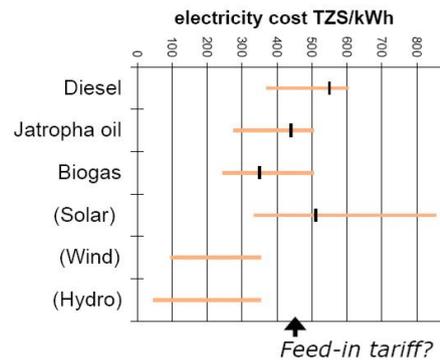
Hinsichtlich Notstrom-Inselbetrieb ist zu beachten, dass Verbrauchsschwankungen nicht beliebig aufgefangen werden können. Ein Teillastbetrieb ist höchstens bis 75% der Nennleistung vertretbar, darunter bereitet das Pflanzenöl Schwierigkeiten [K1]. Wird weniger Leistung bezogen als produziert, schaukelt sich die Spannung hoch, und es kommt zu einer Störung. Selbst für Szenario B ist ein Grossmotor mit 150 kW eher überdimensioniert; Wird eine oder mehrere Pressen ausgeschaltet (Wartung, Störung), liegt der Verbrauch weit unter 75%. Für eine Selbstversorgung müssten mehrere kleine Aggregate verwendet werden, um kleine Leistungen im vertretbaren Betriebsbereich fahren zu können. Dies gilt insbesondere auch für das System mit nur 1 Presse, wo die Normallast um 60% der maximal erforderlichen Leistung pendelt (siehe Lastprofil Abbildung 4-6). Es wäre jedoch nicht richtig, den Pflanzenöl-Motor nur deshalb auszuschliessen, da er dem Verbrauchsprofil nicht ideal folgen kann, denn mit Solar und Wind ist die zeitliche Variabilität zwischen Energieproduktion und Verbrauch noch grösser. Es zeigt jedoch, dass das Problem, das Solar und Wind hat, auch mit Pflanzenöl nicht optimal gelöst ist. Im Netzverbund ist hingegen ein geregelter Betrieb möglich.

6.4 Betrieb im Netzverbund

Der Notstrom-Generator wird anspringen, sobald das Netz – z.B. wegen Überlast – wegfällt. Doch wäre es nicht sinnvoll, dieser Überlast vorzubeugen, indem der Generator auch zur Energieproduktion beiträgt, wenn kein Stromausfall ist? Der Strombezug ist jedoch (bislang) deutlich günstiger als der Generatorbetrieb. Voraussetzung wäre eine kostendeckende Vergütung des produzierten Stroms, auch wenn dieser zumindest teilweise selbst konsumiert wird. Ist die eigene Stromproduktion höher als der interne Bedarf, ist zur Einspeisung ein Step-Up-Transformer erforderlich. Diese Investition wird sich erst für eine gewisse Leistung lohnen. Der Notstromgenerator könnte auf die projektierte Zukunftslast von 150 kW ausgelegt werden, und bis zum vollen Produktions-Scale-Up den Überschussstrom einspeisen. Im Ausgleich mit dem Netz kann der Motor gleichmässig auf Nennleistung laufen. Fällt das Netz doch aus, muss bei geringer Teillast dem Bedarf gefolgt werden. Vielleicht wäre es machbar, die Notstromerzeugung mit der benachbarten Industrie zu poolen, oder ein Notstromnetz für zahlungskräftige oder prioritäre Kunden wie Krankenhäuser aufzubauen.

Die interne Verwendung des Pflanzenöls zur Stromerzeugung, insbesondere zur Einspeisung, konkurrenziert den Pflanzenölverkauf. Doch gerade in der Anfangsphase, wenn Produktionsparameter und Ölqualität noch optimiert werden, könnte so eigene Erfahrung aufgebaut werden, bevor Reklamationen von externen Kunden kommen.

Abbildung 6-5: Anfrage einer Einspeisevergütung beim Energieministerium und Tanesco (eigene Darstellung)



7 Presskuchenverwertung

7.1 Nebenprodukt als Energieträger

Die hohe Energiedichte des Pflanzenöls ist vorteilhaft für den mobilen Einsatz im Transportwesen an, für die stationäre Stromerzeugung bietet sich hingegen auch das Nebenprodukt Presskuchen an. Mit jedem Liter Pflanzenöl fällt in der Produktion über 2 kg Presskuchen an, d.h. alles von der Saat bis auf die 30% Ölgehalt. Wird das Nebenprodukt energetisch genutzt, ist die geringere Ölextraktion der einfachen Kaltpressung gegenüber einer (energetisch aufwändigen) Warmpressung kaum nachteilig. Dass eine „sinnvolle“ Verwendung solcher Nebenprodukte keine Selbstverständlichkeit ist, illustrieren die Berge von Reisspelzen. Presskuchen von Speiseölen werden üblicherweise als Tierfutter verwendet, diese Möglichkeit entfällt jedoch wegen der Toxizität von Jatropha. (Wobei an der Entgiftung geforscht wird.)

Der Presskuchen ist sehr trocken (93% Trockensubstanz [Q13]), weshalb sich die Verbrennung anbietet. Das pulvrige Ausgangsmaterial kann zur einfacheren Handhabung pelletiert und so als Brennstoff z.B. für Kochstellen verkauft werden. Die Verstromung via Verbrennung ist möglich, der elektrische Wirkungsgrad der heute verfügbaren Technik ist jedoch bescheiden. Der Organic-Ranline-Cycle erreicht ca. 10%, Stirling-Motoren sind im Entwicklungsstadium und Dampfturbinen eignen sich erst für eine elektrische Leistung von 1-10 MW [K12]. Somit würde viel Abwärme anfallen, deren Anwendbarkeit im warmen Süden noch zu evaluieren ist.

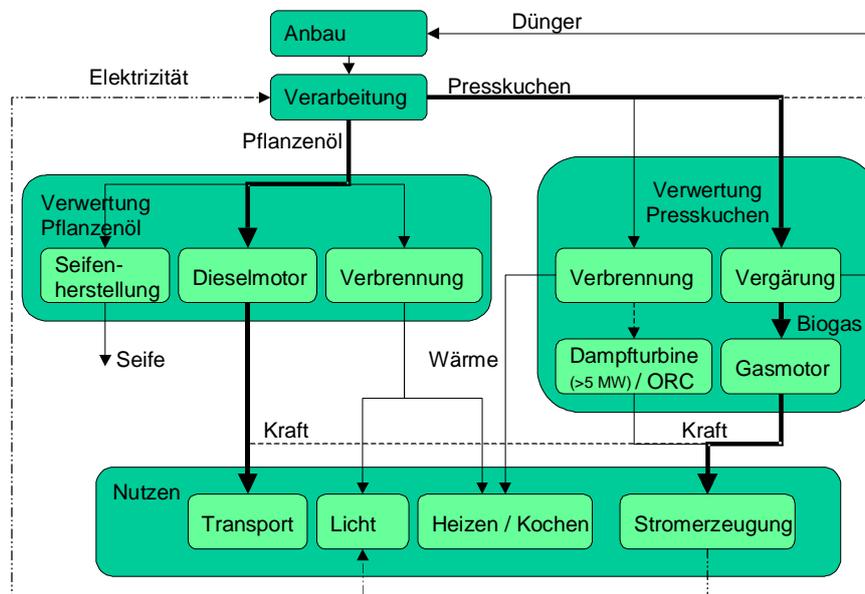


Abbildung 7-1: Verwertung von Jatropha (eigene Darstellung)

Die spröde Masse könnte als passabler Dünger auf die Felder gebracht werden, ohne Feuchtigkeit werden die Nährstoffe jedoch möglicherweise eher vom Winde verweht als zu Humus. Statt einer aufwändigen Kompostierung ohne Energieertrag bietet sich die Vergärung an, wobei der kompostierte Gärrückstand den Nährstoffkreislauf schliesst.

7.2 Biogas-Anlagevarianten

Gemäss [Q9] kann pro Kilogramm Presskuchen 335 Liter Biogas mit einem Methananteil von 70% gewonnen werden. Die eigene Analyse eines Presskuchen mit relativ hohem Restölgehalt ergab 476 Normliter Biogas mit 77% Methan pro kg organische Trockensubstanz [Q13]. CTU [K29] rechnet gar mit bis zu 650 l/kg organische Trockensubstanz (zum Vergleich: Gülle 200-500 l/kg oTS, Maissilage 450-700 l/kg oTS [Q10]). Biogas lässt sich mit einem Wirkungsgrad von bis zu 40% in Strom umwandeln (Beispiel Zündstrahlmotor in Anhang 4).

Bei der üblichen Nassfermentation liegt der Trockensubstanzanteil bei 3-12%, was ausgehend von dem zu 93% trockenen Presskuchen eine grosse Wasserezugabe erfordert. Satish Lele sieht für ein Kleinsystem mit 1 t Presskuchen pro Tag einen Wassereinsatz von 2'500 Liter (pro Stunde?!) vor [L17]. Sofern nicht Abwasser verwertet werden kann – wobei hygienische Aspekte zu beachten sind – ist der Wassereinsatz fragwürdig. Janina Senner hat in ihrer Diplomarbeit an der FH Gelsenkirchen ein Verhältnis 20% Presskuchen zu 80% Abwasser als optimal ermittelt; Bei dem Jatropha-Projekt in Nord-Ghana steht die Humusbildung und Abwasserentsorgung im Vordergrund [K4].

Die dort errichtete Haushalts-Kleinbiogasanlage ist dem geplanten Abwassersystem auf dem Prokon-Gelände nicht unähnlich. Im „Septic Tank“ (Abbildung 7-2 Mitte) ist der mikrobiologische Abbau der Fäkalien vorgesehen, eine Pufferwand verhindert den direkten Durchfluss zum Versicherungstank. Für eine zuverlässige Biogasproduktion müsste jedoch die Temperatur geregelt werden können, Heizleitungen wären nachzurüsten. Würde der Tankdeckel luftdicht verschlossen, könnten im vorhandenen Abwassersystem die Gasbildung des Presskuchens verifiziert und in kleinem Massstab praktiziert werden.

