

# PV-basierte Inselnetze zur Elektrifizierung in Entwicklungsländern

Ein Überblick zu Marktpotentialen und Geschäftsmodellen

Abschlussbericht



Eine Studie des Reiner Lemoine Instituts im Auftrag der  
cdw Stiftungsverbund gGmbH



## **Vorbemerkung**

Die cdw Stiftungsverbund gGmbH verfolgt als einen Schwerpunkt die Entwicklung und Förderung von Konzepten und Geschäftsmodellen zur Verbreitung von PV-basierten Inselnetzen. Das Reiner Lemoine Institut gGmbH konzentriert sich auf die wissenschaftliche Begleitung der Energiewende aus gesamtssystemischer Sicht, sowohl lokal als auch global.

Im Rahmen der „Analyse der Marktpotentiale“ wurde das Reiner Lemoine Institut über einen Untersuchungszeitraum von Februar bis August 2012 mit der Erstellung einer entsprechenden Studie beauftragt. Auf Basis von Literaturrecherche, der Implementierung von an die Fragestellung angepassten Modellen sowie einer Vielzahl von Experteninterviews wurde ein Einblick in Marktpotentiale und Geschäftsmodelle gewonnen. Das vorliegende Dokument gibt einen Überblick über zentrale Ergebnisse der Studie.

## **Autoren**

Christian Breyer, Reiner Lemoine Institut, wissenschaftlicher Projektleiter  
Elisa Gaudchau, Reiner Lemoine Institut, wissenschaftliche Mitarbeiterin  
Ann-Katrin Gerlach, Reiner Lemoine Institut, wissenschaftliche Mitarbeiterin  
Markus Hlusiak, Reiner Lemoine Institut, wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Catherina Cader, Reiner Lemoine Institut, Studentin, wissenschaftliche Mitarbeit  
Paul Bertheau, Reiner Lemoine Institut, Student, wissenschaftliche Mitarbeit  
Volker Wasgindt, cdw Stiftungsverbund gGmbH, Geschäftsführer

## Inhaltsverzeichnis

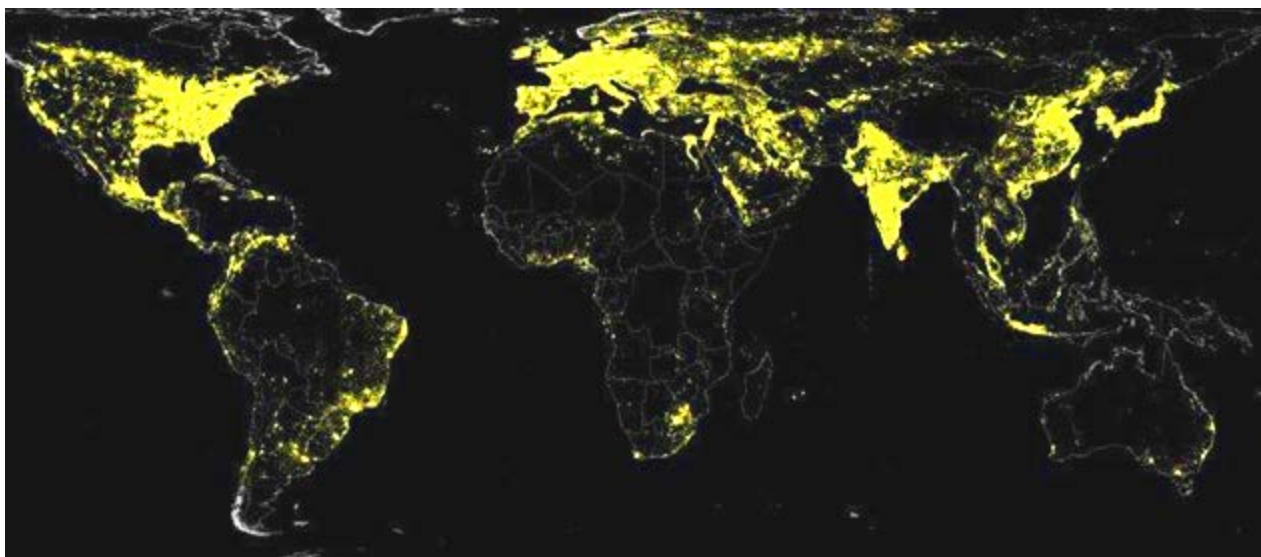
1	Einleitung .....	3
2	Globale Potentialanalysen.....	5
2.1	Wirtschaftlichkeit von PV-Inselnetzen.....	5
2.2	Marktpotentiale und politisch-ökonomische Rahmenbedingungen .....	8
3	Geschäftsmodelle .....	10
3.1	Gründe für Misserfolge (Diesen Absatz besser hinter 3.2 stellen) .....	12
3.2	Ebenen und Beteiligte .....	10
3.2.1	Prämissenebene .....	11
3.2.2	Projektentwicklung .....	11
3.2.3	Betrieb .....	11
3.3	Existierende Best Practice Geschäftsmodelle .....	12
3.3.1	Kaïto Phasenkonzept .....	13
3.3.2	INENSUS Mikroenergiewirtschaft.....	15
3.3.3	Weitere Ansätze.....	16
4	Ausblick.....	17
5	Zusammenfassung.....	18

## Abbildungen

<b>Abbildung 1:</b>	Die Erde bei Nacht.....	3
<b>Abbildung 2:</b>	Schema eines hybriden Inselnetzes mit verschiedenen Wechselstrom (AC) und Gleichstrom (DC) Komponenten.....	4
<b>Abbildung 3:</b>	Energieerzeugungskosten reiner Dieselnetze .....	5
<b>Abbildung 4:</b>	Kostenvorteil durch optimalen PV-Anteil in Dieselnetzen .....	6
<b>Abbildung 5:</b>	Optimaler PV-Anteil am direkten Energieverbrauch in Dieselnetzen .....	6
<b>Abbildung 6:</b>	Amortisationszeiten von hybriden PV-Batterie-Diesel Systemen.....	7
<b>Abbildung 7:</b>	Kriterien und Gewichtungsfaktoren des Länderrankings .....	8
<b>Abbildung 8:</b>	Ergebnisse des Länderrankings.....	9
<b>Abbildung 9:</b>	Ebenen von Elektrifizierungsprozessen .....	10
<b>Abbildung 10:</b>	Operative Ebene eines Inselnetzes.....	12
<b>Abbildung 11:</b>	4-Phasenkonzept © KAITO Energie AG, München .....	14
<b>Abbildung 12:</b>	Lastmanagement- und Abrechnungseinheit (LAE) © INENSUS GmbH .....	15
<b>Abbildung 13:</b>	Montage der LAE © INENSUS GmbH .....	15
<b>Abbildung 14:</b>	PV-Hybrid-Inselnetz © SMA Solar Technology AG .....	17

## 1 Einleitung

Weltweit leben 1,3 Milliarden Menschen ohne Elektrizität<sup>1</sup>. Besonders in Afrika und Süd-Ostasien befinden sich bevölkerungsreiche Länder, in denen nur wenige Menschen Zugang zu elektrischer Energie haben. Die meisten davon leben in ländlichen Gebieten, weit entfernt von nationalen Übertragungsnetzen. Der Ausbau der Netze ist bei weiten Entfernungen oft unrentabel, weswegen ein Anschluss an das nationale Netz somit für viele Dörfer nicht erwartet werden kann. Auf der Satellitenaufnahme ist gut zu erkennen, in welchen Regionen der Erde abends und nachts kein Licht brennt und wo demnach, neben den unbewohnten Gebieten, keine elektrische Energie zur Verfügung steht (**Abbildung 1**).



**Abbildung 1:** Die Erde bei Nacht<sup>2</sup>

Elektrizität ist die zentrale Grundlage zur Verbesserung elementarer Bedürfnisse, wie z.B. Bildung, Gesundheit, Sicherheit und Kommunikation. Häufig kann eine gewerbliche Aktivität erst durch die Nutzung elektrischer Energie ausgeübt werden. Autarke Inselnetze sind oft die einzige Chance, Menschen in ländlichen Gebieten den flexiblen Zugang zu elektrischer Energie zu ermöglichen und die lokale Produktivität zu steigern.

