



Solarworx GmbH
Danziger Str. 64
10435 Berlin



Abschlussbericht Solarstromsysteme & Microgrid Kamerun

**Aktenzeichen
Az 35501/41/**

Ein Projekt zur Entwicklung innovativer
Elektrifizierungskonzepte durch solare Einzelanlagen und
dezentrale mini grids für den ländlichen Raum Kameruns

Von

Felix Boldt
Geschäftsführer der Solarworx GmbH

Berlin, Mai 2023

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Verzeichnis von Begriffen und Definitionen	5
Zusammenfassung	6
Erreichte Ziele	7
Ausblick in die Zukunft	7
Einleitung	8
Hauptteil	10
Vorbereitende Arbeitsschritte	10
Produktion der MESH Systeme	13
Methoden der Technologieentwicklung	14
Detailliertere Arbeitsschritte der technischen Entwicklung	15
Umweltrelevanz des Vorhabens	18
Einordnung in den Stand der Technik	20
Diskussion der Ergebnisse	20
Kosten für die Entwicklung und die Pilotierung	24
Öffentlichkeitsarbeit	24
Fazit	25

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anfahrt zum MESH Grid bei Maroua mit UNDP und Vertretern der lokalen Behörden.....	7
Abbildung 2: Standort des MESH Netzwerks in Nord-Kamerun	10
Abbildung 3: Installation des MESH Netzwerks und der Erzeugersysteme	11
Abbildung 4: Montage der Aluminiumkabel an den Masten.....	12
Abbildung 5: 3D Darstellung der Platine entwickelt durch die Solarworx GmbH	13
Abbildung 6: GIT Versionsverwaltungstool für Entwickler	14
Abbildung 7: Beispielbilder ausgewählter APP wire frames	15
Abbildung 8: Beispielhafte Darstellung ausgewählter Netzteilnehmer visualisiert mit Grafana.....	16
Abbildung 9: Droop Control Regelung der Spannung und der Ströme visualisiert mit Grafana.....	17
Abbildung 10: GOGLA Impact Berechnungstool	19
Abbildung 11: MESH Box	22

Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

SHS	Solar Home System
UNDP	United Nation Development Programme
IoT	Internet of Things
LoRa	Long Radio (Industriefunk Netzwerk)
PV	Photovoltaik
AC	Alternating Current (Wechselstrom)
DC	Direct Current (Gleichstrom)
ERB	Energy Regulation Board (hier Sambia)
BOM	Bill of Material (Stückliste)
SMT	Surface Mounted Technology
THT	Through Hole Technology
ISCT	In System Circuit Tester
OTA	Over the air (Kabellose Übertragung von Daten)
LV	Low Voltage
PI-Regler	Proportional-Integral-Regler

Zusammenfassung

In Nord Kamerun wurde im Rahmen einer innovativen Initiative ein Solar MESH-Netzwerk installiert, ein weiteres ist im Bau, 20 weitere sind in Planung.

Die solar MESH Technologie ist eine echte Neuheit, ein MESH-Netzwerk besteht aus mehreren kleineren Solaranlagen, die miteinander vernetzt sind, um eine größere Energiemenge bereitzustellen. Die Anlagen sind so konzipiert, dass sie überschüssige Energie speichern und bei Bedarf an Nutzer abgeben können. Dadurch wird der Bedarf an herkömmlichen Brennstoffen wie Kerosin und Diesel reduziert und Netzanschlusskosten reduzieren sich gegenüber anderen Netztechnologien durch die Dezentralisierung erheblich. Die Installation dieses Solar MESH-Netzwerks kann auch dazu beitragen, die wirtschaftliche Entwicklung der Region zu fördern. Zum Beispiel können Kleinunternehmer, die auf zuverlässige Energie angewiesen sind, von der Stromversorgung des MESH Netzwerks profitieren. Darüber hinaus können die Einsparungen durch die Verwendung von erneuerbaren Energien dazu beitragen, die Kosten für die Energieversorgung insgesamt zu senken.

Umgesetzt wurde das Vorhaben in Kamerun mit dem lokalen Unternehmen Solkamtech SARL. Dieses Unternehmen wird von Herrn Serge Bukam geleitet, der in Berlin an der HTW seinen Masterabschluss in Umwelttechnik und Erneuerbare Energien gemacht hat und seitdem sein Wissen in Kamerun in diversen Solarprojekten anwendet und in die Tat umsetzt. Solarworx ist eng mit Solkamtech verzahnt, so beschäftigt die Solarworx GmbH zwei kamerunische Entwicklungsingenieure, die aus dem Büro des Vertriebspartners Solkamtech heraus arbeiten. Es wurde ein entsprechendes Elektroniklabor eingerichtet.

