

# Hybridisierungspotentiale weltweit

PV-Diesel-Hybrid-Systeme

08. März 2016 in Kloster Banz, Bad Staffelstein

Dr. Philipp Blechinger

# Das Reiner Lemoine Institut (RLI)

## Überblick

---

- Gemeinnütziges Forschungsinstitut
- 100 % Tochter der Reiner Lemoine-Stiftung (RLS)
- Gegründet 2010 in Berlin
- Mitglied u.a. bei: ARE, eurosolar, BNE, dena, EEA
- Geschäftsführung: Dr. Kathrin Goldammer



**Reiner Lemoine**  
Gründer der Reiner Lemoine-  
Stiftung

# Historie



Reiner Lemoine

1978

EE Pionier

1996

Gründung Solon & Q.CELLS

1999

2006

Gründung RLS

2010

Gründung RLI

## Zielsetzung des RLI:

Wissenschaftliche Begleitung der Energiewende hin zu 100 % Erneuerbaren Energien

## MitarbeiterInnen:

heute ca. 25 Angestellte, organisiert in 3 Teams



# Forschungsfelder

## Transformation von Energiesystemen

Wir erforschen stabile und realisierbare Systeme für eine globale Erneuerbare Energieversorgung.

- Begleitung der Energiewende – national, regional und EU-weit
- Simulation und Optimierung sektorübergreifender Energiesysteme
- Analyse einzelner Technologien im Gesamtsystem (Speicher, PTG, PTH, KWK, WP, u.a.)
- Transformationsforschung

## Mobilität mit Erneuerbaren Energien

Wir untersuchen Energie- und Mobilitätssysteme, um Synergien zu identifizieren und zu entwickeln.

- Batterieelektrische Mobilität: Versorgung der Fahrzeuge mit Strom aus Erneuerbaren Energien
- Wasserstoffelektrische Mobilität: Erzeugung des Wasserstoffs mittels Elektrolyse und Erneuerbarer Energien
- Auf synthetischem Methan basierende Mobilität: Erzeugung des Methans mittels Elektrolyse, Erneuerbarer Energien und Methanisierung

## Off-Grid Systeme

Wir unterstützen die Entwicklung nachhaltiger Energieversorgung in abgelegenen Regionen.

- Ländliche Elektrifizierungsplanung
- Simulation und Optimierung hybrider Mini-Grids
- Kombination aus GIS Analysen und Energiesystemmodellierung
- Marktanalysen und Geschäftsstrategien

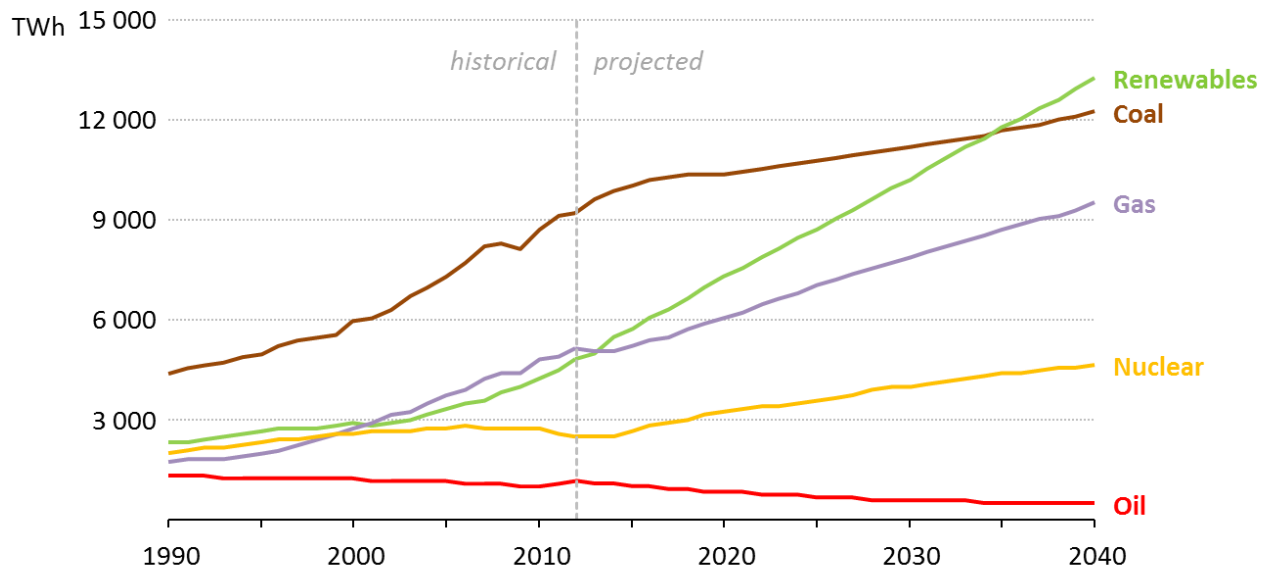
# Agenda

- Übersicht Hybridisierung
- Marktpotentiale
  - Inseln
  - Remote Industries
  - Ländliche Elektrifizierung
- Fallbeispiel Nigeria
- Zusammenfassung

# Einleitung – Stromerzeugung global

- Hauptanteil der weltweiten Stromerzeugung entfällt auf Großkraftwerke (Kohle, Gas oder Kernenergie)
- Wasserkraft spielt mit 16 Prozent eine wichtige Rolle
- Andere Erneuerbare Energien (z.B. Wind und Photovoltaik) tragen nur 5 Prozent zu der Erzeugung bei
- Finanzierung von Erneuerbaren Energien meist durch feste Einspeisevergütungen