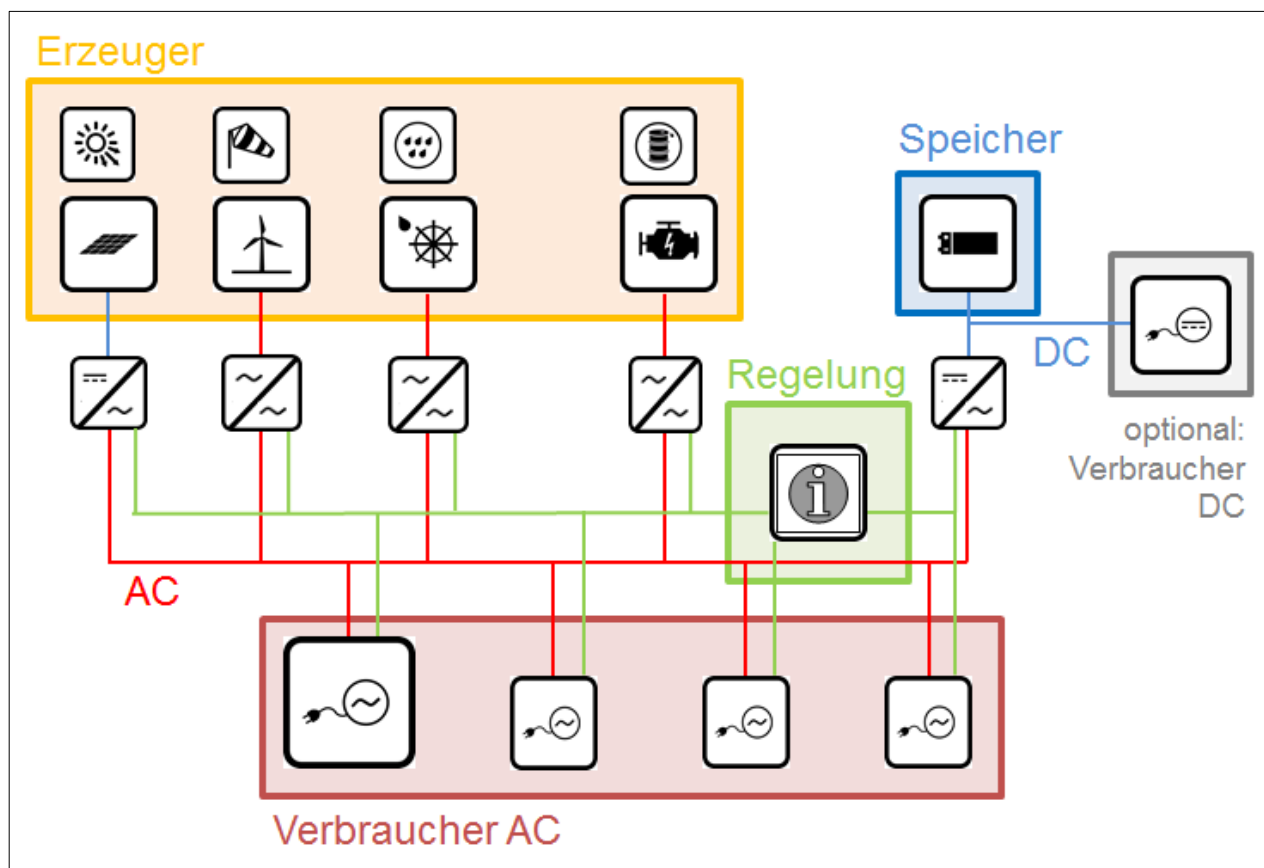
Durch steigende Treibstoffpreise und technologische Fortschritte werden regenerative Energien für Inselnetze immer attraktiver. Sie werden aber nicht nur aus ökonomischer Sicht zunehmend wettbewerbsfähiger, sondern auch aus gesundheitlicher und ökologischer Sicht haben erneuerbare Energien klare Vorteile gegenüber fossilen Energiequellen wie Diesel. Besonders die Photovoltaik (PV) eignet sich aufgrund ihrer Vorteile wie einfache Installation und Wartung, Modularität, Verschleißfreiheit und der überall verfügbaren Sonnenenergie zur netzfernen Stromversorgung. Dabei bieten Inselnetze im Gegensatz zu den für sehr geringe Energieverbräuche geeigneten Solar Home Systems (SHS) wichtige Vorteile für die Entwicklung

<sup>1</sup> IEA, World Energy Outlook 2011

<sup>2</sup> Image and data processing by NOAA's National Geophysical Data Center. DMSP data collected by US Air Force Weather Agency

netzferner Gebiete: Durch eine Wechselstromkopplung kann ein Inselnetz leicht mit weiteren Erzeugern und Verbrauchern vergrößert werden, um flexibel auf wachsende Bedürfnisse zu reagieren. Die Möglichkeit, Drehstromverbraucher zu integrieren, ist ein wichtiger Baustein, um die gewerbliche Nutzung elektrischer Energie auszuweiten.

Inselnetze bestehen aus mindestens einer Erzeugungseinheit, einem Energiespeicher, einem Verbraucher und einer Regelungseinheit (**Abbildung 2**). Sie können Leistungen von wenigen Kilowatt bis in den Megawattbereich abdecken.



**Abbildung 2:** Schema eines hybriden Inselnetzes mit verschiedenen Wechselstrom (AC) und Gleichstrom (DC) Komponenten.

Zahlreiche Entwicklungshilfeprojekte zur Elektrifizierung fokussieren bereits diese Technologie. Dennoch hat sich bis heute kein nachhaltiges Geschäftsmodell für regenerativ versorgte Inselnetze zur ländlichen Elektrifizierung durchgesetzt.

Die zentrale Fragestellung des vorliegenden Berichts ist daher, wie und wo eine PV-basierte Elektrifizierung mit nachhaltigen Geschäftsmodellen umsetzbar ist. Zunächst wurden im Rahmen der dem Bericht zugrunde liegenden Studie globale Potentiale für PV-basierte Inselnetze analysiert. Dabei werden sowohl Wirtschaftlichkeitsaspekte in Abhängigkeit von Wetterdaten und lokalen Dieselpreisen als auch länderbezogene Gesichtspunkte untersucht, wie Marktgröße und politische sowie ökonomische Rahmenbedingungen. Hauptfokus sind die Aspekte nachhaltiger Geschäftsmodelle. Auf Basis von Experteninterviews und

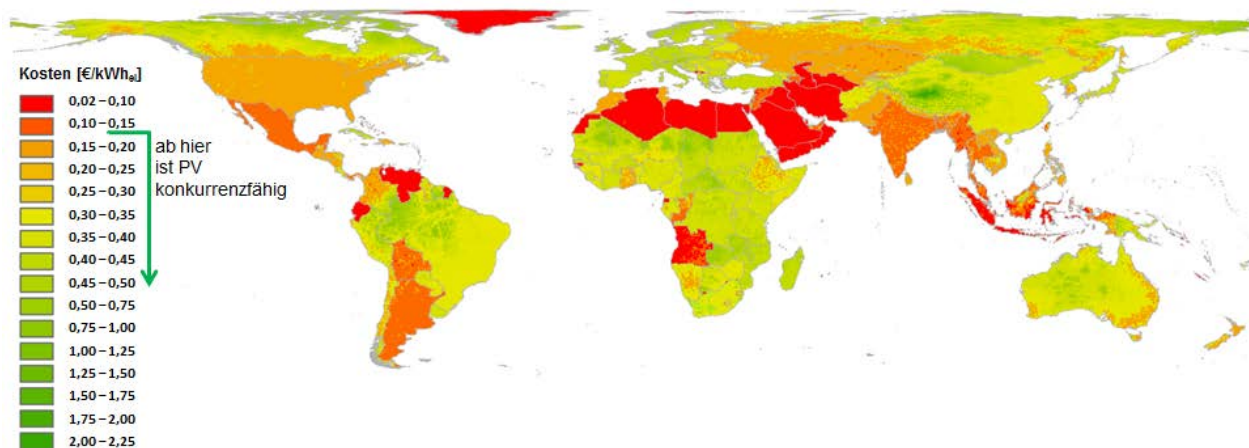
Literaturrecherchen werden zentrale Erfahrungswerte vorgestellt sowie Ebenen und Beteiligte von Elektrifizierungsprozessen beschrieben. Erfolgskritische Kernelemente für nachhaltigen Erfolg werden extrahiert und vielversprechende, existierende Geschäftsmodelle vorgestellt.

## 2 Globale Potentialanalysen

Um herauszufinden, wo weltweit die größten Potentiale für PV-basierte Inselnetze gegeben sind, werden zwei Ansätze verfolgt. Zum einen wird mithilfe von Modellierungen weltweit die lokale Wirtschaftlichkeit für PV-basierte Inselnetze untersucht und zum anderen ein länderbasierter Vergleich von Marktgrößen und Rahmenbedingungen durchgeführt.