Die Implementierung dieses Solar MESH-Netzwerks in Nord Kamerun ist ein Schritt vorwärts in der Nutzung erneuerbarer Energien und kann als Beispiel für zukünftige Projekte dieser Art dienen. Der reibungslose Betrieb und die erfolgreiche Integration des Netzwerks in die umliegenden Gemeinden wird dazu beitragen, den Übergang zu nachhaltigeren und umweltfreundlicheren Energiequellen zu beschleunigen.

Innerhalb von 24 Monaten wurde die technische Entwicklung des MESH soweit vorangetrieben, dass dieses nun kommerzialisiert werden kann. Dabei wurde vor allem an der Software und im Speziellen an der IoT Kommunikation zwischen den Geräten und der damit verbundenen Regelung gearbeitet. Für die Datenübertragung kommt LoRa zum Einsatz.

Ziel war es auch das Zahlungs- und Stromtarifsystem zu automatisieren.

In diesem ersten MESH-Netzwerk, das als Leuchtturmprojekt dient, wurden zunächst 30 Haushalte und Gewerbe in einem Verbund zusammengeschlossen. Dezentrale Solaranlagen mit einer Leistung von jeweils 2.4kWh und knapp 1kW PV stellen eine redundante und zuverlässige Energiequelle für das Netz dar. Der Großteil der Haushalte und SMEs ist allerdings als reiner Verbraucher im Netz involviert. Das Verhältnis zwischen Anschlüssen mit einspeisender Solaranlage und derer ohne Solaranlage ist ca. 1:5 bis 1:10, je nach Bedarf der jeweiligen Dorfstruktur.

Die Lösung sollte im Projektzeitraum ferner hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit und Kundenakzeptanz analysiert werden. Die Analyse erfolgte und erfolgt dabei über live Daten aus dem Feld, die in einem Grafana Frontend visualisiert und vom Server automatisiert ausgewertet werden.

Erreichte Ziele

- ➔ Anstellung von zwei Entwicklungsingenieuren in Kamerun, einer befindet sich derzeit für die Installation eines weiteren MESH grids in Sambia und teilt dort sein Wissen mit zwei weiteren Ingenieuren, die von der Solarworx GmbH als freie Mitarbeiter beschäftigt werden. Diese leiten ihrerseits ein Unternehmen, das sich mit der ländlichen Elektrifizierung beschäftigt
- ➔ Es wurde ein Pilot MESH grid nahe Maroua installiert, mit ca. 2km Leitungslänge und aktuell etwas 35 Anschlüssen, ein weiteres MESH grid mit ca. 60 Anschlüssen befindet sich in Installation, das aktuelle Netz wird außerdem zusätzlich erweitert
- ➔ Es wurden im Projektzeitraum außerdem weitere 4000 „stand alone“ Solar Home Systeme verkauft, die Strom für etwa 20.000 Menschen bereitstellen

Ausblick in die Zukunft

- ➔ Wir haben ein Mandat der kamerunischen Regierung für weitere 100 MESH grids landesweit, 20 MESH grids davon in den nördlichen Regionen, auf die wir uns hinsichtlich Planung und Finanzierung derzeit in erster Linie fokussieren
- ➔ Es sind Folgeprojekte mit zwei großen französischen Industriepartnern in Diskussion, vor allem hinsichtlich weiterer Finanzierung aber auch Produktpartnerschaften
- ➔ Es sind Folge-Förderanträge eingereicht worden, um die MESH grids weiter zu skalieren, beispielsweise bei dem Förderer EEP Africa
- ➔ In dem aktuellen kamerunischen MESH Projekt war die UNDP bereits in kleinerem Umfang beteiligt und hat eine interne Studie finanziert, die die Vorteile des MESH-Netzwerks gegenüber herkömmlichen AC Minigrids aufzeigen soll



Abbildung 1: Anfahrt zum MESH Grid bei Maroua mit UNDP und Vertretern der lokalen Behörden

Einleitung

Etwa 1 Milliarde Menschen lebt weltweit ohne Zugang zu Elektrizität, etwa jeder sechste Mensch auf der Erde. In vielen Regionen auf der Welt ist das öffentliche Stromnetz zu weit von den nicht elektrifizierten Gebieten entfernt, als das es sich für die Energieversorgungsunternehmen wirtschaftlich lohnt das Netz bis dorthin auszubauen.