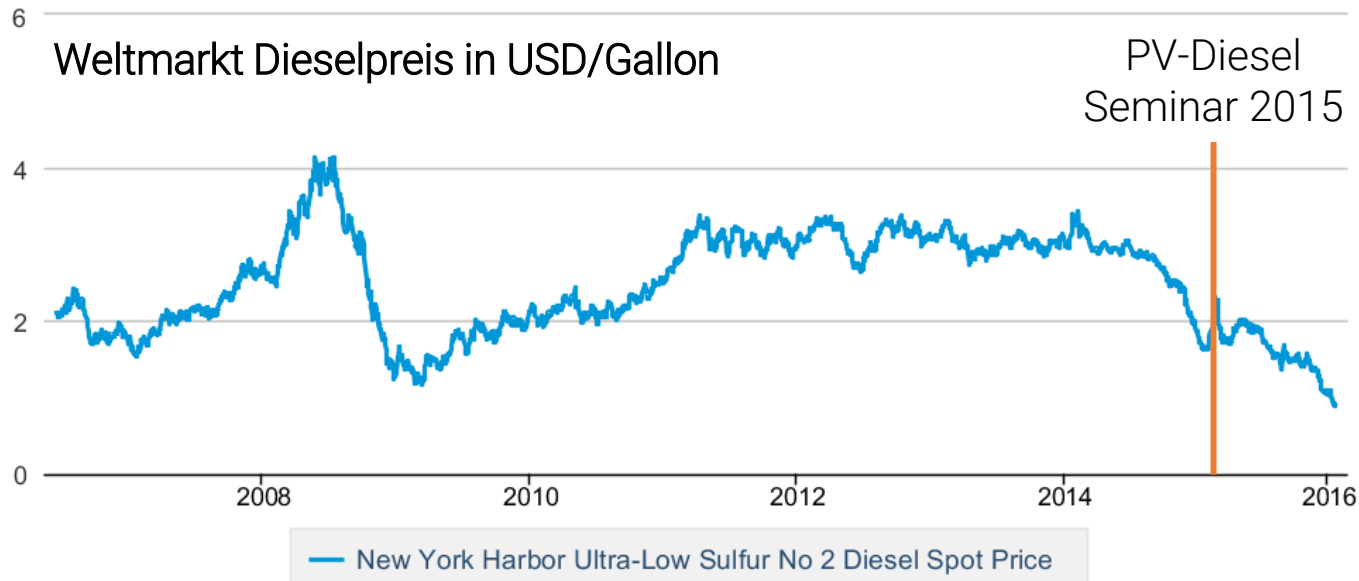
**World electricity generation by source**



IEA, 2014

# Einleitung – Stromerzeugung Dieselkraftwerke

- In zentralen Netzen nur als Spitzenlast oder Back-up Kraftwerke
  - Geringe Volllaststundenzahl pro Jahr
- Dieselkraftwerke werden allerdings häufig in dezentralen Netzen eingesetzt
- Hohe Stromerzeugungskosten durch hohe Brennstoffpreise (aktuell nicht)



Jetzt: 20 EURct/liter  
-> Diskussion

# Einleitung – Hybridisierung

- Dieselstromgestehungskosten können deutlich über 0,20 EUR/kWh liegen (bei hohen Transportkosten und niedriger Effizienz der Dieselmotoren)
- Attraktiver Markt für die Implementierung von Erneuerbaren Energien (Hybridisierung) ohne Förderinstrumente
- Wo liegen diese Marktpotentiale?
  - Inselenergieversorgung
  - Industrie und Gewerbe (z.B. Minen oder Tourismus)
  - Ländliche Elektrifizierung

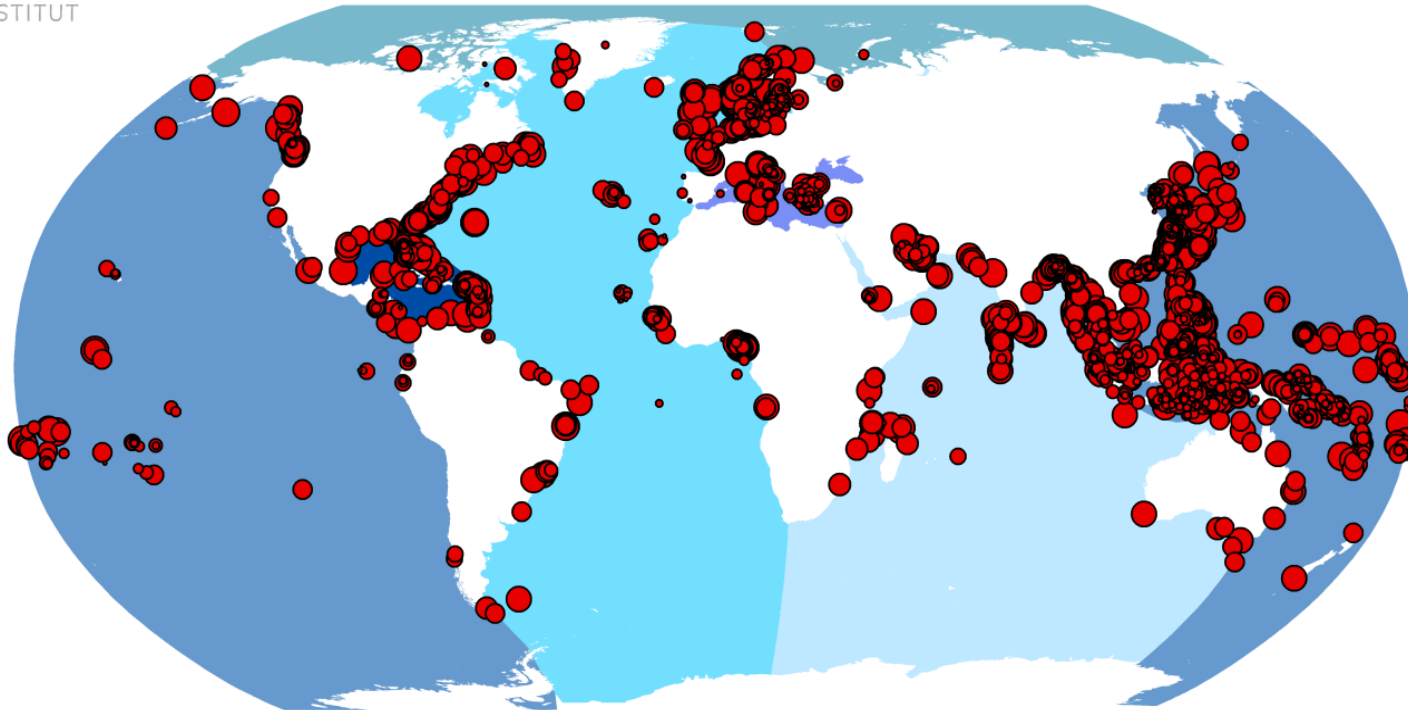


# Agenda

- Übersicht Hybridisierung
- Marktpotentiale
  - Inseln
  - Remote Industries
  - Ländliche Elektrifizierung
- Fallbeispiel Nigeria
- Zusammenfassung

# Inselenergieversorgung - Weltkarte

**Global Small Island Landscape**  
(1,000 - 100,000 inhabitants)



**Oceans**

- Arctic Ocean
- Atlantic Ocean
- Caribbean Gulf of Mexico & Bahamas
- Indian Ocean
- Mediterranean Sea
- Pacific Ocean

**Energy consumption [GWh/year]**

- |               |               |
|---------------|---------------|
| • 0.01 - 0.05 | ● 1.0 - 5.0   |
| • 0.05 - 0.1  | ● 5.0 - 10.0  |
| • 0.1 - 0.25  | ● 10 - 100    |
| • 0.25 - 0.5  | ● 100 - 1,000 |
| • 0.5 - 1.0   | ● > 1,000     |