### 2.1 Wirtschaftlichkeit von PV-Inselnetzen

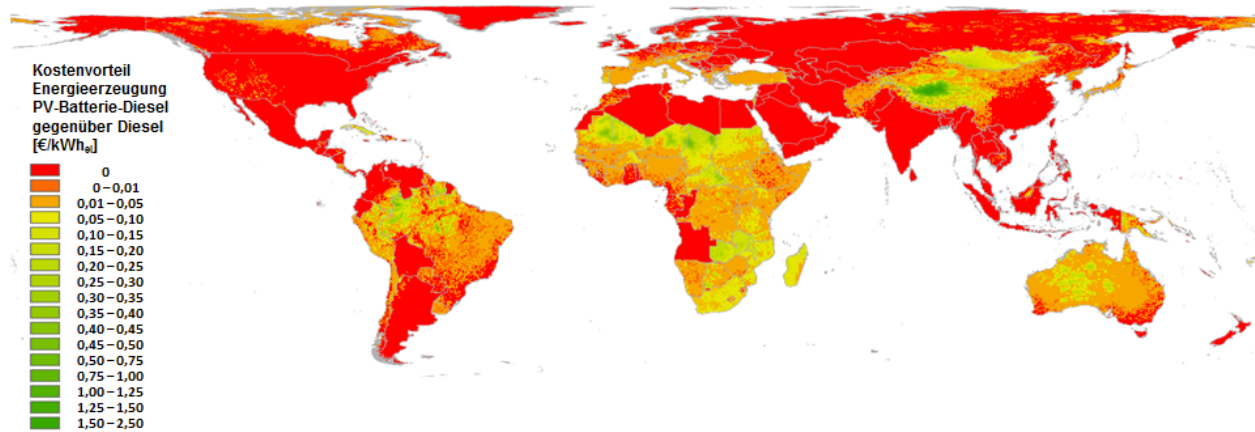
Die globale Wirtschaftlichkeitsanalyse basiert auf verschiedenen geografischen Kriterien. Zunächst ist die solare Einstrahlung von Bedeutung, da der Ertrag von PV-Anlagen und somit deren Wirtschaftlichkeit mit der Einstrahlungsstärke steigt. Die Konkurrenz für PV-basierte Inselnetze aus ökonomischer Sicht stellen vor allem reine Dieselnetze dar. Die Wirtschaftlichkeit eines reinen Dieselnetzes hängt maßgeblich von den Rohstoffkosten ab. Diese werden zum einen durch den nationalen Dieselpreis bestimmt, der wiederum in hohem Maße von Subventionierung und Besteuerung beeinflusst wird. Zum anderen werden die Dieselpreise durch die Transportkosten zum Einsatzort bestimmt und sind damit abhängig von der Entfernung zu großen Städten und Handelsstraßen. **Abbildung 3** zeigt die Kosten der lokalen Energieerzeugung mit Diesel in €/kWh<sub>el</sub>.



**Abbildung 3:** Energieerzeugungskosten reiner Dieselnetze

Auffällig ist, dass in den ölfördernden Ländern wie beispielsweise Saudi-Arabien die Energiekosten von Dieselnetzen extrem niedrig sind, während in anderen Regionen u.a. an den feinen Strukturen zu erkennen ist, dass sie mit wachsender Entfernung zu großen Straßen und Zentren steigen. Die Energiekosten von reinen Dieselnetzen bewegen sich weltweit zwischen 0,02 und 2,60 €/kWh<sub>el</sub>. Ab einem Preisniveau von etwa 0,25 €/kWh<sub>el</sub> sind Inselnetze mit PV-Anteil konkurrenzfähig.

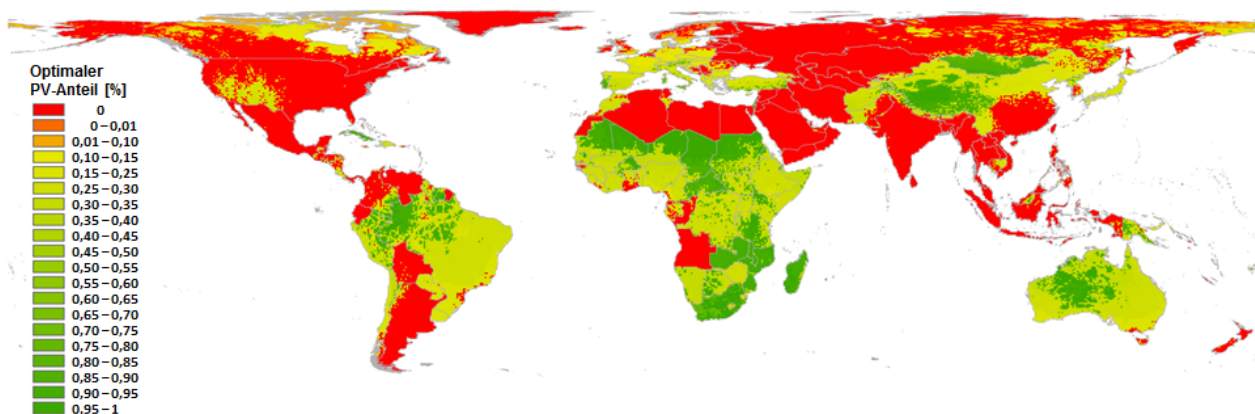
**Abbildung 4** zeigt den jeweils möglichen Kostenvorteil in €/kWh<sub>el</sub>, der sich durch die Berücksichtigung von PV-Anlagen erreichen lässt.



**Abbildung 4:** Kostenvorteil durch optimalen PV-Anteil in Dieselnetzen

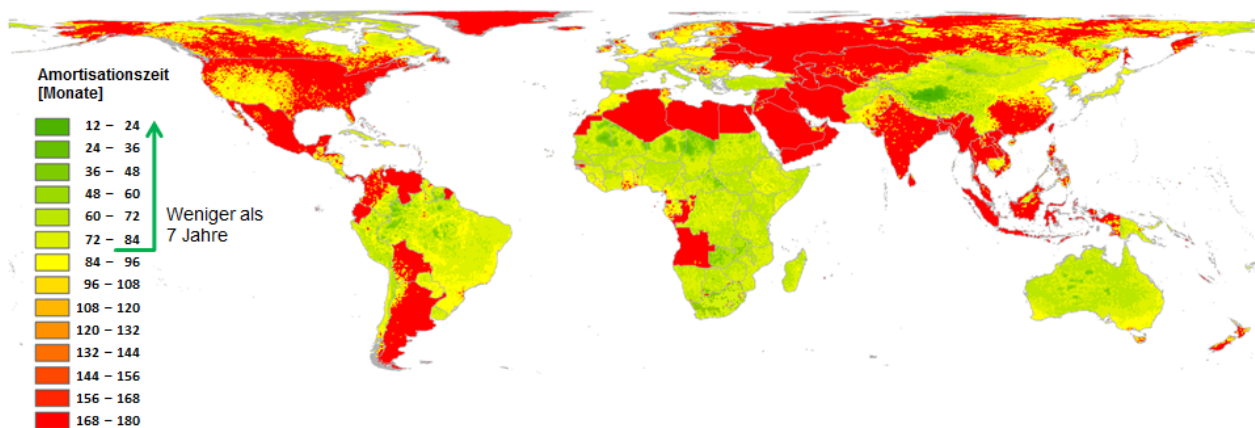
In Regionen, in denen Diesel zu günstigen (weil oft auch subventionierten) Preisen verfügbar ist, ist PV zurzeit keine wirtschaftliche Alternative. Solche Gebiete sind rot dargestellt. In anderen Regionen hingegen betragen die erreichbaren Einsparungen aber durch PV-Anteile weltweit bis zu 2,25 €/kWh<sub>el</sub>. Vor allem in Afrika, Südamerika und China lassen sich auf größeren Flächen in abgelegenen Gebieten mithilfe von PV sehr hohe Einsparungen erzielen. Diese sind in der Karte durch die grünen Bereiche gekennzeichnet.