In Afrika unterhalb der Sahara leben alleine 600 Mio Menschen ohne Stromversorgung, also über der Hälfte der weltweit betroffenen Menschen. Durch das starke Bevölkerungswachstum in Afrika nimmt diese Zahl derzeit sogar zu. Das Stromnetz auf dem Kontinent beschränkt sich primär auf urbanisierte Räume. Ländliche Elektrifizierungsraten stagnieren weiterhin.

In Kamerun hat durchschnittlich etwa die Hälfte der Bevölkerung keinen Zugang zu Elektrizität. Die größeren Städte im Süden des Landes sind fast vollständig an das öffentliche Stromnetz angeschlossen, wobei regelmäßige Ausfälle üblich sind und zu erheblichen wirtschaftlichen Einbußen führen. In ländlichen Gegenden Kameruns verfügen lediglich 17% der Bevölkerung über eine Stromversorgung, weswegen üblicherweise Kerosin und Diesel als Energieträger verwendet werden. Im hohen Norden Kameruns (Bundesstaat Extrême-Nord), wo wir als Solarworx über unserern Vertriebspartner Solkamtech überwiegend aktiv sind, nehmen wir die Elektrifizierungsrate sogar als noch geringer wahr, als es mit 17% im landesweiten Durchschnitt angegeben wird.

Hohe Energieausgaben für Haushalte, ein niedriger Lebensstandard sowie sehr beschränkte Beschäftigungsmöglichkeiten sind die Folge. Erst in den letzten 5 Jahren haben sich in Kamerun, wie auch in vielen anderen Ländern Westafrikas, dezentrale regenerative Energiesysteme etabliert. Darunter zählen vor allem Solar Home Systeme (SHS) und solare Mikrostromnetze.

Folgende Kernziele wurden zu Projektstart gesetzt:

- Aufbau eines Teams von Entwicklungsingenieuren und Projektmanagern, mit Hauptaktivitäten in Kamerun und Berlin. Parallel wurden ähnliche Projekte in Sambia durchgeführt, die allerdings nicht direkt mit der Förderung der DBU im Zusammenhang stehen, aber davon profitiert haben
- Entwicklung bzw. Weiterentwicklung der Solarworx MESH Technologie bis hin zu einem kommerzialisierbaren Produkt
- Kostenreduktion von Mikrostromnetzen im Vergleich zu AC Minigrids um mindestens 50% bei ähnlichem Mehrwert für Mensch und Natur
- Substitution von fossilen Energieträgern durch den Einsatz von Solarenergie und intelligenten Speichern und Regelungskonzepten

Übliche AC Mikrostromnetze basieren auf einer zentralen, größeren PV Solaranlage von üblicherweise 50-1000kW mit Container-Speicherlösung von der ausgehend dann ein Wechselstrom-Inselnetz das jeweilige Dorf versorgt. Der Aufbau solcher Netze ist mit Anschlusskosten von 742 USD (Tier 1) bis 4.375 USD (Tier 4) sehr kostspielig und örtlich begrenzt, da eine Mindestanzahl an Haushalten in unmittelbarer Umgebung vorhanden sein muss.

Oft scheitern die Projekte an der kostenintensiven Technologie, einer fehlenden Flexibilität und regulatorischen Hürden. MESH Netzwerke hingegen fallen in vielen Ländern, wie in Kamerun, in einen quasi gänzlich unregulierten Bereich oder sie sind lediglich in den Regularien beschrieben, wie etwa in den Regulatoren des Energy Regulation Board (ERB) Sambia der Fall.

Dezentrale Solar Home Systeme (SHS) unterliegen hingegen in den allermeisten Fällen gar keinen regulatorischen Einschränkungen und sind im Vergleich zu AC Minigrids verhältnismäßig günstig in der Anschaffung.

Sie können von stadtnahen, dicht besiedelten bis hin zu sehr ländlichen "last mile"-Gebieten verkauft werden und sind über ein Mikrofinanzierungsmodell (PayGo) auch für Haushalte mit geringem Einkommen erschwinglich. SHS haben jedoch den Nachteil, dass ihre Leistungsfähigkeit sehr begrenzt ist.

Vertraut man Quellen wie etwa dem Industrieverband der GOGLA, so lässt sich nach Interpretation der Umsatzberichte des Sektors der vergangenen Jahre feststellen, dass 90% der ca. 10 Mio. jährlich verkauften off-grid Solarprodukte lediglich zur Beleuchtung und dem Laden von Mobiltelefonen verwendet werden. Wechselrichter, Kühlschränke, Fernseher oder Wasserpumpen können meist nicht betrieben werden. In ländlichen Gegenden kommen daher häufig Dieselgeneratoren zum Einsatz.