Quelle: Blechinger et al. (2015), **Global Analysis of the Techno-Economic Potential of Renewable Energy Hybrid Systems on Small Islands**, submitted to Energy Policy

# Inselenergieversorgung – Aggregierte Ergebnisse

Region	Number of Islands	Population (av.)	Population (sum)	GDP (av.) [USD/cap]
Atl. + Arct. Oc.	380	10,930	4,150,000	24,100
Caribbean +	103	14,730	1,517,000	15,900
Indian Ocean	319	13,195	4,209,500	4,890
Mediterr. Sea	93	11,590	1,077,000	31,400
Pacific Ocean	890	8,920	8,743,000	12,240
<b>Total</b>	<b>1,785</b>	<b>11,040</b>	<b>19,696,500</b>	<b>14,470</b>
Region	El. cons. (sum) [GWh/year]	El. cons. (av.) [MWh/year]	El. cons. (av. per cap.) [kWh/(year-cap)]	LCOE Diesel only (av.) [USDct/kWh]
Atl. + Arct. Oc.	18,530	48,760	4,470	44.8
Caribbean +	4,490	43,620	2,960	37.2
Indian Ocean	3,350	10,490	795	40.6
Mediterr. Sea	3,650	39,290	3,390	45.0
Pacific Ocean	19,720	22,160	2,255	45.1
<b>Total</b>	<b>49,740</b>	<b>27,870</b>	<b>2,525</b>	<b>43.8</b>

LCOE Diesel basieren auf 2,8 USD/gallon, 3 % p.a. Preisanstieg, 20 Jahre Projektlaufzeit, 30 bis 40 % Effizienz, var. Opex 0,05 USD/kWh

# Inselenergieversorgung - Zusammenfassung

## Potential:

- Große Anzahl an kleinen Inseln (1.000 bis 100.000 Einwohner) stellt interessantes Potential zur Hybridisierung dar durch hohe Brennstoffkosten
- PV-Hybridisierung vor allem vorteilhaft auf tropischen und sub-tropischen Inseln (in Kombination mit Batterien)
- Aber: Wind-Diesel-Batterie Systeme interessant für nordische Inseln

## Implementierung:

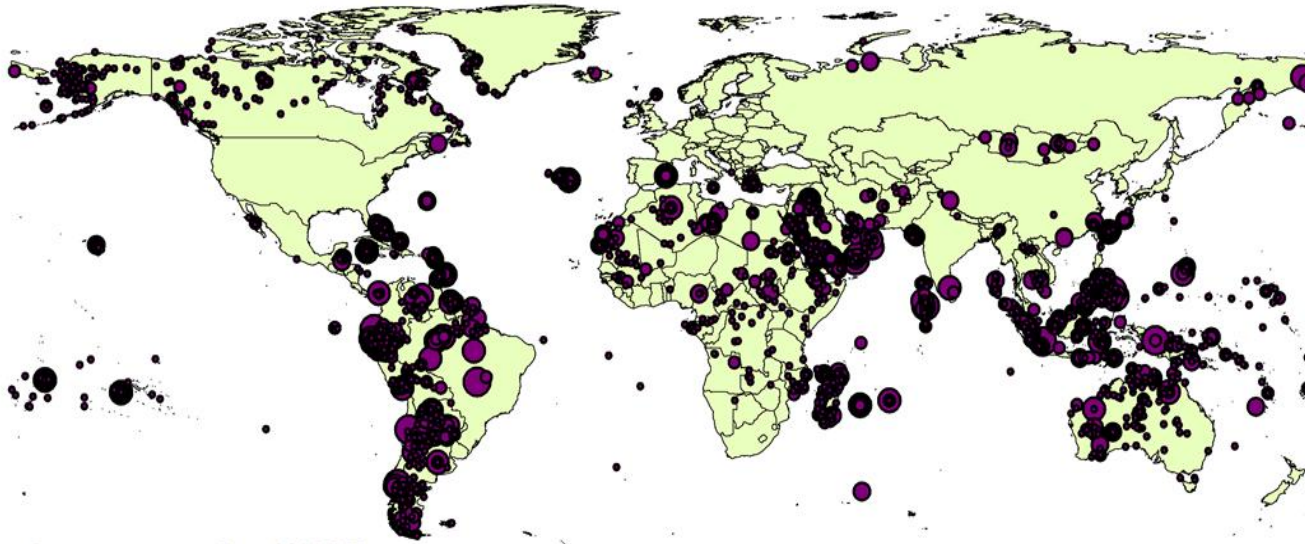
- Hohe Projektentwicklungskosten durch Einzelprojekte
- Bisher Hybridisierung auf Inseln eher als Showcase (Mustique, El Hierro, Graciosa)
- Viele Energieversorger auf Inseln sind in staatlicher Hand und verfügen nur über geringes Investitionskapital
- Größerer Roll-out scheint nur möglich mit lokalen Partnern (z.B. Dieselgeneratoren Vertrieb)

# Agenda

- Übersicht Hybridisierung
- Marktpotentiale
  - Inseln
  - Remote Industries
  - Ländliche Elektrifizierung
- Fallbeispiel Nigeria
- Zusammenfassung

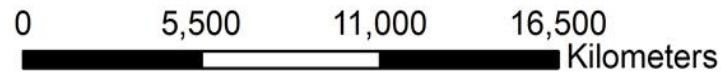
# Remote Industries - Weltkarte

Global distribution of diesel power units  
More than 100 km away from transmission grid



Diesel power units [MW]

- 0.01 - 2.5
- 2.51 - 7.0
- 7.01 - 15.0
- 15.01 - 45.0
- 45.01 - 250.0



Blechinger et al. (2015):  
**Marktpotentiale von  
PV-Diesel-Hybrid-  
Systemen**, PV-  
Symposium, Bad  
Staffelstein, 4.-6.3.2015



# Remote Industries – Aggregierte Ergebnisse

Country	Capacity > 100 km from grid [MW]	Total Capacity [MW]
INDONESIA	1.623	4.016
PHILIPPINES	1.343	3.055
BRAZIL	1.029	3.509
SAUDI ARABIA	998	2.190
AUSTRALIA	577	912
PERU	515	843
MALAYSIA	499	973
USA	423	5.286
ARGENTINA	412	801
PAPUA NEW GUINEA	348	443

Neben den Inselstaaten finden sich vor allem in Ländern mit netzfernen Industrien (z.B. Minen, Rohstoffförderung) off-grid Dieselkapazitäten. Saudi Arabien bildet eine Ausnahme mit einem hohen Anteil an dezentraler dieselbasierter Energieversorgung für die Bevölkerung. Die überwiegende Mehrheit an Dieselmotoren ist statistisch nicht erfasst.