**Abbildung 5** zeigt den jeweils optimalen PV-Anteil an der Energieerzeugung, der zu den ermittelten Einsparungen führt. Dabei handelt es sich um den Anteil am Verbrauch, der durch Sonnenenergie bereitgestellt wird, sei es direkt oder indirekt über die Zwischenspeicherung der Elektrizität in einer Batterie. In Gebieten, in denen Batterien wirtschaftlich sinnvoll einsetzbar sind, kann der PV-Anteil inklusive der gespeicherten Sonnenenergie bis zu 85 % betragen. In den roten Gebieten der Karte liegt der optimale PV-Anteil bei null. Hier können erneuerbare Energien noch nicht mit reinen Dieselnetzen konkurrieren. In Gebieten aber, die in der Karte grün markiert sind, ist ein hoher PV-Anteil im System ökonomisch sehr sinnvoll.



**Abbildung 5:** Optimaler PV-Anteil am direkten Energieverbrauch in Dieselnetzen

Auch die wirtschaftliche Amortisationszeit eines PV-basierten Inselnetzes ist von den Dieselpreisen stark abhängig. Wie lange es dauert, bis sich ein Hybridsystem aus PV und Diesel, das optional um Batterien ergänzt ist, im Vergleich zu einem reinen Dieselsystem amortisiert hat stellt **Abbildung 6** dar: In Gebieten mit sehr hohen Dieselpreisen dauert es nur wenige Jahre, bis die Gesamtkosten eines reinen Dieselsystems diejenigen des Hybridsystems übersteigen. In den darauffolgenden Jahren wird das Dieselsystem zudem durch die laufenden Kosten immer teurer, während bei einem PV-System kaum laufende Kosten anfallen.



**Abbildung 6:** Amortisationszeiten von hybriden PV-Batterie-Diesel Systemen

Die roten Gebiete in der Karte zeigen, wie schon in den vorangegangenen Grafiken, die Länder mit sehr niedrigen Dieselpreisen, in denen PV-Systeme momentan noch nicht konkurrenzfähig sind. Die hellgrünen Flächen veranschaulichen allerdings, dass es viele Regionen in Afrika, Südamerika und Asien gibt, wo Amortisationszeiten von 5 - 7 Jahren erreicht werden können. In besonders abgelegenen Gebieten kann sich die Amortisationszeit aufgrund der hohen Transportkosten für Diesel auf weniger als vier Jahre verringern. Solche Orte sind beispielsweise im Himalaya oder in der Sahara zu finden.

Amortisationszeiten von 5 – 7 Jahren lassen hohe Kosten für das zu bereitstellende Kapital zu, welches in manchen Gebieten für die zum Teil sehr eingeschränkt zur Verfügung stehende Fremdfinanzierung verwendet werden muss. Bei gemäßigten Fremdkapitalkosten lassen sich jedoch entweder sehr hohe Eigenkapitalrenditen erzielen, was sich sehr positiv auf die Verbreitung der PV-Inselnetze auswirkt, oder es lassen sich niedrigere Tarife realisieren, die es mehr Menschen ermöglichen sollten, in höherem Maße nachhaltigen Zugang zu Elektrizität zu erhalten. Eine Kombination von höheren Investorenrenditen und niedrigeren Tarifen würde entsprechend beide Effekte gleichermaßen verstärken. Amortisationszeiten von weniger als 5 Jahren verstärken darüber hinaus alle vorgenannten Wirkungen positiv.



## 2.2 Marktpotentiale und politisch-ökonomische Rahmenbedingungen

Um die Marktpotentiale verschiedener Länder vergleichen zu können, wurde eine Rangliste auf Basis unterschiedlich gewichteter Kriterien erstellt (**Abbildung 7**). Dabei wurden die beiden Hauptkategorien Marktpotential und politisch-ökonomische Rahmenbedingungen definiert. Das Marktpotential wird aus der nationalen Elektrifizierungsrate, der Anzahl von Menschen in ländlichen Gebieten, die keinen Zugang zu elektrischer Energie haben, und dem nationalen Dieselpreis ermittelt. Die politisch-ökonomischen Rahmenbedingungen umfassen die politische Stabilität, den Korruptionsindex, die Inflation und den Geschäftsmöglichkeitenindex der Weltbank, welcher mit insgesamt 30 % am stärksten in die Gesamtbewertung einfließt. Dieser berücksichtigt seinerseits 10 verschiedene Kriterien wie zum Beispiel Kreditverfügbarkeit, Umgang mit Baugenehmigungen oder auch grenzüberschreitenden Handel. Zweitgrößter Faktor ist mit 20 % die absolute ländliche Bevölkerung ohne Zugang zu Elektrizität. Um neben dieser Marktgröße sehr kleine Länder mit niedriger prozentualer Elektrifizierung nicht zu vernachlässigen, geht zusätzlich die Elektrifizierungsrate mit insgesamt 12 % in die Bewertung ein. Da die Strombereitstellung über Dieselnetze den wirtschaftlichen Referenzfall für erneuerbare Inselnetze darstellt, wird auch der Dieselpreis beim Marktpotential berücksichtigt.

<b>40 %</b>	<b>A: Marktpotential</b>	<b>gesamt</b>
30 %	• Elektrifizierungsrate [Weltbank, IEA, UNDP]	12 %
50 %	• ländliche Bevölkerung ohne Zugang zu Elektrizität [berechnet]	20 %
20 %	• Dieselpreis [Weltbank]	8 %
<b>60 %</b>	<b>B: politische und ökonomische Rahmenbedingungen</b>	
15 %	• politische Stabilität [Weltbank]	9 %
20 %	• Korruptionsindex [Transparency Int.]	12 %
15 %	• Inflation [Weltbank]	9 %
50 %	• Geschäftsmöglichkeitenindex (ease of doing business index) [Weltbank]	30 %

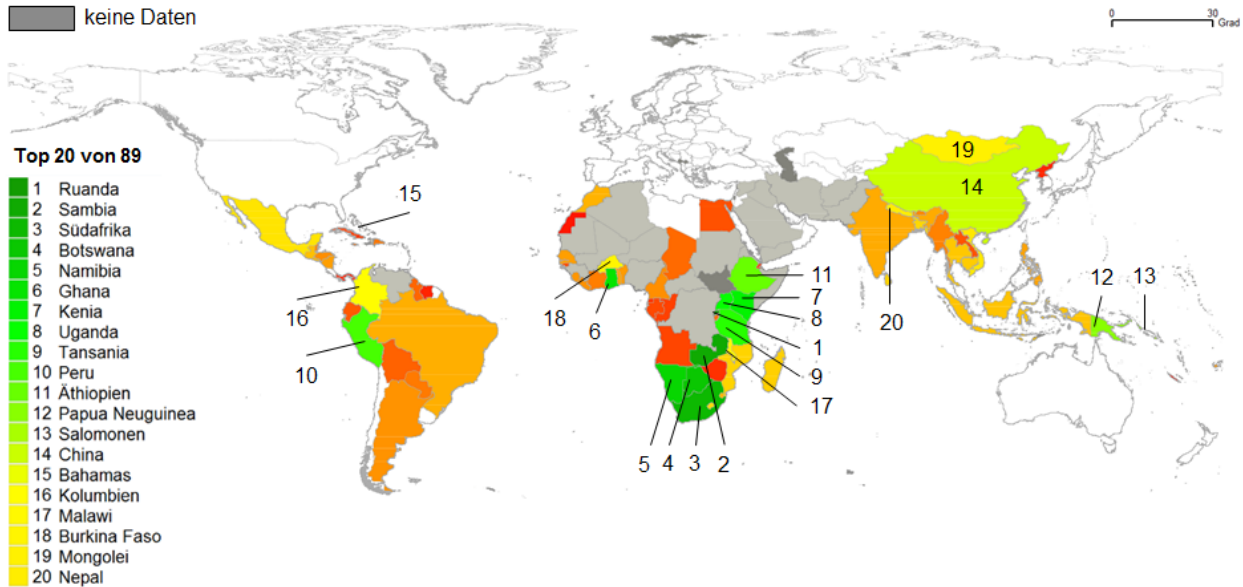
**Abbildung 7:** Kriterien und Gewichtungsfaktoren des Länderrankings

Die politische Stabilität und die Inflation sind insgesamt mit je 9 % gewichtet und der Korruptionsindex etwas stärker mit 12 %. Nicht berücksichtigt wurden Länder mit Elektrifizierungsraten über 95 % und weniger als 200.000 Menschen ohne Strom. Außerdem galten die Ausschlusskriterien politische Instabilität<sup>3</sup>, Reisewarnung des Auswärtigen Amts<sup>4</sup> und ein Dieselpreis von weniger als 0,25 US\$/l. Die übrigen 89 Länder wurden einer vergleichenden Bewertung nach den oben genannten Kriterien unterzogen. Die Ergebnisse dieses globalen Länderrankings sowie die Namen der ersten 20 Länder zeigt **Abbildung 8**.