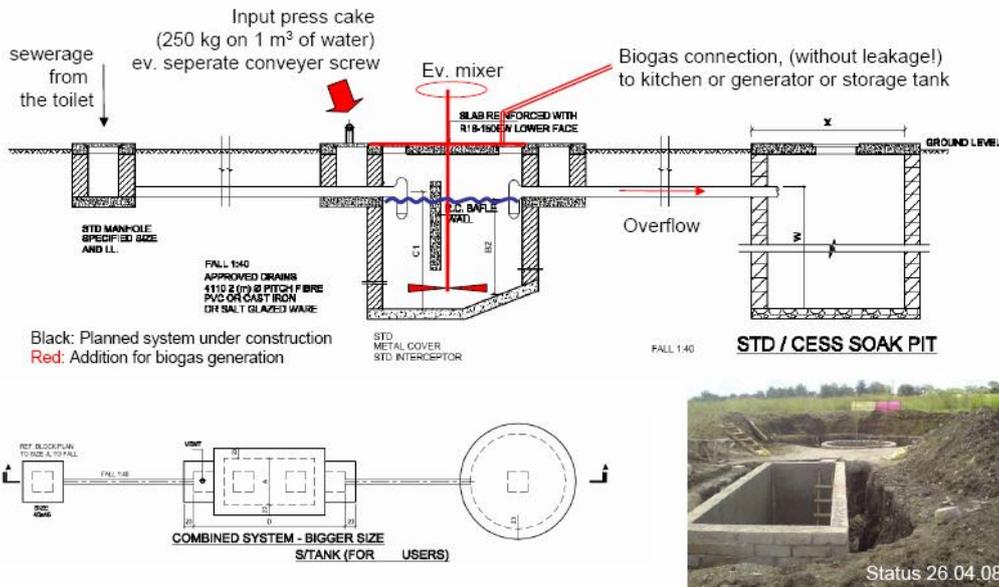


Abbildung 7-2 : Fabrik-Abwassersystem (eigene Ergänzung von Architekturplan)

Eine Nassvergärung von Presskuchen in grossem Ausmass erfordert jedoch zu viel Wasser. Kleinere Trockenfermentations-Optionen wurden mit Werner Edelmann diskutiert [K28]. Ein einfaches Batch-Verfahren wurde 1983 erfolgreich in Ruanda eingeführt [Q8]. In Kolumbien wurde ein folienüberdeckter Pfropfstromreaktor von 5 x 6 x 3 m wie in Anhang 5 illustriert realisiert. Die U-Form erlaubt eine kompakte Bauweise mit reduziertem Wärmeverlust und das Animpfen vom Eingangsbecken aus dem Ausgangsbecken. Eine gewisse Durchmischung des Breis in der ersten Kammer wird über ein Fahrrad mit Übersetzung sichergestellt (Abbildung 7-4).

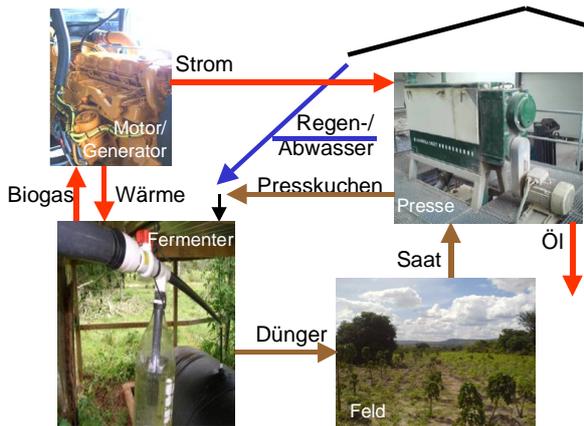


Abbildung 7-3 :
Zusammenspiel
Biogasproduktion (eigene
Darstellung plus Biogas-
Fermenter von [L16])

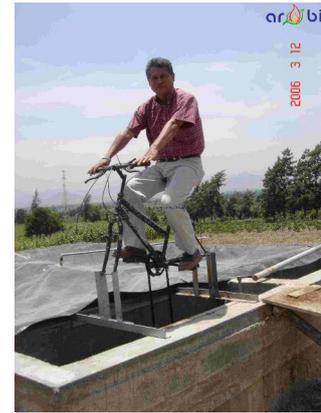


Abbildung 7-4 : Einfacher
Pflropfstromreaktor in
Kolumbien [K28]

In dem 80 m³ Fermenter (Tabelle 7-1 Grösse A) könnten bei einer Verweilzeit von 40 Tagen jährlich rund 150 m³ Presskuchen verwertet werden – ungefähr passend für die tägliche interne Abwassermenge (1-2 m³/d). Es könnten bis zu 90 MWh/a bzw. 3000 h zu 30 kW erwartet werden. Allerdings sollte die „Befütterung“ mit Presskuchen ganzjährig stattfinden, nicht nur während dem „Erntehalbjahr“, da das Anfahren eine mikrobiologische Herausforderung ist. Damit das Temperaturniveau gehalten werden kann, muss auch stets Motorenabwärme zur Verfügung stehen (siehe Zusammenspiel Abbildung 7-3). Der Motor könnte wärmegeführt auf tiefem Niveau betrieben werden, so dass eine Gasreserve entsteht, um bei Stromausfall die Leistung hochzufahren. Abbildung 7-5 illustriert einen Verlauf der Biogas-Stromproduktion: Rot zur Selbstversorgung während der Stromausfallszeit, rosa zur Reduktion des Strombezugs bzw. Warmhaltung des Fermenters. Ein Gasspeicher von ca. 50 m³ könnte eine 10stündige Autonomie ermöglichen.

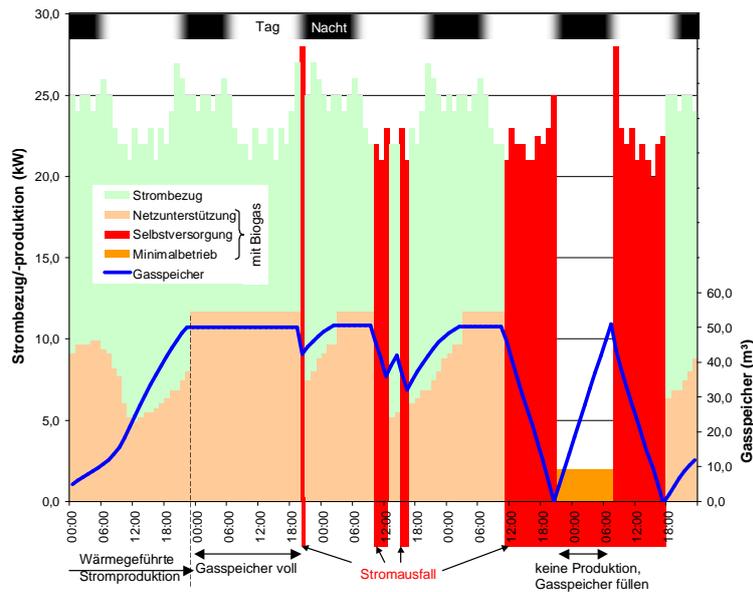


Abbildung 7-5: Netzunterstützung und Selbstversorgung mit Biogas-Strom

Orange dargestellt ist ein Minimalbetrieb, die Produktion wird bei Stromausfall nachts abgestellt, so dass sich der Gasspeicher füllen kann. Damit die Fermentertemperatur dabei nicht zu tief abfällt, könnte diese mit der Überschusswärme der vorangehenden Vollproduktion leicht angehoben worden sein. Eine gewisse „Steuerungszintelligenz“ ist erforderlich.

Eine zusätzliches Schmutzwasserbecken für ölhaltiges Abwasser war ohnehin angedacht, der weitere Entsorgungsweg war jedoch noch unklar. Der Aufwand, dieses als Fermenter auszubilden, scheint überschaubar. Eine tiefere Betrachtung übersteigt jedoch diese Machbarkeitsstudie; die Arbeitsgemeinschaft Bioenergie / Werner Edelmann [K28] ist interessiert, das multifunktionale Projekt weiter zu verfolgen.

Bei erfolgreichem Betrieb könnte der Kleinfärmer vervielfacht werden. Zur Selbstversorgung von Szenario B mit dem 110 kW Schnell-Zündstrahlmotor würde 20% der Presskuchenmasse ausreichen, der Fermenter müsste rund 1200 m³ umfassen. Würde die gesamthaft anfallende Presskuchenmenge vergärt, könnte damit gut 80% vom Strombedarf von Mpanda abgedeckt werden (Tabelle 7-1 Grösse C).

Tabelle 7-1: Biogas-Anlagedimensionierung

		Grösse A Testfermenter	Grösse B Selbstversorgung	Grösse C Stadtversorgung
Fermentervolumen	m ³	80	640	1500
Presskuchenmasse	t/a	150	1.200	5.000
	t/d	0,41	3,29	13,70
Wasserzugabe	m ³ /d	1,66	13,30	27,40
Total Substrat	t/a	757	6.053	15.000
Anteil Presskuchen		20%	20%	33%
Gasbildungspotential PK	m ³ /t oTS	380	400	470
Biogasbildung aus PK	m ³ /a	49.669	418.268	2.047.771
Energieinhalt Biogas	kWh/m ³	5,5		
Wärmeenergie	kWh _{th} /a	273.181	2.300.475	11.262.742
Wirkungsgrad Gasmotor		40%		
potentielle Elektr. Prod.	kWh _e /a	109.273	920.190	4.505.097
Sicherheitsfaktor/Eigenverbrauch		80%	90%	90%
Elektrizitätsproduktion	kWh_e/a	87.418	828.171	4.054.587
Motorenleistung	kW	30	110	750
Volllaststunden	h	2.914	7.529	5.406

7.3 Kompogas-Stadtversorgung

Die schweizerische CTU projiziert Kompogas-Trockenfermentationsanlagen und erstellt basierend auf ihre bisherige Erfahrung mit Jatropha-Presskuchen eine Grobabschätzung, siehe Anhang 6.