Es soll an dieser Stelle allerdings zusammenfassend klargestellt werden, dass alle drei Technologie, die der Solar Home Systeme, der MESH grids und der AC Minigrids ihre Berechtigung haben und bei genauer Betrachtung nicht in unmittelbarer Konkurrenz zueinander stehen. Unserer Erfahrung nach lässt sich subjektiv grob folgende Unterteilung an off-grid Lösungen in Abhängigkeit der Bevölkerungsdichte definieren, auch wenn diese Unterteilung mangels existierender MESH grid Technologien und fehlender Bekanntheit so noch nicht anzutreffen ist:

< 25 Haushalte/SMEs	1-20W Pico Solar Home Systeme (Lampen)
	20-200W Large Solar Home System (Systeme die auch Verbraucher wie Kühlschränke oder Fernseher betreiben)
< 100 Haushalte/SMEs	250-600W DC Anschluss aus einem MESH- Netzwerk. Ca. 230W Photovoltaik je angeschlossenem Haushalt. E.g. Dorf mit 30 Haushalten ca. 7kWp
< 5000 Haushalte/SMEs	AC Minigrids in einer Leistung von 50- 1000kW PV
> 5000 Haushalte/SME und Industriebetriebe	Anschluss an das öffentliche Netz

Hauptteil

Vorbereitende Arbeitsschritte

Vorbereitung und Installation der Pilotanlage:

Anstellung eines deutschen Freelancers für die Konzeptionierung für die App Entwicklung, die für das Abrechnungssystem in unseren Mikrostromnetzen essentiell ist. Hierfür wurde das Grundgerüst der APP in sogenannten Wire Frames erstellt, woran sich dann unsere Entwickler in Kamerun orientieren konnten.

Anstellung und Schulung von zwei Entwicklungsingenieuren in Kamerun (Pavele Ndemeze und Beranger Nynga) im hohen Norden von Kamerun. Unser Entwicklungszentrum befindet sich im Stadtzentrum von Maroua in den Räumlichkeiten unseres Distributors Solkamtech SARL mit einem extra dafür ausgestatteten Elektroniklabor, Vertreter der GIZ haben den Standort im Projektzeitraum besucht.

Für die Validierung der Entwicklung des MESH grids wurde zu Demozwecken ein Dorf nahe unseres Entwicklungsstandorts in Maroua elektrifiziert. Das Dorf Zalla befindet sich etwa 20km von Maroua und war bis dato nicht elektrifiziert. Der geringe Abstand zu unserem Entwicklungsstandort wurde bewusst so gewählt, damit Wartungsarbeiten zeitnah und kosteneffizient durchgeführt werden konnten.



Abbildung 2: Standort des MESH Netzwerks in Nord-Kamerun

Die Übertragungsleitung zu Testzwecken hat eine Länge von ca. 2km mit einem Mastenabstand von etwa 30m. Von den Masten gehen die einzelnen sogenannten Tap-lines in die jeweiligen Haushalte und Kleinbetriebe. Die Folgenden Bilder des MESH Netzwerks in Zalla, nahe Maroua veranschaulichen den Aufbau und die Position des Netzes.