<sup>3</sup> prozentualer Rang der politischen Stabilität weltweit < 5 % [Weltbank]

<sup>4</sup> Stand: April 2012

- Ausschlusskriterien: politische Instabilität, Reisewarnung des Auswärtigen Amts, Dieselpreis ( $\leq 0,25$  USD/l)
- nicht berücksichtigt: Elektrifizierungsrate  $> 95\%$  und  $< 200.000$  Menschen in ländlichen Gebieten ohne Elektrizität
- Zielländer: Rang 1 bis 89
- keine Daten



**Abbildung 8:** Ergebnisse des Länderrankings

Gute politische und ökonomische Rahmenbedingungen bei gleichzeitig hohem Elektrifizierungsbedarf bieten demnach vor allem Länder in Süd- und Ostafrika. Aber auch aus Asien und Südamerika finden sich Staaten wie China, Nepal, Peru oder Kolumbien unter den ersten 20 der Rangliste. Die meisten ausgeschlossenen Länder befinden sich in Nordafrika. Die gesamte Nordhalbkugel und Australien wurden aufgrund hoher Elektrifizierungsraten nicht berücksichtigt.

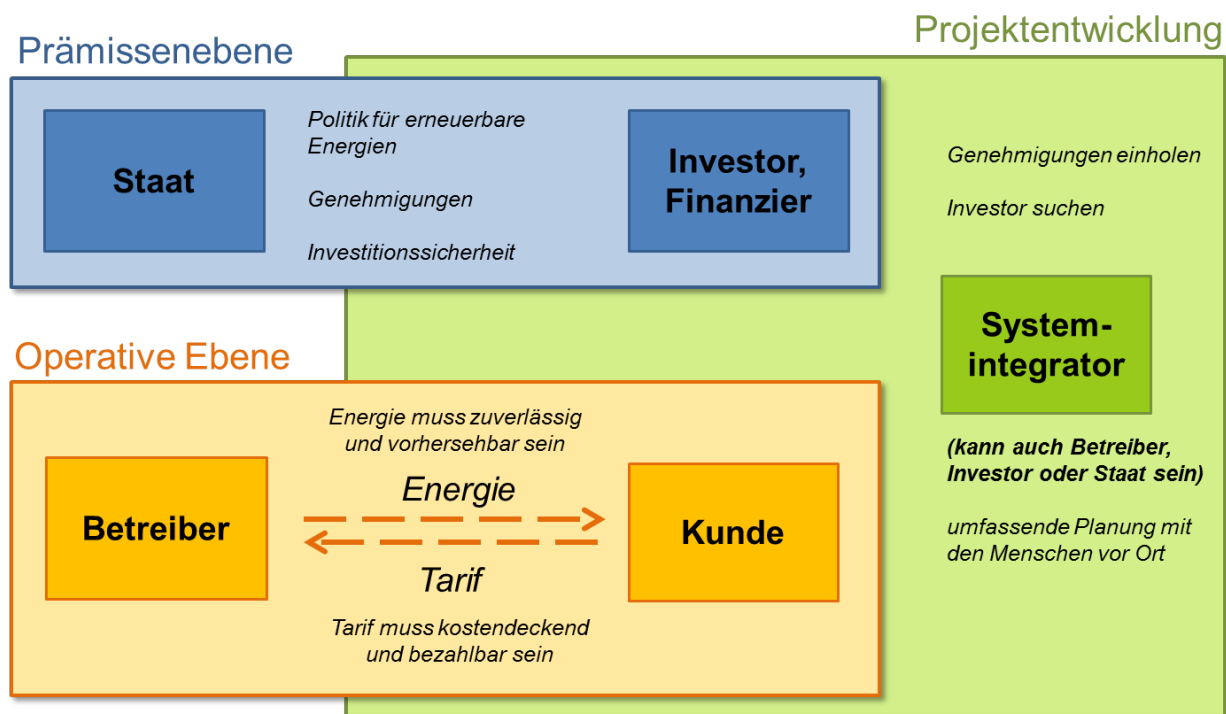
Insgesamt betrachtet und korreliert mit den Ergebnissen der vorangegangenen Analyse lässt sich festhalten, dass Überschneidungen von Wirtschaftlichkeit, Marktpotential und guten politisch ökonomischen Rahmenbedingungen vor allem in ostafrikanischen Ländern, aber auch in Peru, China und Papua Neuguinea zu finden sind.

### 3 Geschäftsmodelle

Im Folgenden werden die Ergebnisse zum Thema nachhaltige Geschäftsmodelle basierend auf der Literaturrecherche und der Interviews, die mit 21 Experten aus dem Bereich ländliche Elektrifizierung geführt wurden, vorgestellt. Neben zentralen Erfahrungswerten bezüglich Erfolg und Misserfolg von PV-Inselnetzen werden mögliche Konstellationen der Beteiligten skizziert und existierende Geschäftsmodelle vorgestellt.

#### 3.1 Ebenen und Beteiligte

Um die Konstellationen zwischen den verschiedenen Beteiligten eines Elektrifizierungsprojektes zu strukturieren, lassen sich drei Ebenen definieren: Eine Prämissenebene, eine Betriebsebene und als Bindeglied zwischen diesen beiden die Systemintegrationsebene. **Abbildung 9** zeigt diese Aufteilung mit den zugehörigen Beteiligten.



**Abbildung 9:** Ebenen von Elektrifizierungsprozessen

Zur Prämissenebene gehören Staat, Investoren und Finanziers, da genehmigungsrechtliche Aspekte und die Finanzierung eines Systems vor der Integration und dem Betrieb geklärt werden müssen. Auf der operativen Ebene finden sich Betreiber und Kunde. Dieses Zusammenspiel gilt für die gesamte Betriebslaufzeit und muss deshalb sehr gut vorbereitet sein. Als Bindeglied zwischen den beiden Ebenen steht der Systemintegrator, der die Projektentwicklung durchführt. Dies spiegelt auch die zeitliche Abfolge wieder. Die Projektentwicklung ist von besonderer Bedeutung, da sie den langfristig erfolgreichen Betrieb in einem relativ kurzen Zeitfenster vorbereiten muss und häufig auf unklare Rahmenbedingungen trifft. Der Systemintegrator, der die Projektentwicklung durchführt, kann sowohl als separater Akteur auftreten als auch durch einen der anderen Beteiligten verkörpert werden.

### 3.1.1 Prämissenebene

Die Voraussetzungen für Elektrifizierungsprojekte, die durch den Staat geregelt werden, hängen stark von der Einstellung der Regierung zu erneuerbaren Energien und privater Energieerzeugung ab. Eine skeptische oder ablehnende Grundhaltung hierzu sind häufig die Ursachen für politische Hürden. Ganz wesentlich sind vor allem genehmigungsrechtliche Fragen, wie beispielsweise die Zustimmung, Energie an Endverbraucher verkaufen zu dürfen, oder die Genehmigung der Tarife, die bei Inselnetzen in der Regel höher sind als beim nationalen Versorgungsnetz. Längerfristig ist die Bereitschaft des Staates, einen gesetzlichen Rahmen zu schaffen, vor allem für die Reproduktion erfolgreicher Projekte und Geschäftsmodelle von Bedeutung. Auf finanzieller Seite ist die Grundvoraussetzung die Sicherstellung der Finanzierung. Wer in ein PV-Inselnetz investiert oder Kapital dafür bereitstellt, muss sich im Zweifelsfall auf hohe Investitionskosten und relativ lange Rücklaufzeiten einlassen. Problematisch wirken sich in diesem Zusammenhang oft auch die Ungewissheit über den zukünftigen Erfolg eines Projektes und Risiken auf politischer und ökonomischer Seite aus.

### 3.1.2 Projektentwicklung

Der Systemintegrator muss sowohl Genehmigungen von staatlichen Institutionen einholen und einen Investor und Finanzier finden als auch die umfassende Planung mit den Menschen vor Ort durchführen und den nachhaltigen Betrieb einleiten. Vor allem kulturelle Sensibilität und die Einbindung lokaler Strukturen und Beteiligten sind bei der Projektentwicklung von großer Bedeutung. Die kulturellen Aspekte sind besonders vielfältig, da sie von Ort zu Ort sehr verschieden sein können. Die Anpassung an lokale Strukturen sollte deshalb bei jedem Konzept berücksichtigt werden. Auch wirtschaftliche und technische Aspekte wechselwirken in der Umsetzung mit kulturellen Gesichtspunkten. Insgesamt lassen sich hier keine Prioritäten zuordnen, da alle Anforderungen von großer Bedeutung sind und von Anfang an bei der Planung berücksichtigt werden müssen.