# Remote Industries - Zusammenfassung

## Potential:

- Große Anzahl an Dieselmotoren zur netzfernen Energieversorgung von Minen oder Industrien
- Zusätzlich werden oft Dieselmotoren als Back-up in weak-grids betrieben (Stromausfälle von teilweise mehr als 6 h am Tag)
- Aber: Teilweise geringe Dieselmotorkosten durch Subventionen

## Implementierung:

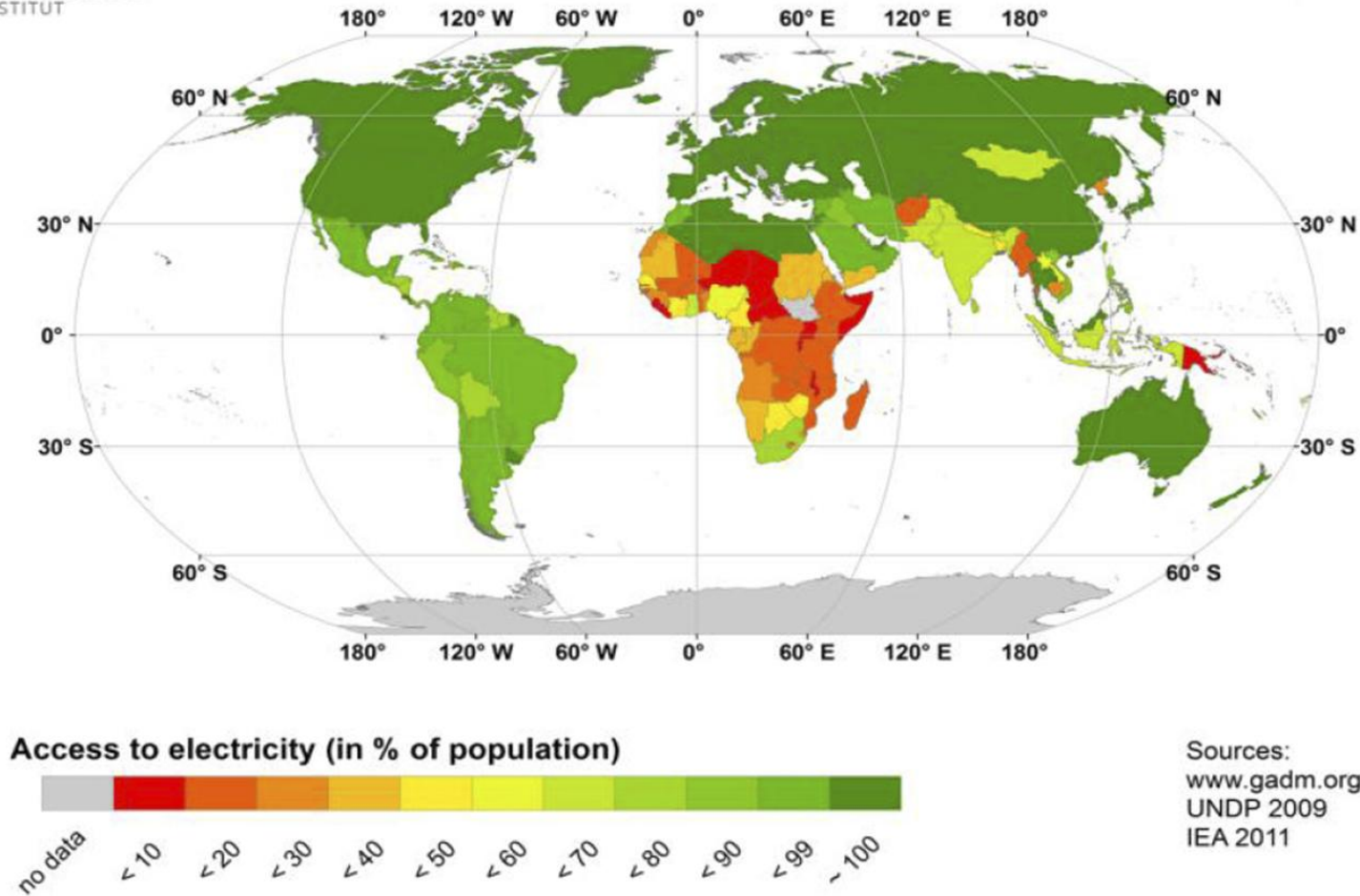
- Kraftwerke werden überwiegend privat betrieben und Erzeuger ist gleich Verbraucher
- Dieseleinsparungen kommen dadurch direkt dem Kunden zu Gute
- Privatwirtschaftlicher Kundenkreis mit verfügbarem Investitionskapital, aber sehr hohen Renditeerwartungen (z.B. Payback-time < 3 bis 5 Jahre)



# Agenda

- Übersicht Hybridisierung
- Marktpotentiale
  - Inseln
  - Remote Industries
  - Ländliche Elektrifizierung
- Fallbeispiel Nigeria
- Zusammenfassung

# Ländliche Elektrifizierung - Weltkarte



Cader, C. et al. (2015) **Global cost advantages of autonomous solar-battery-diesel systems compared to diesel-only systems.** Energy for Sustainable Development, 2015.

# Ländliche Elektrifizierung – Aggregierte Ergebnisse

SOURCE: IEA, World Energy Outlook 2015

Electricity access in 2013 - Regional aggregates

Region	Population without electricity millions	Electrification rate %	Urban electrification rate %	Rural electrification rate %
<b>Developing countries</b>	<b>1,200</b>	<b>78%</b>	<b>92%</b>	<b>66%</b>
Africa	635	43%	68%	26%
<i>North Africa</i>	1	99%	100%	99%
<i>Sub-Saharan Africa</i>	634	32%	59%	17%
Developing Asia	526	86%	96%	78%
<i>China</i>	1	100%	100%	100%
<i>India</i>	237	81%	96%	74%
Latin America	22	95%	98%	84%
Middle East	17	92%	98%	78%
<b>Transition economies &amp; OECD</b>	<b>1</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b>WORLD</b>	<b>1,201</b>	<b>83%</b>	<b>95%</b>	<b>70%</b>

Größter Anteil an Menschen ohne Zugang zu Elektrizität lebt in sub-Sahara Afrika oder in Süd-Ost Asien.