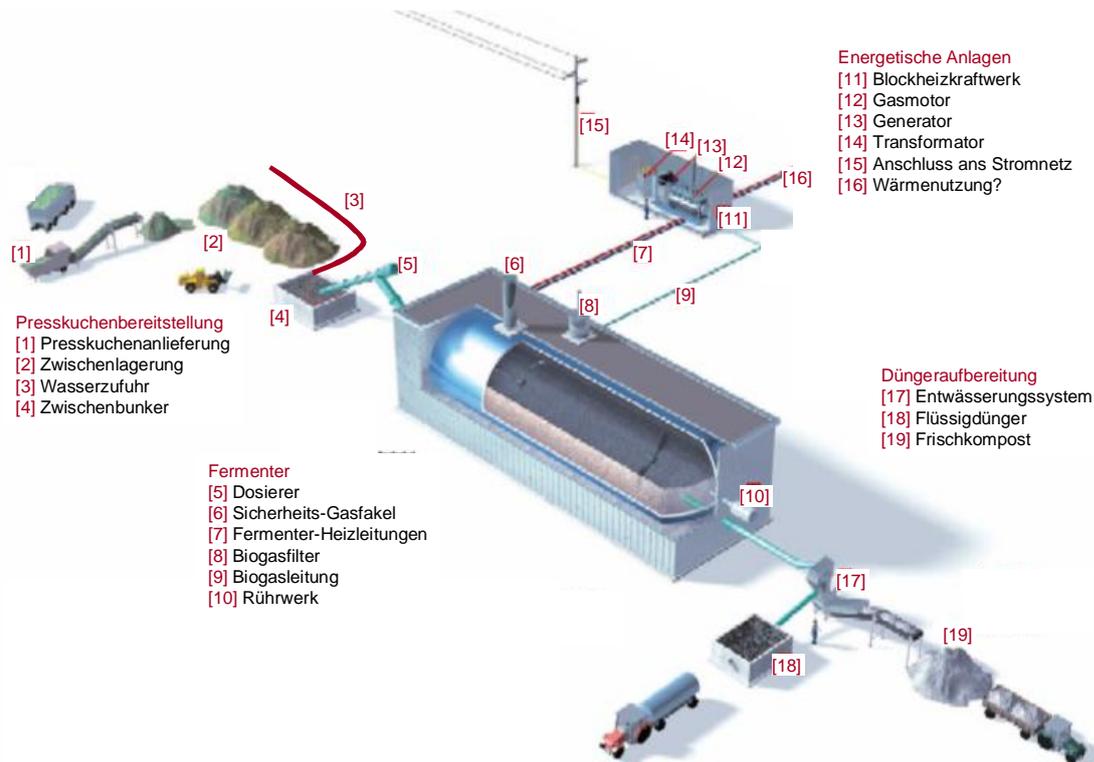


Abbildung 7-6 : Funktionsprinzip Kompogas-Trockenfermentation [K29]

Die 10'000 Jahrestonnen Wasser zur Reduktion vom Trockensubstanzanteil auf 31% sind zwar beachtlich; Wie in Abschnitt 2.5 ausgeführt ist in Mpanda grundsätzlich genügend Wasser vorhanden, die täglich benötigten 27 m³ könnten per Gravitation vom Staudamm zum Werk gelangen (keine Beanspruchung der städtischen Wasserpumpen). Ideal wäre die Kombination mit dem städtischen Abwassersystem, welches gemäss der Urban Water and Sewerage Authority in Planung ist [K6] – bislang existiert keine Kanalisation in Mpanda. Die Kläranlage wäre unweit vom Prokon-Areal vorgesehen, eine thermophil betriebene Kompogasanlage könnte die Funktion der Abwasseraufbereitung übernehmen (Hygienisierung bei 50-65 °C problemlos – bei Nassfermentation hingegen müsste zu viel Wasser erhitzt werden [K28]). Das hohe Temperaturniveau wird mit der

Abwärme vom Gasmotor aufrechterhalten. Das Endprodukt wäre neben Energie für das Werk und die Stadt Dünger, entweder in Breiform, oder getrennt in Presswasser und Komposterde. Das Presswasser wird teilweise rezirkuliert (animpfen), der Rest kann zur Flüssigdünger-Bewässerung dienen, ev. direkt über Rohrleitungen auf tieferliegende Felder. Zur Gewinnung von hochwertigem Humus sollte der ausgepresste Gärrest nachkompostiert werden, doch auch ohne diesen Schritt ist der vergorene Presskuchen sicherlich ein besserer Dünger als das trockene Ursprungsmaterial. Der Fermenter wäre bei 6 m Durchmesser 53 m lang (1'496 m³ Gärvolumen), und würde sinnvollerweise mit lokalen Baumaterialien gefertigt (Beton, Transport Stahltank zu aufwendig). Die Investitionskosten werden grob auf 2,25 Mio € geschätzt, für 15 €-cent könnte der Strom gewinnbringend verkauft werden. Das ist zwar halb so teuer wie Dieselstrom, doch eine Einigung mit Tanesco ist keine Selbstverständlichkeit. Mit einem 750 kW-Generator nähert man sich jedoch der gewünschten Vollversorgungslösung, eine Ergänzung mit Wasserkraft für die Spitzenleistung wäre ideal.

7.4 Wärmenutzung Tabaktrocknung

Eine einkommensgenerierende Abwärmenutzung ist in einem sonnenverwöhnten Land nicht so einfach, weshalb das hohe Temperaturniveau im Fermenter zur Reduktion der Verweilzeit angebracht scheint. Sinnvoll könnte die Saattrocknung sein, sofern dies nicht fast einfacher in der Sonne zu erledigen ist (analog Reistrocknung). Eine Trocknungskammer könnte auch für Tabak genutzt werden, dem bislang einzigen Cash-Crop der Region. Die Trocknungstemperatur wird stufenweise über einige Tage bis auf 65 °C erhöht, was mit Motorenabwärme gut machbar sein sollte. Pro Kilogramm trockenem Tabak werden rund 14 kg Holz verbrannt, entsprechend wird der Tabakanbau der Abholzung bezichtigt. Mit effizienteren Trocknungshütten will die „Association of Tobacco Traders of Tanzania“ den Holzverbrauch halbieren, und ein Afforestation Coordinator überwacht mittlerweile die Nachhaltigkeit der Waldbewirtschaftung. Pro Acre Tabak müssen 50 Bäume gepflanzt werden, d.h. 1/8 – 1/10 der Anbaufläche [K7]. Auch Jatropha wurde dafür schon gepflanzt. Die Flächenkonkurrenz zwischen Tabak- und Jatrophaanbau ist jedoch offensichtlich. Aber statt die gut organisierten Tabak-Leute zu verdrängen, könnten sie in die Jatropha-Logistik einbezogen werden (siehe SWOT-Analyse in Anhang 11).

Bislang wird der Tabak dezentral in kleinen Hütten nahe der Felder getrocknet, denn getrocknet ist die Masse der Blätter 10mal geringer. Für eine zentrale Trocknung kommen deshalb wohl nur Farmer in näherer Umgebung von Mpanda in Frage. Alternativ könnte der Presskuchen auch direkt als Holzersatz-Brennstoff in den existierenden Hütten eingesetzt werden. Dann muss zwar ähnlich viel Presskuchen zu den Hütten transportiert werden wie sonst ungetrockneter Tabak in die zentrale Trocknung, was aber den Presskuchen-„Dünger“-Transport substituiert. Der positive Aspekt der Humusbildung geht bei der Verbrennung verloren. Für die kleinmassstäbliche Verbrennung, eventuell in bricketierter oder pelletierter Form, auch zum Kochen, bleibt voraussichtlich auch neben der Biogaserzeugung noch genügend Material. Täglich 30 Tonnen Presskuchen zu entsorgen wird ohnehin eine logistische Herausforderung.

In der Region Iringa beheizen einige Farmer ihre Trocknungshütten auch schon elektrisch [L20], was ein besonderer Unsinn ist, wenn man nur die ungenutzte Abwärme der Dieselmotoren betrachtet.

8 Solar-Backup Büro und Beleuchtung

Die vorangehend diskutierten motorbasierten Versorgungsvarianten werden dem beachtlichen Produktions-Energiebedarf von 20-150 kW gerecht. Zumindest in den nächsten Jahren ist jedoch zu erwarten, dass die Produktion nicht das ganze Jahr läuft, d.h. zeitweise nur Strom für den Bürobetrieb erforderlich ist. Während dieser Zeit wäre es kaum sinnvoll (wenn überhaupt möglich), bei Stromausfall den auf 40 oder 150 kW ausgelegten Generator für 1-3 kW anzuwerfen. Für den Computerbetrieb ist ein Batteriepuffer in Betracht zu ziehen. So wie Laptops einige Stunden überbrücken können, könnten die Computer an eine gemeinsame Batteriebank gehängt werden. Um die Batteriekapazität insbesondere im Hinblick auf mehrtägige Ausfälle klein zu halten, bietet sich Photovoltaik an. Eine reine Batteriebank würde den Bedarf nur in Zeiträume mit Stromlieferung verschieben und den Netzneustart zusätzlich belasten.

8.1 Gleichstromversorgung

Da Computer grundsätzlich mit Gleichstrom arbeiten ist es nahe liegend, eine Gleichstromversorgung aufzubauen, statt das Gleichstromangebot der Batteriebank bzw. Photovoltaik über einen Wechselrichter in Wechselstrom umzuwandeln und wieder im Computer-Netzteil gleichzurichten. Sundaya [L10] bietet neben Gleichstromverkabelungssystemen und Beleuchtung auch Gleichstrom-Computer-Equipment (siehe Anhang 7). Die reine Gleichstrom-Versorgung wäre in Kombination mit einem direkt-mechanischen Maschinenantriebskonzept (siehe Abschnitt 6.1) eine einfache, autonome Inselösung.