Problematisch sind häufig noch fehlende rechtliche Rahmenbedingungen, was dazu führt, dass Projekte frühzeitig abgebrochen werden oder der Systemintegrator die nötigen Voraussetzungen erst schaffen muss. Dies kann ein langwieriger, politischer Prozess sein, dessen Ausgang ungewiss ist.

Mögliche Systemintegratoren sind Entrepreneur, größere privatwirtschaftliche Unternehmen, nationale Energieversorger, Stiftungen und Organisationen der Entwicklungshilfe. Diese jeweiligen Player können auch als Betreiber auftreten.

### 3.1.3 Betrieb

Auf der operativen Ebene müssen einige Bedingungen erfüllt sein, um einen nachhaltigen Betrieb gewährleisten zu können (**Abbildung 10**). Im Mittelpunkt steht dabei das Produkt „zuverlässige Energie“ zu einem kostendeckenden und bezahlbaren Tarif.

Um eine zuverlässige Energieversorgung sicherzustellen, muss die technische Expertise für Wartung und Reparaturen vor Ort abrufbar sein. Außerdem sollten Rücklagen für Ersatzteile getätigt werden. Techniker, Verkäufer von Prepaid-Karten und andere Beteiligte, die im Zusammenhang mit dem Inselnetz arbeiten, erwarten eine angemessene Entlohnung, die in der Kalkulation der Stromtarife berücksichtigt sein muss. Der technische Service und die finanzielle

Abwicklung gehören dabei zu den Kernaufgaben des Betreibers. Damit sich ein Elektrifizierungsprojekt auch langfristig ökonomisch trägt, müssen die Kunden das System in den Grundzügen verstanden haben und sowohl bereit als auch in der Lage dazu sein, die bezogene Energie zu bezahlen. In diesem Zusammenhang ist es für die Menschen vor Ort wichtig, eine gewerbliche Tätigkeit aufnehmen zu können. Um diese wiederum zu ermöglichen, muss das Inselnetz erweiterbar sein und auf steigenden Bedarf (aufgrund des zusätzlichen Anschlusses von Maschinen etc.) in angemessener Zeit reagieren können. Genauso sollte die Möglichkeit bestehen, auch auf rückläufigen Bedarf reagieren zu können.

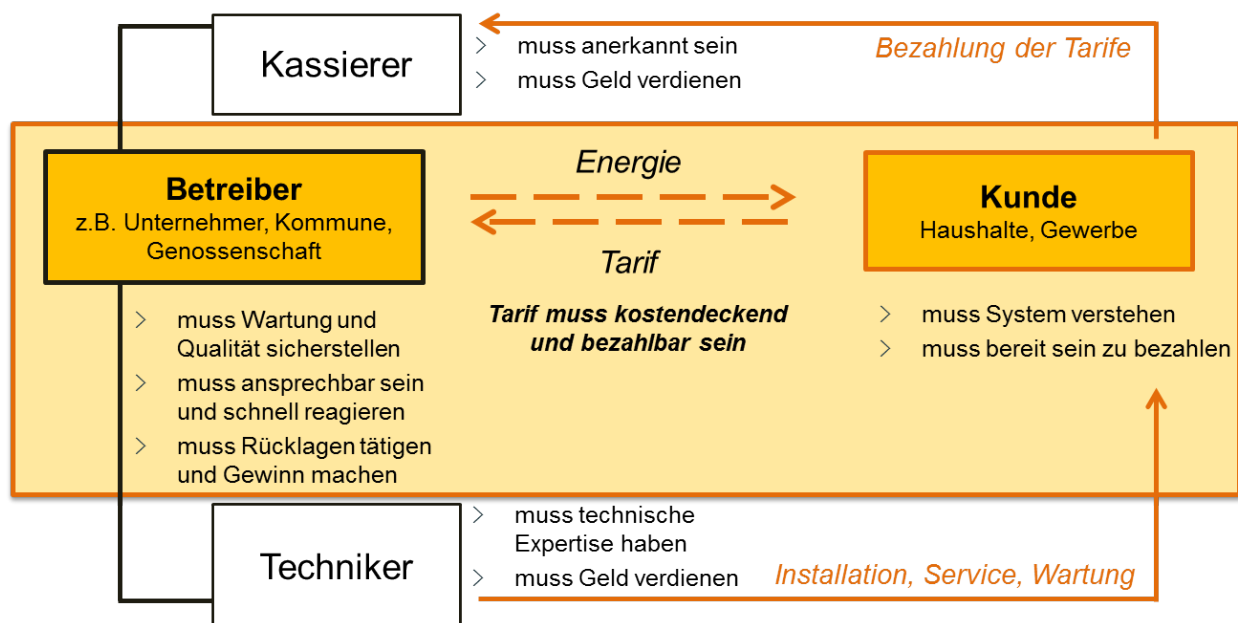


Abbildung 10: Operative Ebene eines Inselnetzes

### 3.2 Gründe für Misserfolge

In der Entwicklungsphase scheitern Inselnetze häufig an politischen Rahmenbedingungen und Finanzierungsproblemen. Genehmigungsverfahren können aufwendig und langwierig sein und führen nicht unbedingt zum Erfolg. Oft existieren gar keine gesetzlichen Vorgaben für den Betrieb von Inselnetzen, was in zähe Verhandlungen münden kann. In diesem Zusammenhang ist die Einstellung der Regierung eines Landes gegenüber erneuerbaren Energien und Inselnetzen entscheidend, da sie zentrale Hürden auf- oder abbauen kann. Hohe Einfuhrzölle zum Beispiel vergrößern die ohnehin hohen Investitionskosten und verschärfen dadurch die Probleme bei der Finanzierung. Die oft gegebene schlechte Kreditverfügbarkeit lässt sich zurückführen auf hohe Transaktionskosten, tendenziell zu lange Amortisationszeiten, Unsicherheiten in Bezug auf die politische Stabilität und Währungsrisiken sowie mangelndes Vertrauen der Banken in die Projektentwicklung.

Im Betrieb scheitern Inselnetze sehr häufig an den hohen laufenden Kosten, wenn diese durch die Tarife nicht ausreichend abgedeckt sind. Auch fehlende Rücklagen für Reparaturen oder Ersatzteile führen zum Scheitern. Auf technischer Seite ist oft die Wartung problematisch, wenn

niemand mit der erforderlichen technischen Expertise vor Ort ist oder die Verantwortung für Wartungsaufgaben nicht klar zugeordnet ist. Außerdem können vor allem eine mangelnde Auseinandersetzung der Investoren mit der lokalen Kultur und eine unzureichende Einbeziehung der Menschen vor Ort zu massiven Problemen führen.

### 3.3 Existierende Best Practice Geschäftsmodelle

Im Folgenden werden zwei Konzepte von Geschäftsmodellen und weitere Ansätze vorgestellt, die wichtige Anforderungen für einen nachhaltigen Betrieb auf unterschiedliche Weise umsetzen.