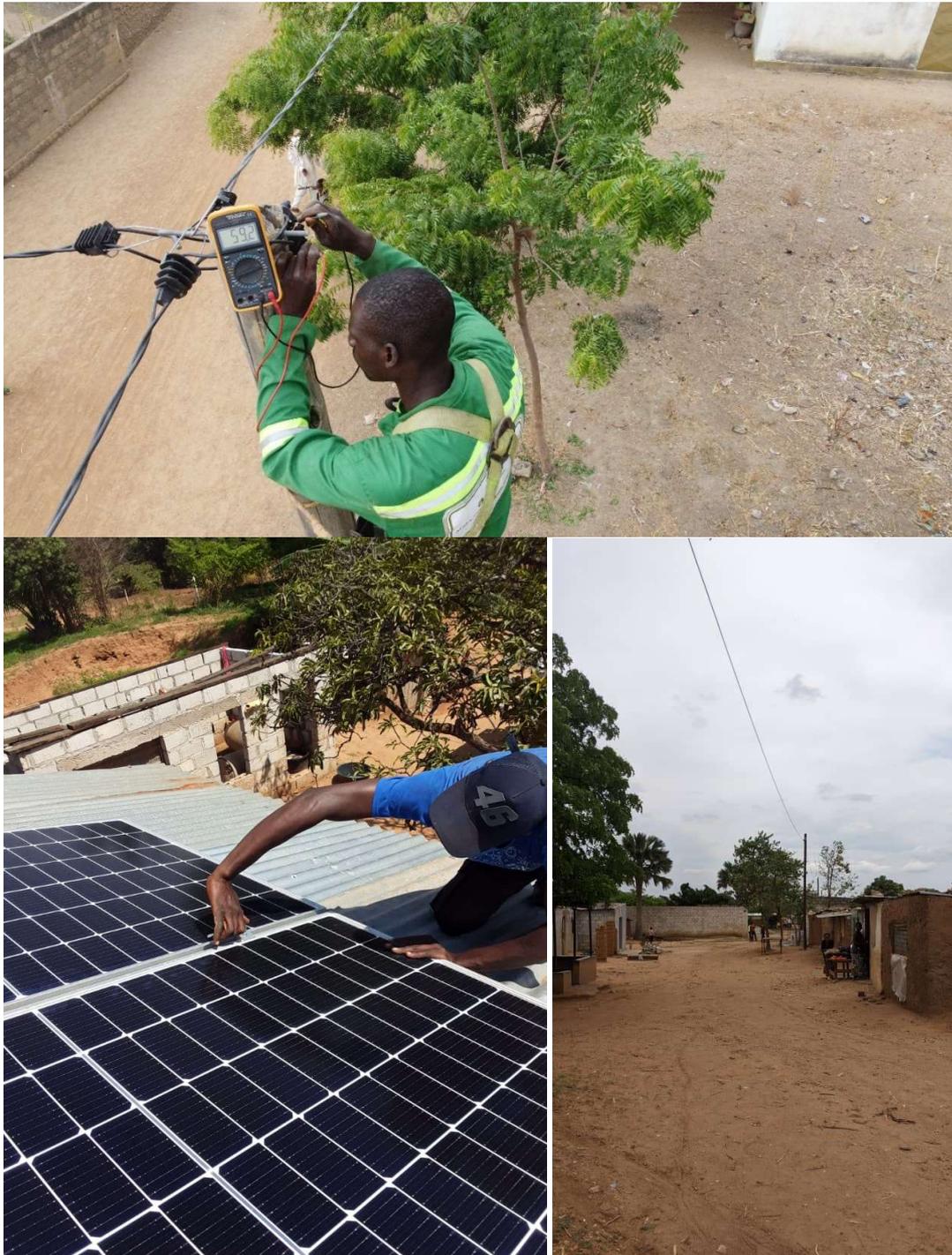


Abbildung 3: Installation des MESH Netzwerks und der Erzeugersysteme

Bei der Installation der Masten hat es sich als gute Methode herausgestellt sehr schmale ca. 1.8m tiefe Löcher auszuheben und die Masten dann direkt vom Geländewagen bzw. LWK in die Löcher fallenzulassen und diesen dann händisch mit vier Arbeiten weiter hochzustemmen. Eine Einbetonierung war aufgrund der hohen Lehmhaltigkeit der Böden nicht nötig.

Wichtig war außerdem imprägnierte Masten zu verwenden, sogenannte CCA-treated poles, um Termitenfraß entgegenzuwirken.



Abbildung 4: Montage der Aluminiumkabel an den Masten

Produktion der MESH Systeme

Nach der Entwicklung der Hardware und der Software unserer MESH Systeme mussten diese zunächst in ausreichend großer Zahl produziert werden. Um auch für weitere Pilotprojekte und Ausfälle genug Material zu haben, haben wir in dieser Kleinserie bereits 200 MESH Geräte produziert.

Der Produktionsprozess kann dabei in der folgenden Reihenfolge beschrieben werden:

- 1) Rohplattenproduktion als Auftragsarbeit anhand unserer CAD-Daten
- 2) Elektrische Kontrolle der Leiterbahnen durch automatisierten Tester
- 3) BOM-Einkauf (Einkauf aller Bauteile der Stückliste)
- 4) SMT-Produktion (maschinelles Bestücken und Verlöten der Bauteile auf den Leiterplatten)
- 5) THT-Produktion (händische Bestückung der bedrahteten Bauteile in unserer Auftragsfabrik)
- 6) Optische Kontrolle (zur ersten Identifikation von Lötfehlern)
- 7) Elektrische Kontrolle durch Überprüfung der Stromaufnahme der Platinen
- 8) Programmierung (sogenanntes Flashen der Firmware)
- 9) Test der grundlegenden Funktionalität der Platinen durch einen ISCT (In-System-Circuit-Tester, einer Art Nadeladapter der sich an bestimmten Kontaktpunkten mit der Platine verbindet)
- 10) Kalibrierung von Strömen und Spannungen für präzisere Regelung und Messwerterfassung ebenfalls mit Hilfe des ISCT