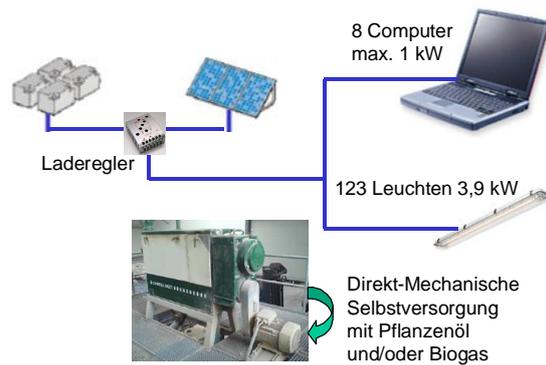


Abbildung 8-1 : Gleichstromversorgung

Der grosse Batteriepuffer ist jedoch ein signifikanter Kostenfaktor (mind. 25%) und in der Kette PV-Laderegler-Batterie-Verbraucher können 30-40% der Energie verloren gehen. Die Gleichstrom-Verkabelung ist nicht Standard, grosse Kabelquerschnitte sind erforderlich (\varnothing 6-10 mm? Aufteilung in mehrere Stränge, sonst $5 \text{ kW}/24 \text{ V} = 200 \text{ A}$; Kabellänge wegen Leitungsverlust beschränkt). Die Elektro-Arbeiten sind für eine solch signifikante Umstellung wohl bereits zu weit fortgeschritten. Das Konzept wird deshalb hier nicht weiter vertieft, wäre jedoch für einen weit abgelegenen Standort durchaus eine interessante Option.

8.2 Wechselstrom-Inselanlage

Wird die normale Wechselstromverkabelung genutzt, sind Computer sowie die Sicherheitsbeleuchtung an eine Kabelabzweigung zu hängen, welche bei Stromausfall abgetrennt und solar bzw. von der Batterie gespeisen werden kann (Abbildung 8-3). Ein Wechselrichter wandelt den Gleichstrom in Wechselstrom. Einfache USV-Lösungen bzw. „Inverter-Charger“ von Victron Energy [L14] sind in Dar es Salaam bei Umeme Jua [K23] erhältlich (z.B. Phoenix MultPlus 24 V / 1,6 kW für 1'140 €). Den Solarstrom bei vorhandenem Netz synchron einspeisen kann hingegen nicht jeder Wechselrichter. Alternativ wird bei voller Batterieladung ein „künstlicher Stromausfall“ generiert, und der Solarstrom im Inselbetrieb genutzt. Das würde zu vielen Batteriezyklen führen, selbst bei Direkt-Solarstrom-Nutzung ohne Umweg über die Batterie sind Wandlungsverluste über 20% zu berücksichtigen.

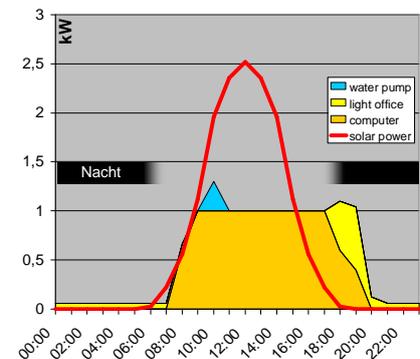
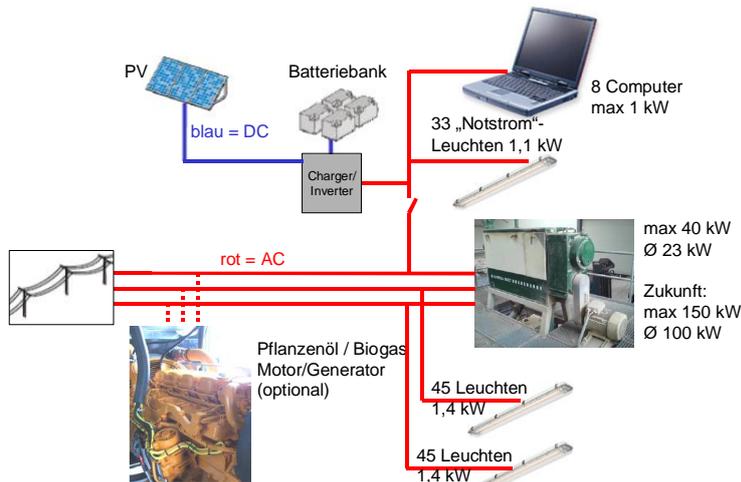


Abbildung 8-2 : Bedarfsprofil Büro

Abbildung 8-3 : Wechselstrom-Inselanlage

Abbildung 8-2 zeigt ein Büro-Lastprofil, welches im Inselbetrieb abgedeckt werden sollte. Eine Solaranlage mit 2,5 bis 3 kW Peakleistung scheint für Szenario A angebracht. Um Überschussstrom zu verwerten, könnte gegebenenfalls die Regenwasserpumpe eingesetzt werden. Ein auf diesem Prinzip beruhendes System mit 2 kW wird von Ensol für 18'700 € angeboten, Details siehe Anhang 8.

8.3 Wechselstromkoppelung

SMA Solar Technologies [L11] verfolgt mit der Wechselstromkoppelung ein anderes Anlagenprinzip, siehe Abbildung 8-4. Solange Strom vom Netz verfügbar ist, operiert die PV-Anlage mit hoher Effizienz wie eine Netzverbundanlage. Der Batteriepuffer bleibt während dieser Zeit unberührt, im Gegensatz zum oben zuvor beschriebenen Prinzip entfallen die Batterie-Wirkungsgradverluste. Die

Batterie wird von der „SunnyIsland“ verwaltet, welche bei Stromausfall in Abstimmung mit dem „SunnyBoy“-Wechselrichter die Inselversorgung regelt. An der gleichen Phase wie die PV-Einspeisung hängt so viel Last, dass nichts ans Netz zurück fließt, sondern nur der Strombezug reduziert wird. Ein Problem bei dieser Anordnung könnte jedoch der maximale Leistungsdurchsatz von SunnyIsland 3324 sein, die 12,8 kW würden spätestens bei einer Erweiterung auf mehrere Pressen überschritten. Die Anordnung der SunnyIsland an einer Verzweigung ähnlich wie in Abbildung 8-3 könnte in Betracht gezogen werden; Am Mittag könnte aber Überschussstrom, der durch die SunnyIsland zurückfließen müsste, problematisch sein. Neuere SunnyIsland Modelle können einen höheren Leistungsdurchsatz tolerieren. Die Integration der Solaranlage in die Elektroplanung erfordert weiterführende Informationen und Fachkenntnisse. Das vorliegende Angebot über 22 T€ exkl. Steuern und Transport (Anhang 9) kann mit SMART Powersystems [K20] weiter vertieft werden. Der Geschäftsführer Erich Hauck war für Wasserkraftprojekte länger in Tansania tätig, empfiehlt heute jedoch klar den wartungsarmen Solaren weg.

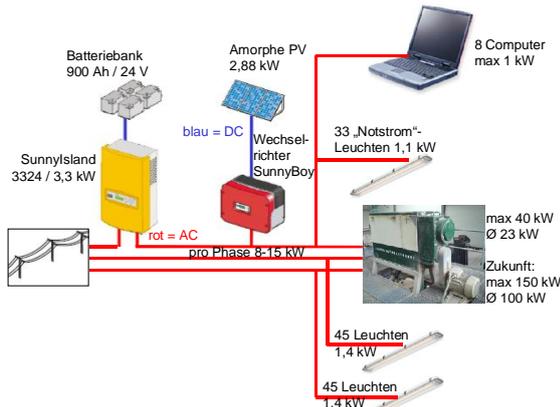


Abbildung 8-4: AC-gekoppeltes Solarsystem

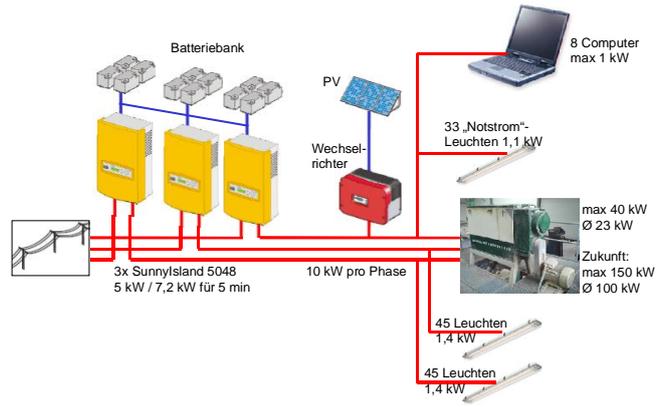


Abbildung 8-5: 3phasen Absicherung

Mit drei SunnyIsland 5048, (neueres/grösseres Modell) kann auch eine dreiphasige Notstromversorgung aufgebaut werden (Abbildung 8-5). Die auf 5 kW ausgelegten Inselregler können für 5 Minuten je 7,2 kW aus den Batterien ziehen, und die angedachte Pufferzeit zum Herunterfahren der Produktion gewähren. Für höhere Leistungen können mehrere SunnyIslands-Gruppen miteinander verschaltet werden. Die Expansionsmöglichkeit ist jedoch auf 150 kW beschränkt, und wenn jede Einheit gut 3,5 T€ kostet, scheint die Pufferzeit teuer erkaufte. Das SunnyIsland-Konzept überzeugt mit flexibler Integrationsmöglichkeit verteilter erneuerbarer Energiequellen in einem Dorfnetz (Abbildung 8-6). Ob es jedoch für die gegebene Industrierversorgung geeignet ist, bedarf weiterführender Expertise.