#### 3.3.1 Kaïto Phasenkonzept

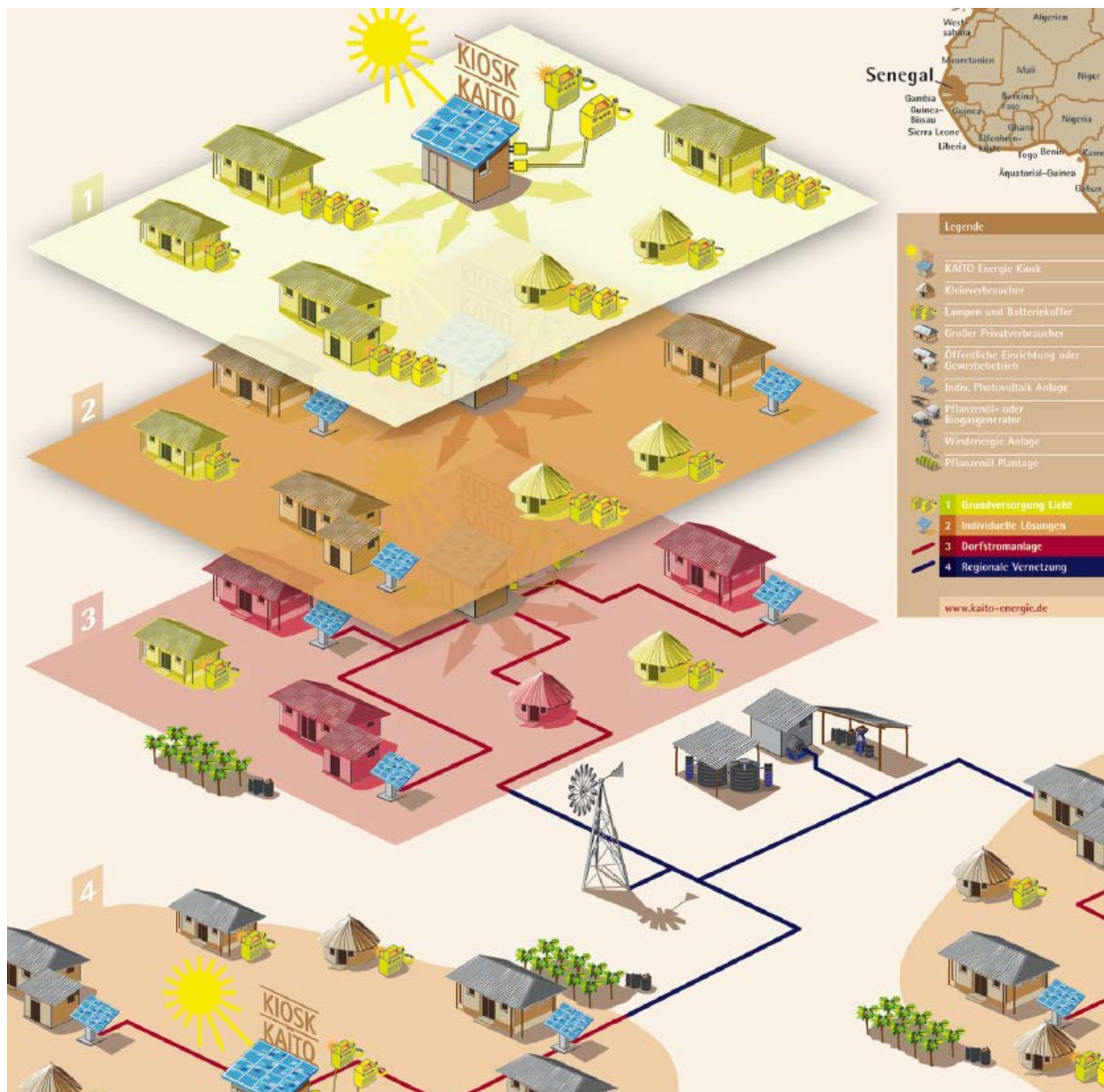
Die KAÏTO Energie AG mit Sitz in München hat ein Phasenkonzept entwickelt, bei dem aus anfangs kleinen Energiedienstleistungen eine wechselstrombasierte Dorfstromanlage und später sogar ein regionales Netz, das mehrere Dörfer miteinander verbindet, entstehen kann. Die verschiedenen Phasen sind in **Abbildung 11** skizziert.

In der ersten Phase werden Ladestationen an zentralen Punkten verschiedener Dörfer installiert. Diese werden von lokalen Kleinunternehmern betrieben, die DC-orientierte Energiedienstleistungen, wie das Laden von akkubetriebenen Geräten, verkaufen und Batteriesysteme zur Beleuchtung vermieten. Auch Energieberatung und die Vermittlung von Finanzierungen zum Kauf elektrischer Geräte werden angeboten. Die Stationsbetreiber werden von Kaïto ausgebildet und können auch einfache Installationsarbeiten durchführen. Für die angebotenen Dienstleistungen zahlen die Kunden eine Gebühr, die alle anfallenden Kosten inklusive Entgelt für den Betreiber und Erlös für den Investor abdeckt.

In der zweiten Phase werden individuell ausgelegte Energieerzeugungsanlagen an öffentliche Einrichtungen und kleine Betriebe mit höherem Energieverbrauch vermietet oder verkauft. Die Installation wird vom jeweiligen Kunden bezahlt und Kaïto-Personal führt die Wartung durch. Je nach Bedarf stellen diese Anlagen Wechsel- oder Gleichstrom zur Verfügung.

Die dritte Phase wird umgesetzt, wenn der Energiebedarf in einem Dorf über die Anwendungen der Ladestation hinauswächst und insbesondere Maschinen betrieben werden sollen. Dann werden alle im Dorf vorhandenen PV-Anlagen zu einem Wechselstromnetz verbunden und zusätzlich eine weitere Energiequelle zum Ausgleich der fluktuierenden Sonnenenergie und zur Deckung des höheren Bedarfs hinzugefügt. Je nach lokalen Verhältnissen wird hierfür eine kostengünstige Energiequelle, wie Pflanzenöl, Biogas oder Windkraft gewählt. Für einen Anschluss an das Inselnetz müssen Verbraucher eine Mindestabnahme garantieren. Für Kleinverbraucher stehen weiterhin die Angebote der Ladestation zur Verfügung.

In einem vierten Schritt sollen verschiedene Dorfstromanlagen zu einem regionalen Energiecluster verbunden werden. Auf diese Weise kann ein Energieversorger ein ganzes Flächengebiet mit Strom versorgen. Dies ist zudem eine Voraussetzung, um sich zum Beispiel im Senegal für Konzessionen zur Energieversorgung zu bewerben.



**Abbildung 11:** 4-Phasenkonzept © KAITO Energie AG, München

Das Kaito-Phasenkonzept zeichnet sich aus durch die schrittweise Erweiterung von anfangs kleinen DC-Anwendungen auf ein wechselstromgekoppeltes Dorfstromnetz, das die Möglichkeit bietet, Maschinen zu betreiben, um hiermit eine nachhaltige gewerbliche Entwicklung zu gewährleisten. Dieser Ansatz gestattet eine langsame Gewöhnung an den Umgang mit elektrischer Energie. Das System wird nur dann erweitert, wenn die Bevölkerung dafür zahlen kann und der Energiebedarf ausreichend groß ist. Dadurch werden sowohl soziale als auch finanzielle Risiken minimiert.

### 3.3.2 INENSUS Mikroenergiewirtschaft

Das Konzept der Mikroenergiewirtschaft ist ein Geschäftsmodell, das von der INENSUS GmbH entwickelt wurde. Im Gegensatz zum Kaïto-Phasenkonzept wird hier direkt ein AC-Inselnetz implementiert. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Konstellation der Akteure sowie das Tarif- und Abrechnungsmodell.

Die Mikroenergiewirtschaft basiert auf einer öffentlich-privaten Partnerschaft, bei der ein privater Investor als Kraftwerksbetreiber involviert ist, dem die Energieerzeugungseinheiten gehören. Aus der Gemeinschaft des Dorfes geht ein Inselnetzbetreiber hervor, der im Besitz der ortsfesten Komponenten ist. Die Investition in das Netz kann von öffentlicher Seite subventioniert sein. Die Eigentumstrennung führt zu gegenseitiger Qualitätskontrolle und ermöglicht beiden Seiten die Beendigung des Geschäftsverhältnisses bei Nichteinhaltung von Verträgen. Als weiterer Akteur stellt eine Mikrofinanzinstitution Kredite zur Verfügung, um Investitionen in gewerbliche Aktivitäten zu ermöglichen.

Das Tarifmodell sieht den Erwerb von „Elektrizitätsblöcken“ vor. Ein Elektrizitätsblock umfasst eine bestimmte Energiemenge bei einer maximal abrufbaren Leistung. Durch den Kauf mehrerer Blöcke wird sowohl die Energiemenge als auch die Leistung erhöht. Die gekauften Elektrizitätsblöcke müssen dann innerhalb einer bestimmten Zeit konsumiert werden. Zusätzliche Energie sowie größere Leistungen sind bei Bedarf in Maßen und zu höheren Preisen durch einen Dieselgenerator verfügbar. Nach jeweils sechs Monaten werden die Verträge neu ausgehandelt und das System gegebenenfalls an einen steigenden oder sinkenden Bedarf angepasst. Diese Zeitspanne ermöglicht einerseits die nötige Planungssicherheit für die Auslegung des Systems und verträgt sich andererseits mit den kurzfristigen Planungsgewohnheiten, die oft in sich entwickelnden Gebieten anzutreffen sind. Außerdem können die Vertragspartner ihre Zusammenarbeit bei mangelnder Zufriedenheit beenden.