# Ländliche Elektrifizierung - Zusammenfassung

## Potential:

- 1,2 Milliarden Menschen weltweit haben keinen Zugang zu Stromversorgung
- Aber: Elektrifizierung hauptsächlich durch Netzerweiterung
- Aber: Geringe Kaufkraft der lokalen Bevölkerung

## Implementierung:

- Schwieriges Geschäftsmodell, da Umsätze pro Kunde/in gering sind
- Keine eigentliche Hybridisierung, sondern neu Elektrifizierung, reine PV-Batterie Projekte sind möglich
- Oft Spenden-finanzierte Projekte

# Agenda

- Übersicht Hybridisierung
- Marktpotentiale
  - Inseln
  - Remote Industries
  - Ländliche Elektrifizierung
- Fallbeispiel Nigeria
- Zusammenfassung

# Introduction

Policy Directive of the Federal Ministry of Power (FMP) of the Federal Government of Nigeria “**On the promotion of the use of energy from renewable sources and procurement of capacity**” will be created.

This project supports the Policy Directive by providing numbers on the potential of photovoltaic (PV) systems for rural electrification by Solar Home Systems (SHS) and hybrid Mini-Grids for whole Nigeria.

The attempt is complex because essential data on the current status of electricity supply and load demands in rural areas is lacking and profound work-arounds need to be established.

To do so, the team will use a GIS database and spatial modelling to

- a) understand where the consumers are,
- b) whether or not they are reached by the grid/electrified already
- c) building priority areas for different electrification approaches
- d) defining capacity needs in mini-grids and SHS and
- e) modelling two different PV-shares in hybrid mini-grids

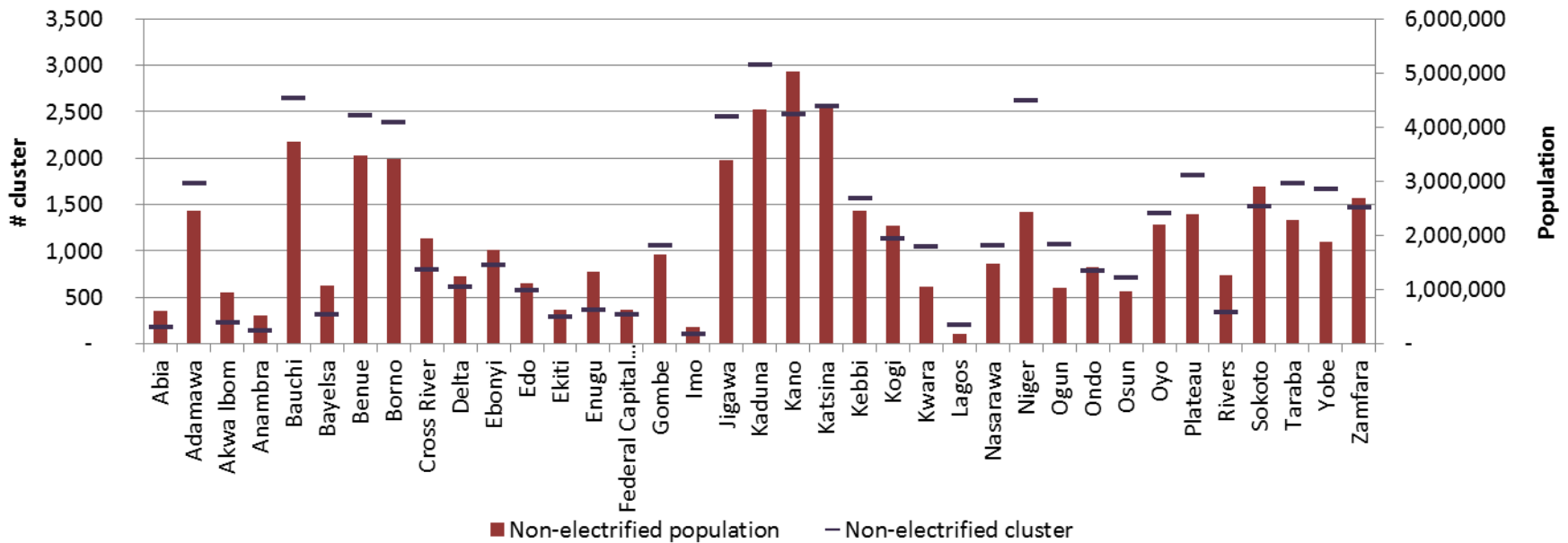
# Methodology - Overview

For this analysis a combination of GIS tools, energy system simulations and literature analysis is chosen to derive an overview of the potential on SHS and PV hybrid Mini-Grids for rural electrification in whole Nigeria.

- GIS analyses by QGIS to
  - derive consumer cluster
  - identify status of electrification
  - define priority areas for electrification by grid extension, Mini-Grids, SHS
- Literature analyses
  - define loads and electricity consumption for Mini-Grids
  - define size of SHS for stand-alone electrification
- Energy system modelling to
  - derive shares of PV energy in one typical Mini-Grid as baseline for extrapolation of PV Mini-Grid potential

# Status of Electrification – Results

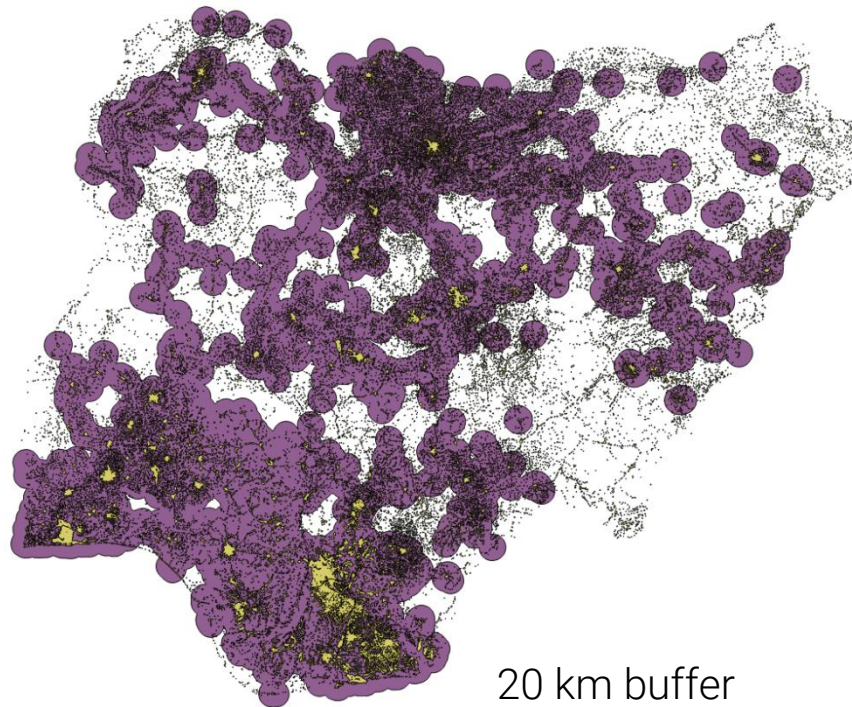
- In total 45,456 clusters are non-electrified (95 %)
- But only 83 out 181 million people living in the non-electrified area (46 %)
  - Including 10m people living outside clusters assumed to be non-electrified
  - The clusters with the largest number of people are all electrified