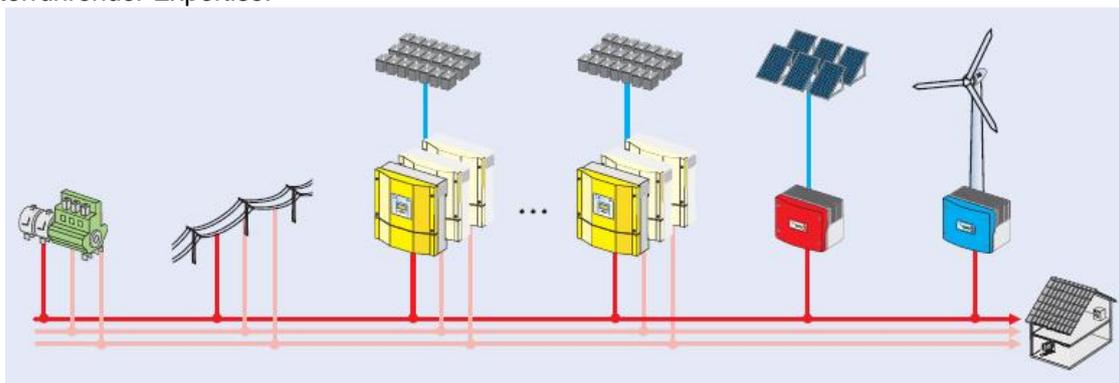


Abbildung 8-6: Flexible Verknüpfung von erneuerbaren Quellen

Hinsichtlich Netzverbund mit afrikanischen Stromnetzen ist zu berücksichtigen, dass der Wechselrichter den Solar-Gleichstrom nur in einem beschränkten Frequenzbereich einspeist [K4]. Spannungs- und Netzfrequenzschwankungen sind bei einem überlasteten Netz zu erwarten; SunnyIsland würde ausserhalb vom eingestellten Frequenzband auf Inselbetrieb wechseln, was gleichzeitig elektronische Geräte schützt. Die Produktionsmaschinen sollten dabei jedoch nicht abgeworfen werden, was für eine Anordnung von SunnyIsland und –Boy an einem „Abzweiger“ spricht.

8.4 Komponenten und Platzierung

Batterietyp

Abgesehen von der unterschiedlichen Verschaltung unterscheidet sich die Komponenten der beiden Angebote. Verschlossene Blei-Gel-Batterien haben eine hohe Zyklenfestigkeit, werden als wartungsfrei bezeichnet und deshalb trotz des höheren Preises von Systemanbietern in Tansania empfohlen [K25]/[K22]. Günstige Blei-Säure-Akkumulatoren müssen regelmässig mit destilliertem Wasser nachgefüllt werden. Wird dies jedoch zuverlässig gemacht – es können auch Systeme zur Feuchtigkeitsrückgewinnung angewendet werden – lebt die Batterie insbesondere in einem warmen Umfeld länger als eine teure verschlossene Batterie. Denn über ein Überdruckventil entweicht bei hohen Temperaturen Flüssigkeit aus verschlossenen Batterien, welche nicht mehr nachgefüllt werden kann. Blei-Säure Akkulatoren kosten rund 200 €/kWh Speicherkapazität und erlauben 80-90% Energierückgewinnung, während Nickel-Cadmium Batterien gut 600 €/kWh kosten und nur 55-65% Wirkungsgrad aufweisen. Für das wechselstromgekoppelte System mit wenigen Batteriezyklen, aber auch für warme Gebiete und grosse Kapazitäten allgemein, seinen Blei-Säure Akkulatoren empfohlen. Dies der Standpunkt von SMART [K20], auf eine weiterführende Analyse sei hier verzichtet. Auf jeden Fall sollte auf eine möglichst kühle Temperatur des Batterieraums geachtet werden, sonst verkürzt sich die Lebenszeit.

Amorph versus Kristalline Photovoltaik

SMART bietet auf Dünnschicht-PV-Module von Schott an (amorphes Silizium), zu attraktiven 3 €/Watt. Ensol verweist hingegen auf die kurze Garantiedauer und den tiefen Wirkungsgrad, und empfiehlt deshalb kristalline Zellen, allerdings zu beachtlichen 5 €/Watt. Tatsächlich muss die Dünnschicht-Technologie ihre Langzeitstabilität erst noch unter Beweis stellen. Da der Wirkungsgrad jedoch bei hohen Temperaturen weniger abfällt (Abbildung 8-7), bietet sich deren Einsatz in Afrika an.

Modultyp	monokristalin	polykristalin	amorph
Fläche für 3 kW (m ²)	21,6	23,3	54,3
Leistungsabfall pro Kelvin	0,51%	0,43%	0,21%
Leistung bei 45 °C (kW)	2,69	2,74	2,87

Abbildung 8-7: Flächenbedarf und Leistungsabfall durch Erwärmung je nach Modultyp (Modulserie von Ensol, eigener Vergleich)

Dachfläche

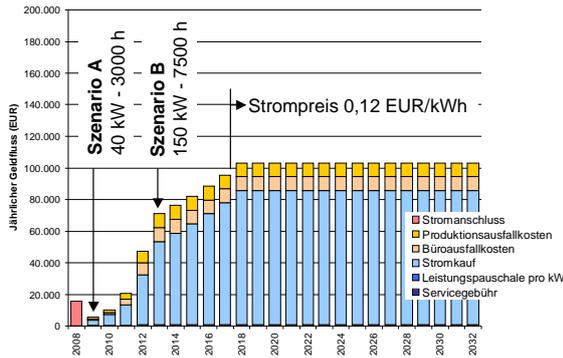
Geringer Wirkungsgrad bedeutet Fläche und damit etwas mehr Montageaufwand, doch grundsätzlich ist genügend Dachfläche vorhanden. Auf der Haupthalle könnten gut 25 kW amorphe Photovoltaik Platz finden, allerdings erlaubt die grosse Spannweite der Dachträger diese Zusatzlast kaum. Beim Statiker angefragt wurde die Belastbarkeit der Fläche über der Werkstatt, welche für 4 kW ausreicht. 44 Schott ASI 90 Module zu 18 kg ergeben 792 kg, plus Unterkonstruktion rund 1 Tonne auf 5,5 x 12,5 m. In der Fortsetzung könnten über dem Lager weitere 12 kW installiert werden. Theoretisch hätten total 41 kW Dünnschicht oder bis zu 100 kW kristallin Platz. Die Dachneigung ist mit 15° für den sechsten südlichen Breitengrad angebracht; nicht ideal aber akzeptabel ist die Orientierung nach Nord-Osten. Die Werkstattfläche wird zwar von dem davor liegenden Hallendach überragt (siehe Seitenansicht in Anhang 3), bei dem steile Sonnengang nahe Äquator ist jedoch nicht mit einer Verschattung zu rechnen. Die „Sattellage“ reduziert die Absturzgefahr.

9 Auswertung

9.1 Wirtschaftlichkeitsrechnung

Basisvariante

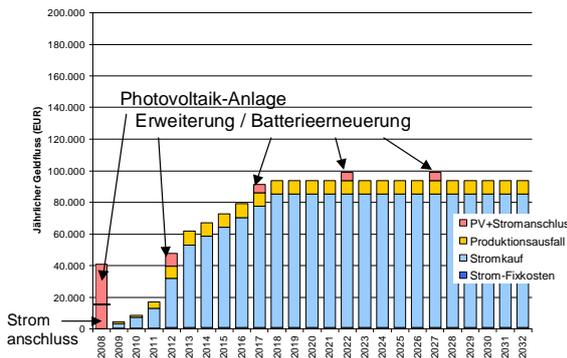
Die Versorgungsvarianten werden mit dem in Abschnitt 5.1 vorgestellten Basisvariante verglichen: Strombezug von Tanesco und Ausfallkosten. So wie der Strompreis kürzlich um 20% angehoben wurde, wird eine weitere jährliche Preissteigerung von 10% bis auf 12 €-cent/kWh angenommen (2018 erreicht). Es ist gut möglich, dass der Dieselpreis weiter ansteigt und ohne Umstellung in der Energieversorgung mit noch mehr Stromausfällen zu rechnen ist, dennoch wird zurückhaltend mit jährlich konstant 360 Ausfallstunden gerechnet. Für 12 €-cent/kWh sollten erneuerbare Alternativen verfügbar sein (siehe Biogas-Stadtversorgung).



Die jährlichen Geldflüsse werden mit 7% abdiskontiert, beurteilt wird die Netto-Barwert-Differenz der Alternativen gegenüber der Basisvariante. Eine statische, getrennte Betrachtung von Szenario A und B, z.B. über die Annuitäten-Methode, scheint wenig sinnvoll, da das Szenario A nicht mehrere Jahre läuft, sondern fließend in Szenario B übergeht. Beurteilt wird jeweils ein Entwicklungspfad. Die abdiskontierten zukünftigen Kosten der Basisvariante belaufen sich auf 693 T€.

Abbildung 9-1: Geldflüsse Basisvariante

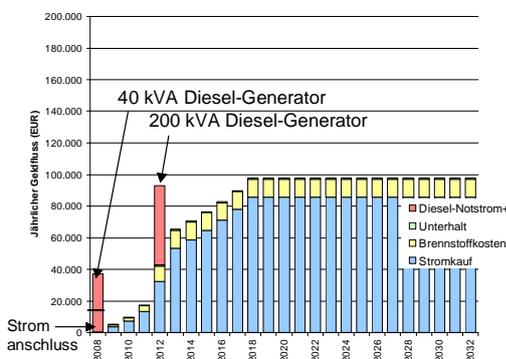
Variante Photovoltaik-Büro-Backup



Zur Abdeckung der Büroversorgung wird 2008 25 T€ in eine Photovoltaik-Anlage investiert, 2012 wird diese erweitert, und alle 5 Jahre fallen Kosten zur Erneuerung der Batterien an. Die Strombezugskosten bleiben ähnlich, die eingesparten Büroausfallzeiten rechtfertigen jedoch die Investition. Gegenüber dem Basiszenario werden nach 7% Verzinsung weitere 9 T€ eingespart. Die von REA-Unterstützung von 1,3 €W [K19] bzw. rund 3'600 € ist wohl primär für ländliche Haushalte gedacht, eine Anfrage kann jedoch nichts schaden.