Eine zentrale Komponente der Mikroenergiewirtschaft ist die in **Abbildung 12** und **Abbildung 13** dargestellte Lastmanagement- und Abrechnungseinheit (LAE).



**Abbildung 12:** Lastmanagement- und Abrechnungseinheit (LAE) © INENSUS GmbH

**Abbildung 13:** Montage der LAE © INENSUS GmbH



Dieses Gerät ist neben dem Haushaltsanschluss gleichzeitig die Ladestation für Strom-Guthabekarten und zeigt an, wie viel Energie für den aktuellen Abrechnungszeitraum noch zur Verfügung steht. Außerdem regelt sie als intelligente Einheit bei drohender Überlastung des Systems den gezielten Abwurf von Verbrauchern nach einstellbaren Prioritäten. Auch der Handel mit Elektrizitätsblöcken wird durch die LAE ermöglicht. So können Verbraucher, die mehr oder weniger Energie benötigen als zuerst angenommen, ihre Elektrizitätsblöcke untereinander verkaufen.

Das Konzept der Mikroenergiewirtschaft zeichnet sich durch Planungssicherheit und bedarfsgerechte Erweiterung des Systems aus. Diese Eigenschaften, die auch das Phasenkonzept von Kaito aufweist, werden aber bei beiden Geschäftsmodellen auf sehr unterschiedlichen Wegen erreicht.

### **3.3.3 Weitere Ansätze**

Weitere Ansätze von Geschäftsmodellen unterscheiden sich in der Finanzierung, der Art des Betreibers und dem Tarifsystem. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die je nach Land und Region sinnvoll sein können. Wenn der Staat zum Beispiel aus sozialpolitischen Gründen einen einheitlichen Tarif für das ganze Land vorschreibt, können auch direkte staatliche Subventionen oder Quersubventionen über den Energieversorger in diesem Rahmen zu einem nachhaltigen Geschäftsmodell gehören. Eine Subventionierung der Investitionskosten ist beispielsweise durch zinsgünstige Darlehen möglich. Subventionslose Finanzierung ist heute noch selten, gewinnt aber an Bedeutung.

Neben dem Zweibetreibermodell, wie es die Mikroenergiewirtschaft anwendet, sind je nach Art des Betreibers verschiedene Modelle möglich, bei denen ein einzelner Betreiber sowohl für das Netz als auch die Energieerzeugung zuständig ist. Hierbei kommt zunächst der nationale Energieversorger in Frage. Diese Lösung bietet sich bei staatlich subventionierten Projekten an. Der Energieversorger verfügt über die nötige technische Expertise und finanzielle Mittel. Möglicherweise können aber Distanzprobleme entstehen, wenn keine Filiale vor Ort ist. Ein privater externer Entrepreneur, der vor Ort als Betreiber agiert, kann schneller reagieren, hat aber als „Fremder“ sehr viel Macht, was bei Problemen schnell zu Unzufriedenheit führen kann. Wird das System hingegen alleine von der Dorfgemeinschaft betrieben, können technische Probleme und mangelndes Know-how schnell zum Scheitern führen. Bei ausgeprägtem Gemeinschaftssinn und hoher Motivation kann dieses Modell aber große Vorteile aufweisen.

Die Tarifgestaltung kann je nach kulturellem Hintergrund unterschiedlich ausfallen. Allerdings ist zu beachten, dass zum Beispiel Flatrate-Tarife eine Überlastungsgefahr darstellen und bei post-paid Abrechnung hohe Schulden entstehen können. Prepaid-Energie, die auf unbegrenzte Zeit gültig ist, hat nicht den Vorteil der Planungssicherheit über einen bestimmten Zeitraum. Intelligente Tarife, die die fluktuierende Verfügbarkeit erneuerbarer Energien einbeziehen, fördern das Verständnis der Nutzer für die Technik und schützen das System.

## 4 Ausblick

Der nachhaltige Betrieb eines regenerativ versorgten Inselnetzes ist eine umfangreiche organisatorische Herausforderung. Wenn in der Projektentwicklung alle kritischen Faktoren einbezogen werden und die Parameter passend auslegt werden, kann ein Inselnetz langfristig erfolgreich sein und maßgeblich zu lokaler Wertschöpfung und Entwicklung auf den verschiedensten Ebenen beitragen. Viele Erfahrungen wurden bereits gesammelt und können zu mehr Professionalität und Routine bei der Implementierung von Systemen beitragen. In zahlreichen Ländern müssen allerdings noch grundlegende Voraussetzungen geschaffen werden. Einige davon wurden zwar in der Vergangenheit zum Teil auch von Projektentwicklern vor Ort in Angriff genommen. Aufgrund des hierfür erforderlichen enormen Zeitaufwandes bei gleichzeitig eher geringen Erfolgsaussichten ist allerdings nicht davon auszugehen, dass Projektentwickler hier noch stärker aktiv werden können.

Großer Bedarf besteht auch bei projektunabhängigen Maßnahmen, die vor Ort generell zu mehr Bewusstsein für die Möglichkeiten von erneuerbaren Energien und zu mehr Expertise in den verschiedenen Bereichen führen. Dies kann zum Beispiel durch Ausbildung und Schulung lokaler Banken, Unternehmen, Projektentwickler und Politiker erreicht werden. Eine bessere Vernetzung der verschiedenen Akteure kann außerdem zu Synergien führen und Problemen vorbeugen. Zudem wird eine stärkere Vermarktung von Inselnetzen benötigt, um politische und wirtschaftliche Hürden abzubauen.

Wenn an verschiedenen Stellen die wichtigsten Voraussetzungen geschaffen und noch einige positive Praxisbeispiele sichtbar gemacht werden, können zukünftig Geschäftsmodelle für regenerativ versorgte Inselnetze, wie in **Abbildung 14** dargestellt, einfacher reproduziert werden.



**Abbildung 14:** PV-Hybrid-Inselnetz © SMA Solar Technology AG

## 5 Zusammenfassung

In großen Teilen der Erde besteht ein massiver Bedarf an Elektrifizierung. Vor allem in abgelegenen Gebieten fehlt oft der wertvolle Zugang zu Elektrizität. Inselnetze, die den Betrieb von Maschinen ermöglichen, sind besonders geeignet, um Gemeinschaften nachhaltig mit elektrischer Energie zu versorgen und lokale Entwicklung zu fördern. Als dezentrale Energiequelle eignet sich aufgrund ihrer Eigenschaften vor allem die Photovoltaik für die Versorgung von Inselnetzen. In vielen Ländern ist Photovoltaik heute schon eine wirtschaftliche Alternative zu Diesel und kann bis zu 90 % des Energieverbrauchs in einem Inselnetz bereitstellen. Sowohl Wirtschaftlichkeit als auch ein großes Marktpotential und gute politische und ökonomische Rahmenbedingungen für PV-Inselnetze finden sich besonders in Ostafrika und einigen südamerikanischen und asiatischen Ländern.

Die Gründe für das Scheitern von Inselnetzen sind schlechte politische Voraussetzungen, mangelnde Kreditverfügbarkeit und teilweise unzureichende Projektentwicklung. Insbesondere die Finanzierung stellt oft eine der größten Hürden für die erfolgreiche Realisierung eines Projektes dar. Wenn die politischen und finanziellen Voraussetzungen aber erfüllt sind, ist durch umfassende und vorausschauende Planung ein nachhaltiger Betrieb möglich. Kulturelle Aspekte, ein kostendeckendes und bezahlbares Tarifsystem sowie die Sicherstellung technischer Zuverlässigkeit sind wichtige Elemente einer erfolgreichen Systemintegration. Die Interessen von Nutzern, Betreibern, Finanziers und staatlichen Institutionen sollten sich dabei positiv ergänzen. Handlungsbedarf besteht vor allem noch auf politischer Ebene, um bessere Voraussetzungen zu schaffen. Besonders die Vorteile von erneuerbaren Energien sind vielen Entscheidungsträgern nicht hinreichend bekannt. Auch potentielle Finanziers wollen noch durch positive Beispiele überzeugt werden. Es gibt inzwischen einige vielversprechende Geschäftsmodelle, die bei klaren Voraussetzungen und guten Finanzierungsmöglichkeiten in einem Land leicht reproduziert werden können. Auf diese Weise könnte in relativ kurzer Zeit für viele Menschen in Entwicklungsländern der Zugang zu nachhaltig elektrischer Energie ermöglicht werden.