# Electricity supply options - Methodology

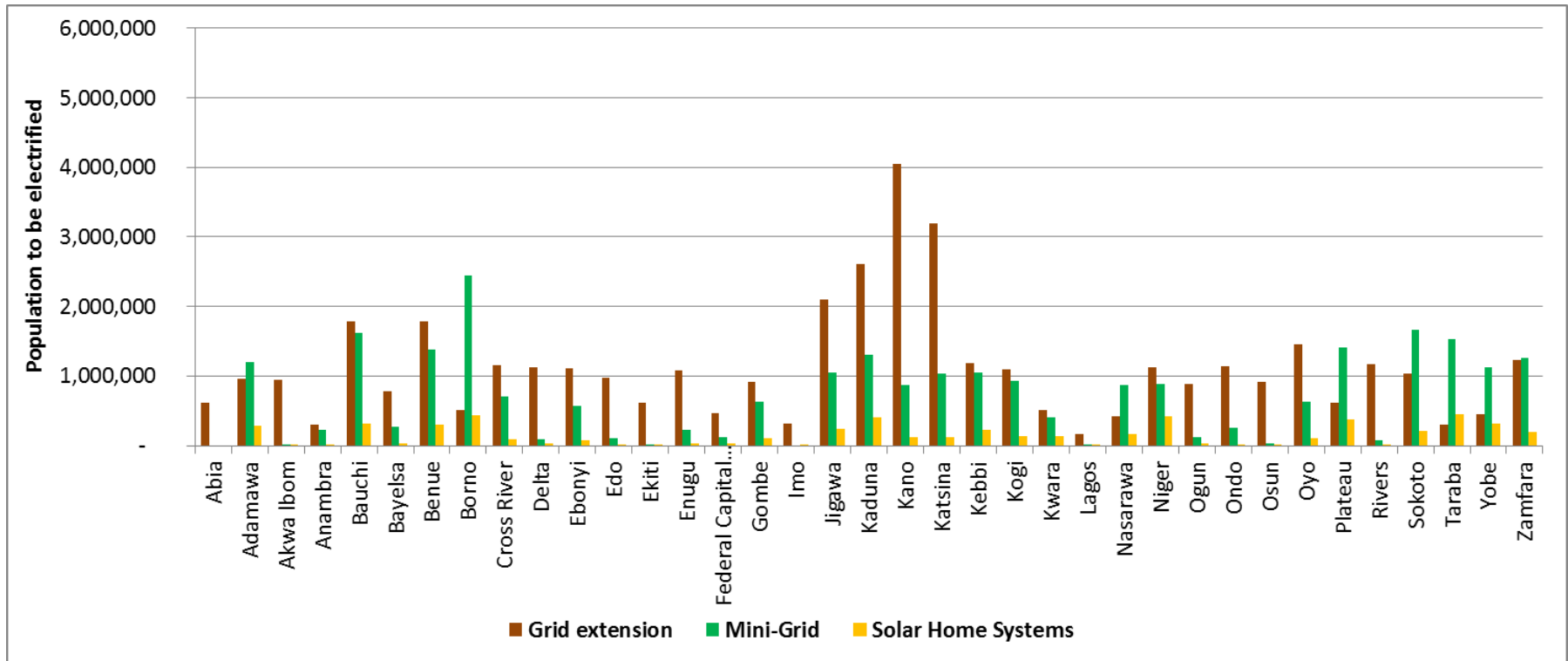
- All clusters around 10 and 20 km buffer zone of electrified clusters (grid-clusters) are assumed to be electrified via grid connection
- All clusters outside the grid extension area below 1,000 ppl are assumed to be electrified by stand alone systems – SHS
- All remaining clusters are assumed to be electrified by PV Mini-Grids



# Electricity supply options – Results I – 10km grid buffer

- Total results

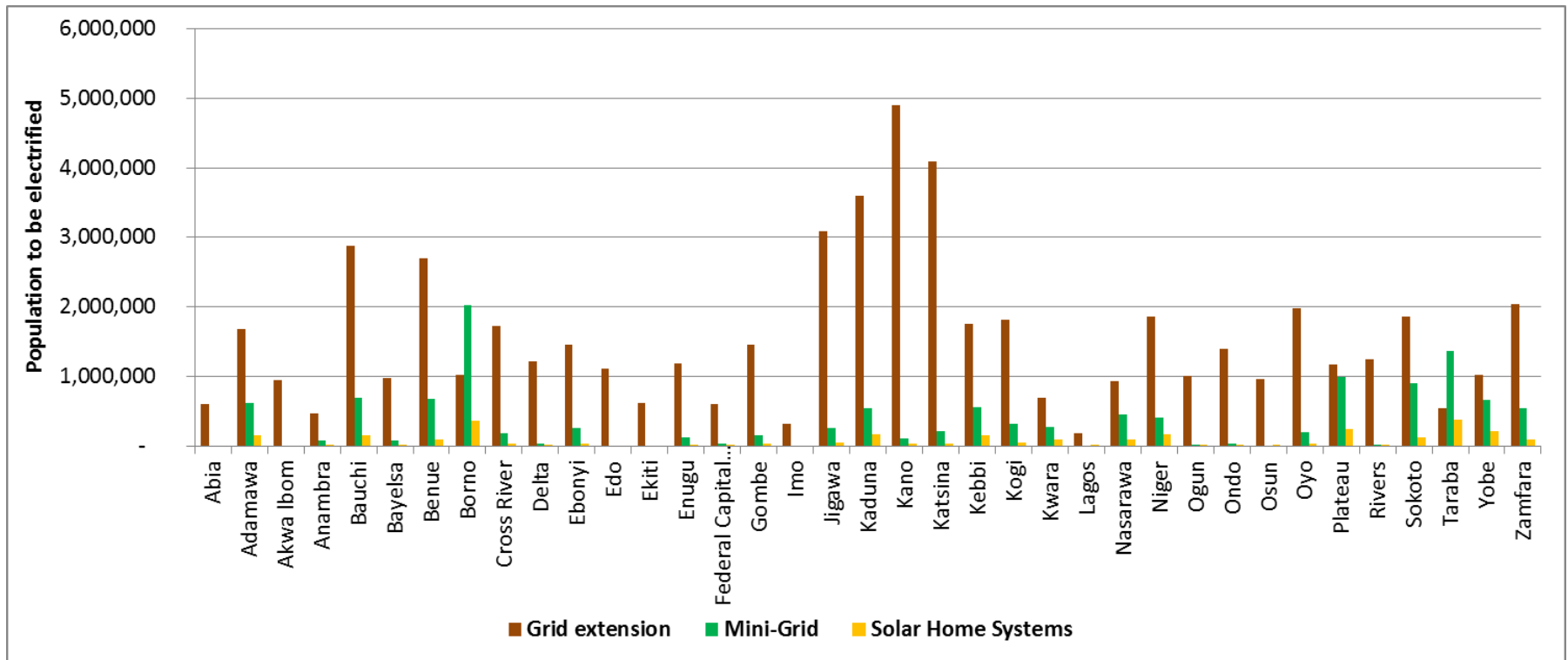
- Grid electrification: 23,457 cluster 41.0 million ppl
- Mini-Grid electrification: 7,882 cluster 26.2 million ppl
- SHS electrification: 14,117 cluster 5.5 million ppl