Abbildung 9-2: Geldflüsse Stromanschluss plus PV-Backup

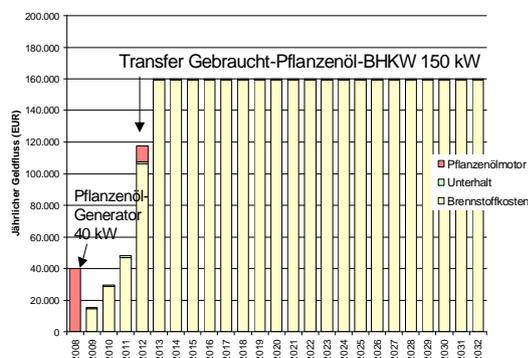
Notstrom-Dieselmotor



Die Investition in einen Diesel-Notstromgenerator verteilt sich nur auf wenige Produktionsstunden, und die Eigenerzeugung ist bei 1,2 €/l Diesel teuer. Deshalb liegen die abgezinsten Kosten einer Diesel-Notstromversorgung 43 T€ über dem Basis-Szenario. Die abgezinsten Geldflüsse einer Diesel-Vollversorgung belaufen sich gar auf nahezu 2 Millionen, 1,2 Mio über dem Basis-Szenario. (Ohne Berücksichtigung einer weiteren Ölpreissteigerung.)

Abbildung 9-3: Geldflüsse Diesel-Notstrom

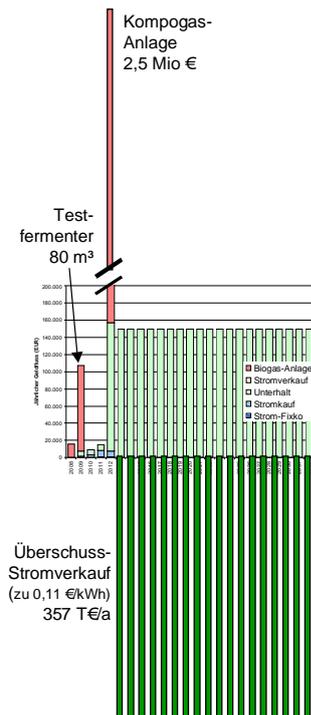
Pflanzenöl-Selbstversorgung



Selbst wenn relativ bescheidene Investitionskosten für den Pflanzenöl-Generator angenommen werden, rechnet sich die Eigenversorgung mit Pflanzenöl nicht. Selbstkosten bzw. Opportunitätskosten seien 0,8 €/l Pflanzenöl angenommen. Der subventionierte Netzstrom ist zu günstig. Die abgezinsten Kosten wären total 1,3 Mio €, 600 T€ über der Basisvariante. Die Notstromversorgung mit Pflanzenöl könnte unter den gleichen Bedingungen ganz knapp wirtschaftlich sein.

Abbildung 9-4: Geldflüsse Pflanzenöl-Selbstversorgung

Biogas-Stadtversorgung



Die Geldflüsse der Variante Biogas-Stadtversorgung übersteigen den Darstellungsmassstab, bei einem Stromverkaufspreis von 0,11 €/kWh oder darüber wäre dies jedoch attraktiv. (In Abstimmung mit der Annahme, dass mittelfristig die Stromkosten auf 0,12 €/kWh steigen.) Bei 0,11 €/kWh beträgt der Nettobarwert-Gewinn nach der 7%-Verzinsung noch 15 T€, bei einem Verkaufspreis von 0,10 €/kWh hingegen kann gerade noch eine interne Verzinsung von 5,4% erreicht werden. Nicht berücksichtigt sind mögliche Kompost-Verkaufserträge und Abwasserentsorgungs-Entgelte. Das Resultat reagiert sensitiv auf Änderungen; sicherheitshalber werden die Investitionskosten für die Kompogas-Anlage über der Schätzung von CTU angesetzt (2,25 Mio €, plus Stromanschluss, ggf. Abwasseranbindung, Transport.) Diese Investition setzt einen erfolgreichen Test im Klein-Fermenter voraus, welcher ab 2009 als Notstrom-Unterstützung eingesetzt würde. Eine weniger investitionsintensive Option wäre, sich auf die Eigenversorgung zu beschränken, womit jedoch nur 20% des Presskuchens in Kompost umgewandelt werden könnte. Diese Option scheint ebenfalls günstiger als die Basis-Variante, die Annahmen (Kosten Test-Fermenter etc.) sind jedoch sehr wage. Erträge aus der Wärmeverwertung und Opportunitätskosten zu anderen Presskuchen-Verwertungsmöglichkeiten sind ebenfalls nicht berücksichtigt.

Abbildung 9-5: Geldfluss Biogas-Stadtversorgung

9.2 Empfehlungen

Schritt 2: Biogas-Test- und Notstrom-Anlage

Ist der Biogas-Test erfolgreich, könnte mit einem kleinen 2kW Biogas-Generator auch der Bürobetrieb autonom aufrecht erhalten werden. Das Biogas muss ohnehin auch während der Zeit ohne Produktion verwertet werden. Der thermische Einsatz z.B. zum Kochen, eventuell ein Verteilnetz zu Nachbarn wäre ebenfalls möglich. Der Biogas-Testfermenter scheint jedenfalls zumindest als Notstrom-Option ein Versuch wert, auch als hilfreiches Element der internen Abwasserentsorgung. Die kombinierte Presskuchen- und Abwasserentsorgung könnte im Rahmen einer Entwicklungszusammenarbeit entwickelt werden (GTZ oder auch die schweizerischen Entwicklungsorganisation DEZA könnte interessiert sein). Für fachmännischen Rat hinsichtlich Trockenfermentation sei die Arbeitsgruppe Biogas / Werner Edelmann [K28] empfohlen.

Schritt 3: Biogas-Stadtversorgung

Die Weiterentwicklung zur Biogas-Grossanlage soll sich nach der Erfahrung mit der Testanlage orientieren, und logistische Aspekte der Presskuchenhandhabung berücksichtigen. Hinsichtlich Investition und Betriebsführung einer Grossanlage könnte eine Kooperation mit anderen Unternehmen sinnvoll sein; Mkonge Energy Systems Co. Ltd. [K30] könnte sich zu einem kompetenten Biogas-Anlagenbetreiber entwickeln. Eine separate Geschäftsführung scheint sinnvoll, wobei auch externe Investoren an einer Beteiligung interessiert sein könnten. Sollte die Kompogas-Strategie bereits feststehen, kann das Projekt direkt mit CTU [K29] vorangetrieben werden. Ebenfalls könnte der „Tansania-erfahrene“ Projektierer der Sisal-Biogasanlage, Bioenergie Berlin, [L15] kontaktiert werden. Kompogas scheint jedoch eines der international am besten erprobten Trockenfermentationsverfahren, und die Nassfermentation in grösserem Stil wegen dem über 3mal höheren Wasserbedarf ungeeignet.

Schritt 1: Photovoltaik-Backup

Die Mikroorganismen können sehr gute Arbeit leisten, sie mögen aber „eigenwillig“ sein, bzw. der reibungslose Betrieb ist nicht garantiert. Deshalb sei die Solaroption als Absicherung des Bürobetriebs als erster Schritt empfohlen. Damit kann auch eine kurzfristige Unabhängigkeit geschaffen werden, bevor der Netzanschluss realisiert wird und Presskuchen aus der Produktion anfällt. Welche Verschaltungsvariante am sinnvollsten ist, ist unter Berücksichtigung der bestehenden Elektroplanung mit Fachpersonen zu diskutieren. Die AC-Inselvariante umgeht die Frequenzunregelmässigkeits-Problematik und scheint einfach, doch die Effizienz und Intelligenz des SMA-Konzepts ist doch reizvoll. Dünnschichtmodule sind aufgrund des Temperaturverhaltens und des Kostenvorteils unabhängig von der Verschaltung empfohlen. SMART [K20] ist diesbezüglich engagiert und verfügt

über Tansania-Erfahrung und -Beziehungen. Auch der Photovoltaik-Installateur Energiebau könnte mit seiner Erfahrung in Mbinga [K21] ein Kooperationspartner sein. Mit deutschen Partnern könnte die Planungsphase einfacher sein, während der Vorteil von tansanischen Solarfirmen ihr lokales Know-How in der Ausführungsphase ist.

Tabelle 9-1: Zielerreichung nach Projektschritt

	Schritt 1 Solar-Backup 	Schritt 2 Biogas-Notstrom 	Schritt 3 Biogas-Stadtversorgung 
M1 - Elektrizitäts-Grundversorgung	✓	✓	✓
O2 – Kostenoptimierung	Invest ~25 T€, 7% Verzinsung gewährleistet	Invest ~100 T€, 7% Verzinsung gewährleistet	Invest ~2,5 Mio €, 7% Verzinsung bei erfolgreichem Schritt 2
O3 - Nachhaltige Überschussenergie für Mpanda	-	-	✓
O4 - erneuerbarer Anteil des Energieverbrauchs	5% von Szenario A, 0,7% von Szenario B	50-80% von Szenario A 11% von Szenario B	530% von Szenario B
M5 – Notstrom-beleuchtung Nacht	✓	✓	✓
W6 –Unterbrechungs-freier Computerbetrieb	✓	✓	✓
W7 - Notbeleuchtung	✓	✓	✓
W8 - Kontrolliertes Herunterfahren der Maschinen	(✓) möglich, ab kaum lohnend	nicht erforderlich	nicht erforderlich
W9 - Durchgehender Maschinenbetrieb	-	✓	✓

9.3 Schlusswort

Diese Arbeit beinhaltet eine Vielfalt von Energieaspekten; eine breite Palette von Themen des Nachdiplomstudiums Energie am Bau konnte angewandt werden. Angefangen von baulichen Aspekten der Tageslichtnutzung und Lüftung, weiterführend zu industrieller Energieeffizienz und regenerativen Energietechnologien. Mancher Diskussionspunkt auf der Baustelle in Mpanda stand nicht direkt im Bezug zum Energieversorgungskonzept, trägt auf seine Weise jedoch vielleicht doch zum Gelingen des Biotreibstoffprojekts als Ganzes bei: Eine Hallenentwässerung, eine zweite Lage Armierungseisen sowie manche Elektroinstallation wurden während dem Auslandsaufenthalt hinzudefiniert; Mauern wurden rückgebaut, um Platz für Fenster und einen Notausgang zu schaffen oder Wassertanks über den Toiletten aufstellen zu können. Diese spannende Koordinationsarbeit hat allerdings die Zeit zum Ausfeilen der Energieversorgungsoptionen knapp werden lassen. Die Jatropha-Anbaupraxis ist ein Thema für sich, das ich gerne Tim Loos überlasse, der zeitgleich für seine agro-ökonomische Master Arbeit für die Universität Hohenheim recherchiert [K13]. Die Besuche bei den Farmern möchte ich jedoch zum Gesamtverständnis der Situation nicht missen. Die SWOT-Analyse im Anhang 11 soll die Stärken des eingeschlagenen Wegs der Kleinbauern-Zusammenarbeit aufzeigen, ebenso wie Chancen zur Umschiffung von Schwächen. Die Risiken eines grossflächigen Plantagenanbaus sind wohl abzuwägen, und der Wechsel von der einfachen, flexiblen Kaltpressung zur grossindustriellen Warmpressung würde eine signifikante Änderung der hier getroffenen Annahmen mit sich bringen. Ein zu grossspuriger Weg scheint schwierig vorstellbar, wenn selbst die

kleinsten Nebensächlichkeiten in Mpanda zum Tagesprogramm werden können: Transfer von Daten zu einem Computer mit Druckeranschluss, bzw. Verscheuchen des Accountants vom Arbeitsplatz; Vireninfektion in Kauf nehmen; Feststellen, dass schwarze Tinte Leer ist; alles farbig einfärben; dann möglicherweise Stromunterbruch; Anweisung zur Bauänderung kann nicht ins ferne Dar es Salaam gefaxt werden, von wo aus sich der Architekt nur ungern wegbeigt; Arbeiter werden nach Hause geschickt; Baustelle steht.



Abbildung 9-6: Civil Engineer, Clerk of Works, Author, Site Manager (eig. Foto)



Abbildung 9-7: Solare Baustellenbeleuchtung

Als Vorgeschmack auf die Vorzüge dezentraler erneuerbarer Energie wurde schon mal eine Solarlaterne beschafft (Abbildung 9-7), was als Baustellen-Sicherheitslicht sicher günstiger ist als ein temporärer Netzanschluss. Bislang gibt es keinen Strom auf der Baustelle, das Wachtpersonal sitzt nachts im Dunkeln. Es war spannend, die umfassende Problematik einer auswegslos defizitären fossilen Energiewirtschaft zu durchforsten. Erneuerbare Energien sind hier nicht nur Öko-Träume, sondern der wirtschaftlichste und einzig gangbare Weg. Als Entschädigung für die unzähligen Mzungu-Rufe stehen einem als Europäer manche Türen zu Behörden offen. Die Vertreter vom Energieministerium nehmen die Präsentation der Biogas-Energieversorgung für Mpanda mit Interesse zu Kenntnis ([K18] / Anhang 12), doch bei der üblichen Bürokratie und Hierarchie wäre es wohl erstaunlich gewesen, wenn die entscheidenden Manager beim Stromversorger auf das Kurz-Proposal zur Einspeisung erneuerbarer Elektrizität angesprochen hätten (Anhang 13). Entschieden wird auf der Chef-Etage, die für „Kleinkram“ keine Zeit hat, das interessierte Fussvolk sitzt mangels Kompetenz oder Strom untätig rum.

Nicht nur wenn es um die Planung der Starkstromeinrichtungen geht, stösst der interdisziplinäre NDS-Energie-Wissensschatz an Grenzen; auch bei der Konkretisierung von Biogasanlage und Solarsystemen wird klar, dass hier die Expertise der aufgespürten Fachpersonen erforderlich ist. Die Arbeit sollte jedoch eine grobe Richtung zu einer nachhaltig-vielversprechenden Zukunft weisen, für Prokon, Mpanda und alle, die vergleichbare Chancen wahrnehmen wollen.

10 Verzeichnisse

10.1 Quellen/Literatur

- [Q1] H. O. Otieno / Joseph L. Awange: „Energy Resources in East Africa – Opportunities and Challenges“ Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006
- [Q2] R. Zah / H. Böni: „Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen“, EMPA / Bundesamt für Energie (CH), Bern, Mai 2007,
www.news-service.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/8514.pdf
- [Q3] S. Gmünder / P. Mukherjee: „A comparative Life Cycle Assessment of bioenergy based (Jatropha curcas) rural electrification option“, EMPA / Winrock International India, April 2008
- [Q4] J. van Eijck / H. Romijn: „Prospects for Jatropha Biofuels in Developing Countries: An analysis for Tanzania with Strategic Niche Management“, Diligent Tanzania / Eindhoven Centre for Innovation Studies, präsentiert im Oktober 2006,
<http://fp.tm.tue.nl/ecis/Working%20Papers/Ecis%20wp151.pdf>
- [Q5] E. Foerster / D. Assmann: „Liquid Biofuels for Transportation in Tanzania“, GTZ / Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. / Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (D), August 2005
- [Q6] B. Ezawa / J. Abramowski: „Machbarkeitsstudie für ein Windpark, 900 kW in Gao, Mali – Wind-Diesel-System“, GTZ / Lahmeyer International, Eschborn, Juni 2004,
www.gtz.de/de/dokumente/de-windenergie-mali-machbarkeitsstudie-gao-2004.pdf
- [Q7] TASEA: „Proceedings of the National Solar Energy Day“ 30th – 31st May 2007“, Dar es Salaam
- [Q8] W. Edelmann, „Installation de Biogaz au Ruanda“, 1983 www.arbi.ch/rwanda.pdf
- [Q9] R. Staubmann, G. Foidl et al: Production of Biogas From Jatropha Curcas Seeds Press Cake, Institute of Biotechnology, Graz Technical University, Austria / Proyecto Biomasa, Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua, Symposium Februar 1997
- [Q10] Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V.: „Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung“, www.fnr.de, Gülzow 2006
- [Q11] Prokon-Reisebericht Februar 2007 (internes Dokument)
- [Q12] Prokon-Statusbericht März 2008 (internes Dokument)
- [Q13] Presskuchenanalyse Alphacon GmbH vom 14.12.2005, Probe Nr. 16279

10.2 Kontakte

- [K1] Prokon Energiesysteme GmbH, Christian Knop, Itzhoe (D) 13.03.2008,
c.knop@prokon-energiesysteme.de
- [K2] Kroppenstedter Pflanzenöl GmbH & Co. Betriebs KG, Mario Brumme, Betriebsleiter Pflanzenölmühle, Kroppenstedt (D) 25.03.2008, m.brumme@prokon-energiesysteme.de
- [K3] Cimbria Sket, Kerstin Bugdoll, e-Mail vom 17.03.2008, kbd@cimbria.com
- [K4] Fachhochschule Gelsenkirchen, Prof. Alfons Rinschede, Gelsenkirchen (D) 10.03.2008,
alfons.rinschede@fh-gelsenkirchen.de,
www.fh-gelsenkirchen.de/fb03/homepages/rinschede/index.html
- [K5] H.S. Kalolo Elelectrical (Elektro-Contractor), Mr. Kalolo, Mpanda (TZ) April/Mai 2008,
hskellectricalco@yahoo.com, +225 754 297 890
- [K6] Urban Water & Sewerage Authority, Laurian Kasale, Technical Manager, Mpanda (TZ) 25.04.2008, +225 784 999 544
- [K7] Association of Tanzanian Tobacco Traders, Mr. Steven, Afforestation Coordinator, Mpanda (TZ) 17.05.2008
- [K8] Sonnenblumen-Ölmühle Mpanda, Besuch 19.05.2008
- [K9] Mantrac CAT, Peter Musiba, Dar es Salaam 28.05.2008, pmusiba@mantractanzania.com
- [K10] University Dar es Salaam, Dr. Kimambo, Dar es Salaam (TZ) 09.04.2008, +225 754 281 680,
- [K11] Sokoine University, Prof. Gerald Monela, Morogoro (TZ) 14.04.2008, monela@suanet.ac.tz
- [K12] Dr. Eicher + Pauli AG, Dr. Hanspeter Eicher, Vorlesung NDS-Energie Wärme-Kraft-Kopplung vom 19.11.2007, hanspeter.eicher@eicher-pauli.ch
- [K13] Tim Loos, Uni Hohenheim, Recherche für Master Arbeit zur Jatropha-Anbaupraxis von Prokon in Mpanda, April-Juni 2008, tim.loos@uni-hohenheim.de

Energieversorgung Tansania

- [K14] Tanesco – Thermal Power Generation, Gregory Chegere, Dar es Salaam (TZ) 11.04.2008 / 30.05.2008, gregory.chegere@tanesco.co.tz