# Electricity supply options – Results II – 20km grid buffer

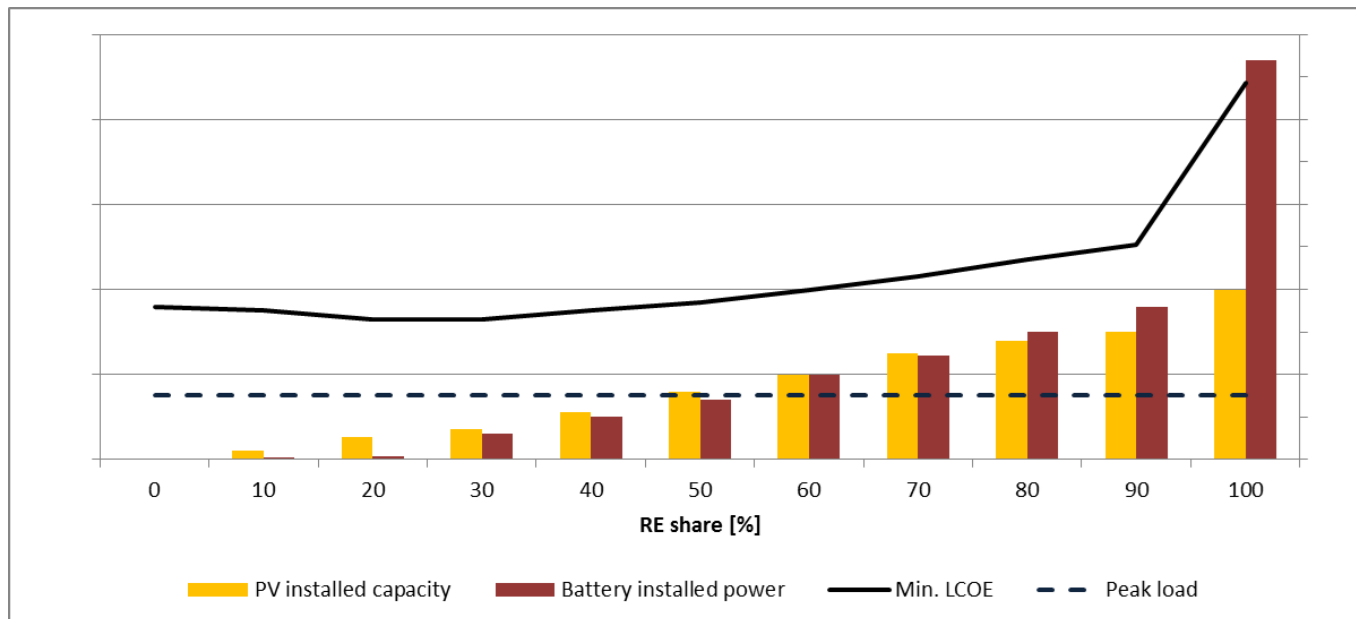
- Total results

- Grid electrification: 34,446 cluster 57.1 million ppl
- Mini-Grid electrification: 3,800 cluster 12.8 million ppl
- SHS electrification: 7,210 cluster 2.8 million ppl



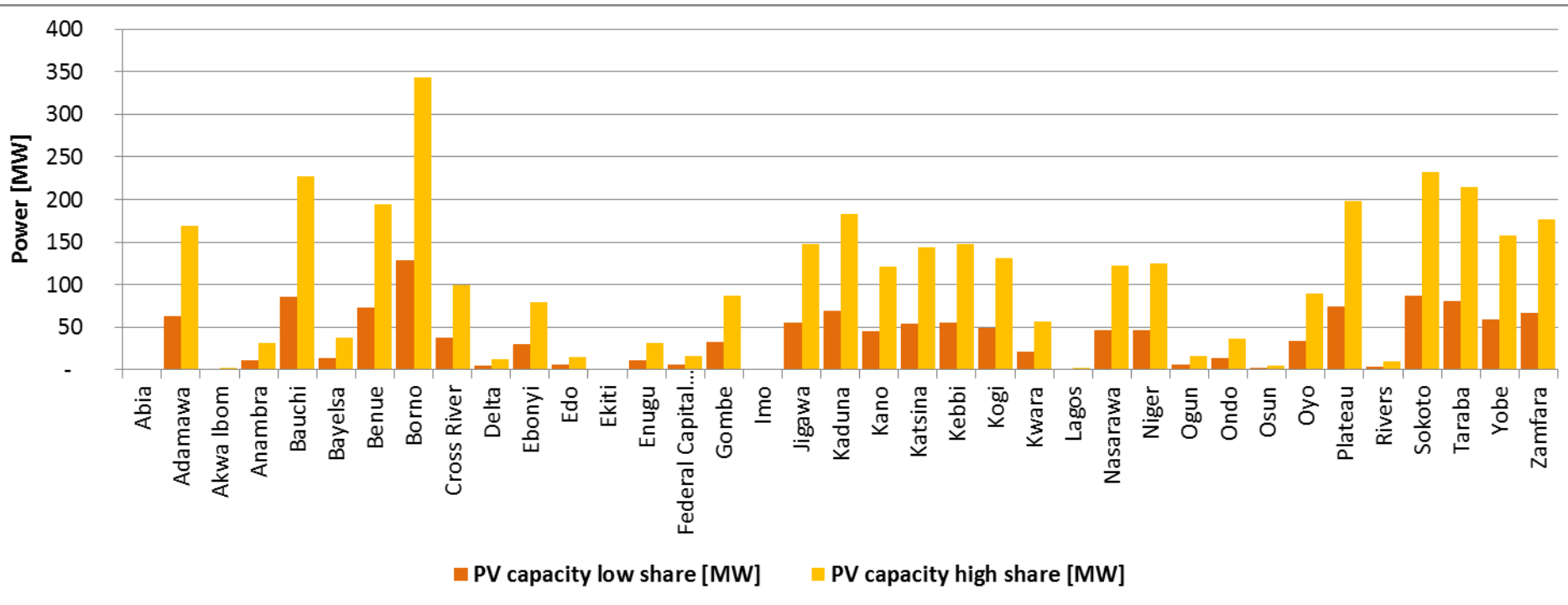
# PV potential Mini-Grids – Results Showcase