- [K15] Tanesco – Strategic Planning, Kabiruddin Abdulla, Dar es Salaam (TZ) 30.05.2008, kabiruddin.abdulla@tanesco.co.tz
- [K16] Tanesco – Service Engineer, Mr. Maskini, Mpanda (TZ) Mai 2008, +225 784 754 717
- [K17] Ministry of Energy and Minerals, Paul Kiwele, Acting Assistant Commissioner for Renewable Energy, Dar es Salaam (TZ) 10.04.2008, kiwele@mem.go.tz
- [K18] Ministry of Energy and Minerals, Mkoma Masanyiwa / Victor Stephen, Mpanda (TZ), Mai 2008, masanyiwam@gmail.com / svictor_343@hotmail.com
- [K19] Rural Energy Agency, Justina Uisso-Rusali, Dar es Salaam (TZ) 29.05.2008, juisso@rea.go.tz

Solar

- [K20] SMART Power Systems GmbH, Erich und Martin Hauck, Karlsruhe (DE), 02.06.2008 www.smart-powersystems.com
- [K21] Energiebau Solarstromsysteme GmbH, Bernd Wolff, Tel. März 2008, Jatropha-Solar-Hybrid im Süden von Tansania, b.wolff@energiebau.de / www.sonnenueber-mbinga.de
- [K22] Ensol Tansania Ltd, Hamisi Mikate, Dar es Salaam (TZ) 10.04.2008, solartz@yahoo.com
- [K23] Umeme Jua Ltd, Dar es Salaam (TZ) 29.06.2008, info@umemejua.com
- [K24] Zara Solar Ltd, Nasreen Bhimani, Dar es Salaam (TZ) 31.06.2008, zarasolar@yahoo.com
- [K25] AGY Electrical Networking, Yunus G.A., Mpanda (TZ) Mai 2008, +255 25 2820487
- [K26] Sayi Business, B.L. Sayi, Mpanda (TZ) Mai 2008, +255 777 749 828
- [K27] Tanzania Solar Energy Association (TASEA), Finias Magessa, Dar es Salaam (TZ) 30.06.2008, info@tasea.org, www.tasea.org

Biogas

- [K28] Arbeitsgemeinschaft Bioenergie GmbH, Dr. Werner Edelmann, Baar (CH) 05.06.2008 / Vorlesung NDS-Energie Biogas, info@arbi.ch, www.arbi.ch
- [K29] Conzepte Technik Umwelt AG, Mario Caviezel, Winterthur (CH) April 2008, mario.caviezel@ctu.ch, www.ctu.ch / www.compogas.com
- [K30] Mkonge Energy Systems Co. Ltd., Gilead Kissaha, Hale (TZ) 26.05.2008, gakissaha@yahoo.com, www.katanitz.com/factory.html

10.3 Links

Energieversorgung Tanzania

- [L1] Republik Tansania, Übersicht Stromerzeugung: www.tanzania.go.tz/economicsurvey1/2006/tables/table74.html
- [L2] Tanesco, Tanzania Electric Supply Company Ltd. (Elektrizitätsversorger): www.tanesco.com
- [L3] Energy and Water Utilities Regulatory Authority, Tanzania: www.ewura.com
- [L4] Mpanda District Council: www.mdc.go.tz/mpanda

Jatropha in Tanzania

- [L5] Tanzania Traditional Energy Development and Environment Organization, www.tatedo.org
- [L6] Kakute, Jatropha-Aktivität in Region Arusha www.jatropha.de/tanzania/Kakute/kakute.htm
- [L7] Diligent, Jatropha-Aktivität in Region Arusha: www.diligent-tanzania.com

Wind

- [L8] Enercon, Hersteller von Windkraftanlagen, insbesondere auch für Inselnetzsysteme www.enercon.de/de/inselnetzsystem.htm
- [L9] Vergnet, Hersteller von Windkraftanlagen, spezialisiert auf Regionen mit Dieselstrom www.vergnet.com

Solar

- [L10] Sundaya, Gleichstrom-Solartechnologie www.sundaya.com
- [L11] SMA Solar Technology AG, Wechselstrom gekoppelte Inselanlagen www.sma.de/de/solartechnik/produkte/inselsysteme/sunny-island/index.html
- [L12] Sollatek, Solar und Spannungsschutz, UK/TZ www.sollatek.com
- [L13] Davis & Shirliff (T) Ltd., Solar-Warmwasser/Wasserentkeimung/Pumpen www.dayliff.com
- [L14] Victron Energy, USV-Systeme: www.victronenergy.de/inverters-chargers/multiplus-12v-24v-48v-800va-3kva

Biogas

- [L15] BEB Bioenergie Berlin, Projektierung Sisal-Biogasanlage in Hale (TZ), www.bebgmbh.de

[L16] Medors Biotech, Jatropha Biogas in Indien www.medorsbiotech.com/jatropha_bio-gas.htm
 [L17] S.V. Lele, Jatropha Biogas in Indien www.svlele.com

Diverses

[L18] Atmospheric Science Data Center, Solar-, Wind- und Wetterdaten:
<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse>
 [L19] dena, Deutsche Energie-Agentur, Initiative Energie-Effizienz in Industrie & Gewerbe,
Merkblätter Fördertechnik www.industrie-energieeffizienz.de/technologien/foerdertechnik.html
 [L20] The Tobacco Industry Impact on Tanzania, Ross Hammond, San Francisco 1997:
www.corpwatch.org/article.php?id=4028
 [L21] OECD-Basisdaten Tanzania: www.oecd.org/dataoecd/26/62/38563053.pdf
 [L22] Onvista Börseninformation www.onvista.de

10.4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Karte Tanzania [L21]6
 Abbildung 1-2: Aspekte der Aufgabenstellung (eigene Darstellung)7
 Abbildung 1-3: Systemgrenze (eigene Darstellung)7
 Abbildung 1-4: Ökobilanz Biotreibstoffe (in Anlehnung an [Q2])8
 Abbildung 1-5: Jatropha-Intercropping (eigene Fotos)8
 Abbildung 2-1: Sisal-Biogaswerk (eigene Foto)9
 Abbildung 2-2: Strombedarf und -produktion Solar-Jatrophaöl-Hybrid Januar 2008 [K21]9
 Abbildung 2-3: Wettbewerbsfähigkeit Wind- / Dieselstrom [L8]11
 Abbildung 2-4: Wasserreservoir nahe Mpanda (eig. Foto)11
 Abbildung 3-1: Stromproduktion in Tanzania (in Anlehnung an [L1])12
 Abbildung 3-2 : Entwicklung Erdölpreis [L20]13
 Abbildung 3-3: Strombedarfsprofil Mpanda (eigene Abschätzung)13
 Abbildung 4-1: Anlagenaufbau (in Anlehnung an [K3])14
 Abbildung 4-2: Energieeinsparung ΔP von Fördertechnik mit variabler Drehzahl [L18]15
 Abbildung 4-3 : Anlagenlayout und Licht-/Lüftungsoptimierung15
 Abbildung 4-4: Wasserversorgungskonzept (eig. Darstellung)17
 Abbildung 4-5: Solar Warmwasser [L12]17
 Abbildung 4-6: Verbrauchsprofil 1 Presse (eigene Darstellung)18
 Abbildung 4-7: Verbrauchsprofil 5 Pressen (eigene Darstellung)18
 Abbildung 5-1: nächste Transformerstation (eigene Foto)19
 Abbildung 5-2: Stromausfälle Mpanda Mitte Mai 2008 (eigene Aufzeichnung)21
 Abbildung 6-1: Direktantrieb über Verbrennungsmotor22
 Abbildung 6-2: Lastausgleich Ölmühle/Generator22
 Abbildung 6-3: Inselbetrieb elektrisch22
 Abbildung 6-4: Elektrizitätsnetzanbindung (eigene Darstellungen)22
 Abbildung 6-5: Anfrage einer Einspeisevergütung beim Energieministerium und Tanesco24
 Abbildung 7-1: Verwertung von Jatropha (eigene Darstellung)24
 Abbildung 7-2 : Fabrik-Abwassersystem (eigene Ergänzung von Architekturplan)25
 Abbildung 7-3 : Zusammenspiel Biogasproduktion (eigene Darstellung)26
 Abbildung 7-4 : Einfacher Pfropfstromreaktor in Kolumbien [K28]26
 Abbildung 7-5: Netzunterstützung und Selbstversorgung mit Biogas-Strom26
 Abbildung 7-6 : Funktionsprinzip Kompogas-Trockenfermentation [K29]27
 Abbildung 8-1 : Gleichstromversorgung29
 Abbildung 8-2 : Bedarfsprofil Büro29
 Abbildung 8-3 : Wechselstrom-Inselanlage29
 Abbildung 8-4: AC-gekoppeltes Solarsystem30
 Abbildung 8-5 : 3phasen Absicherung30
 Abbildung 8-6: Flexible Verknüpfung von erneuerbaren Quellen30
 Abbildung 8-7: Flächenbedarf und Leistungsabfall durch Erwärmung je nach Modultyp (Ersol)31
 Abbildung 9-1: Geldflüsse Basisvariante32
 Abbildung 9-2 : Geldflüsse Stromanschluss plus PV-Backup32
 Abbildung 9-3: Geldflüsse Diesel-Notstrom32
 Abbildung 9-4: Geldflüsse Pflanzenöl-Selbstversorgung32
 Abbildung 9-5: Geldfluss Biogas-Stadtversorgung33
 Abbildung 9-6: Civil Engineer, Clerk of Works, Author, Site Manager (eig. Foto)35
 Abbildung 9-7: Solare Baustellenbeleuchtung35

10.5 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 : Solarstrahlung Region Mpanda [L17]10
 Tabelle 2-2 : Windstärke Region Mpanda [L17]10
 Tabelle 3-1 : Tanesco Elektrizitätstarife 2007 [L2].....12
 Tabelle 4-1: Installierte Anlagenleistung [K3]14
 Tabelle 4-2 : Beleuchtung16
 Tabelle 4-3 : Niederschlagsmengen Mpanda.....17
 Tabelle 5-1 : Kosten Stromanschluss Tanesco19
 Tabelle 5-2: Funktionale Ziele21
 Tabelle 7-1: Biogas-Anlagedimensionierung.....27
 Tabelle 9-1: Zielerreichung nach Projektschritt34