- Only qualitative results are shown (as cost parameter are not approved)
- Load profile has high evening peaks and low demand during the day
  - Batteries are necessary even for low shares of renewable energies (high power batteries)
  - Cost increase for high RE share as PV production is only during the day (storage necessary)
- Suggested PV capacities for further analysis
  - Low share system: 0.75 times peak load
  - High share system: 2 times peak load



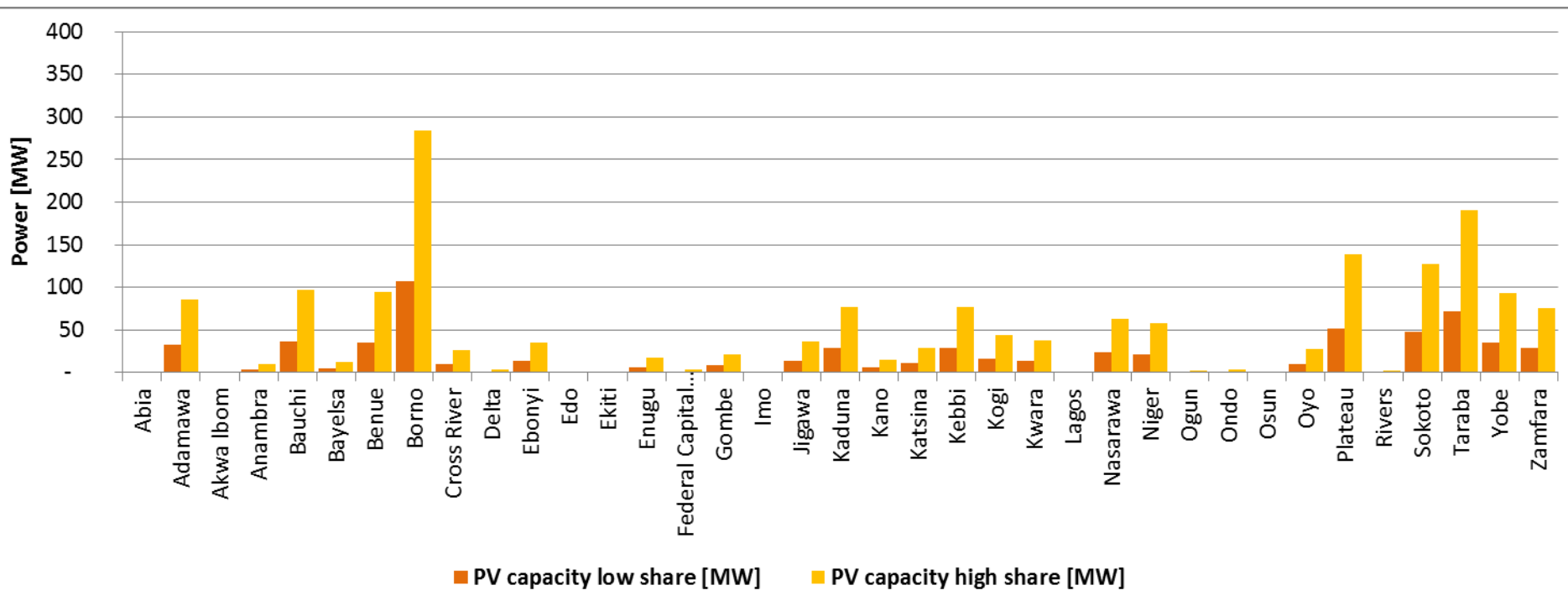
# PV potential Mini-Grids – Results (10 km buffer)

- Per Mini-Grid priority cluster 263 Wp PV (low share RE) and 700 Wp (high share RE) capacities are assumed for each household
- Total capacity: 1,380 MW (low share); 3,660 MW (high share)
- Per Mini-Grid cluster only one PV hybrid Mini-Grid is assumed
  - Total number: appr. 8,000



# PV potential Mini-Grids – Results (20 km buffer)

- Per Mini-Grid priority cluster 263 Wp PV (low share RE) and 700 Wp (high share RE) capacities are assumed for each household
- Total capacity: 671 MW (low share); 1,790 MW (high share)
- Per Mini-Grid cluster only one PV hybrid Mini-Grid is assumed
  - Total number: appr. 3,800



# Conclusion

- Number of Mini-Grids and SHS depends upon the intensity of electrification by extension of the central grid
  - 10 and 20 km buffers are applied to show different grid electrification ranges
    - (10 km = low grid electrification; 20 km = high grid electrification)
- **PV potential for hybrid Mini-Grid** electrification ranges from **671 to 3,660 MW**
  - Two scenarios for low and high share RE systems
  - Low share RE: 671 MW (high grid electrif.) to 1,380 MW (low grid electrif.)
  - High share RE: 1,790 MW (high grid electrif.) to 3,660 MW (low grid electrif.)
- **SHS PV potential** for stand alone electrification ranges from **84 to 164 MW**
  - 84 MW (high grid electrification)
  - 164 MW (low grid electrification)

# Agenda

- Übersicht Hybridisierung
- Marktpotentiale
  - Inseln
  - Remote Industries
  - Ländliche Elektrifizierung
- Fallbeispiel Nigeria
- Zusammenfassung



# Zusammenfassung – Hybridisierung

- Marktpotentiale für PV-hybrid Systeme liegen in unterschiedlicher Ausprägung vor für
  - Inselenergieversorgung
  - Industrie und Gewerbe (z.B. Minen oder Tourismus)
  - Ländliche Elektrifizierung
- Erfolgsfaktoren für deren Erschließung sind:
  - Showcase Projekte und Referenzen
  - Regionale und thematische Spezialisierung hilfreich
  - Finanzierung und Projektentwicklung muss anfangs meist eigenständig erfolgen

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

## SPRECHEN SIE UNS AN FÜR

- Forschungsk Kooperationen
- Gemeinsame Projektentwicklungen
- Auftragsforschung
  
- Business Development in Zusammenarbeit mit



**APRICUM**  
THE CLEANTECH ADVISORY.



Tel: +49 (0)30 5304 2012  
E-Mail: [philipp.blechinger@rl-institut.de](mailto:philipp.blechinger@rl-institut.de)  
Web: <http://www.rl-institut.de>