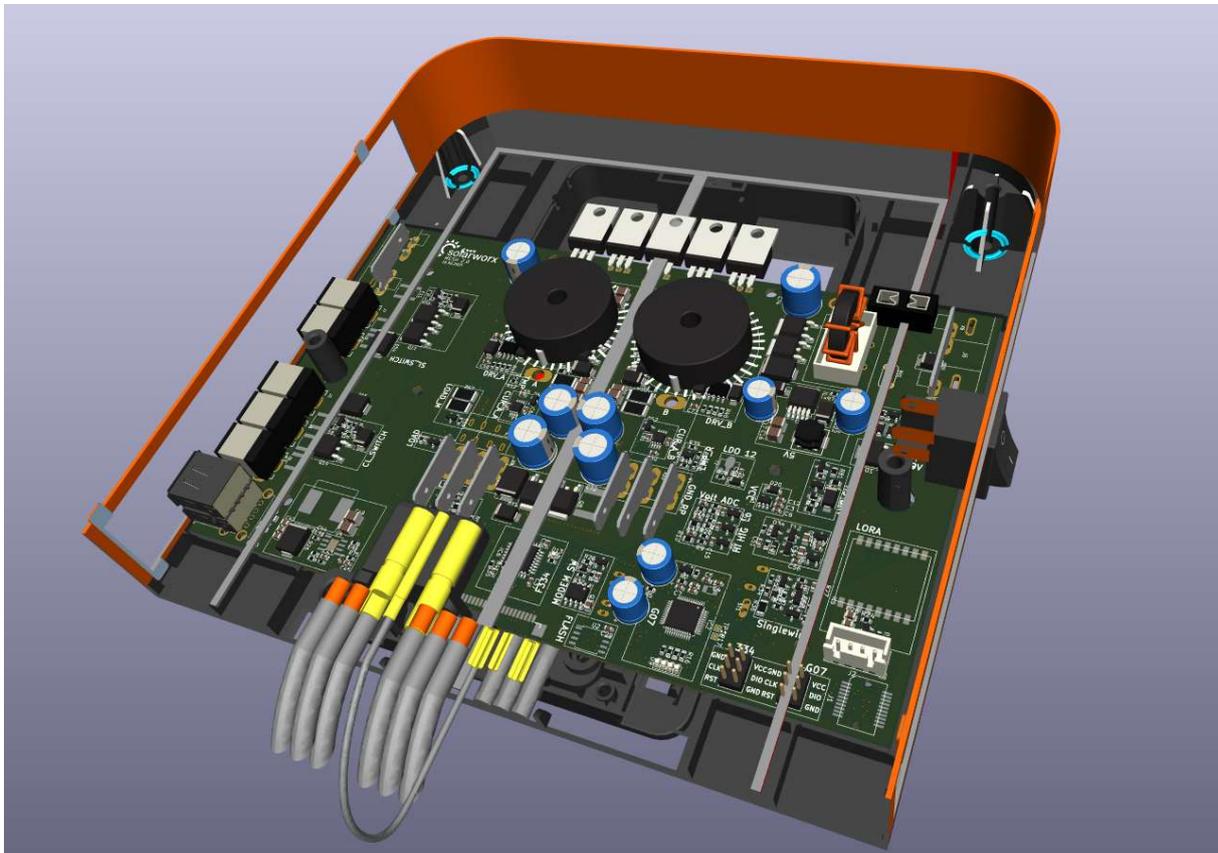


Abbildung 5: 3D Darstellung der Platine entwickelt durch die Solarwrx GmbH

Methoden der Technologieentwicklung

Für die Entwicklung der Software und Hardware verwenden wir im Team GIT, ein bekanntes Entwicklertool für die Verwaltung und Dokumentation von Entwicklungsfortschritten einer technischen Entwicklung. Es finden und fanden darüber hinaus mindestens ein Mal die Woche Teammeetings statt, um die Fortschritte der Entwicklung zu besprechen und das weitere Vorgehen zu planen.

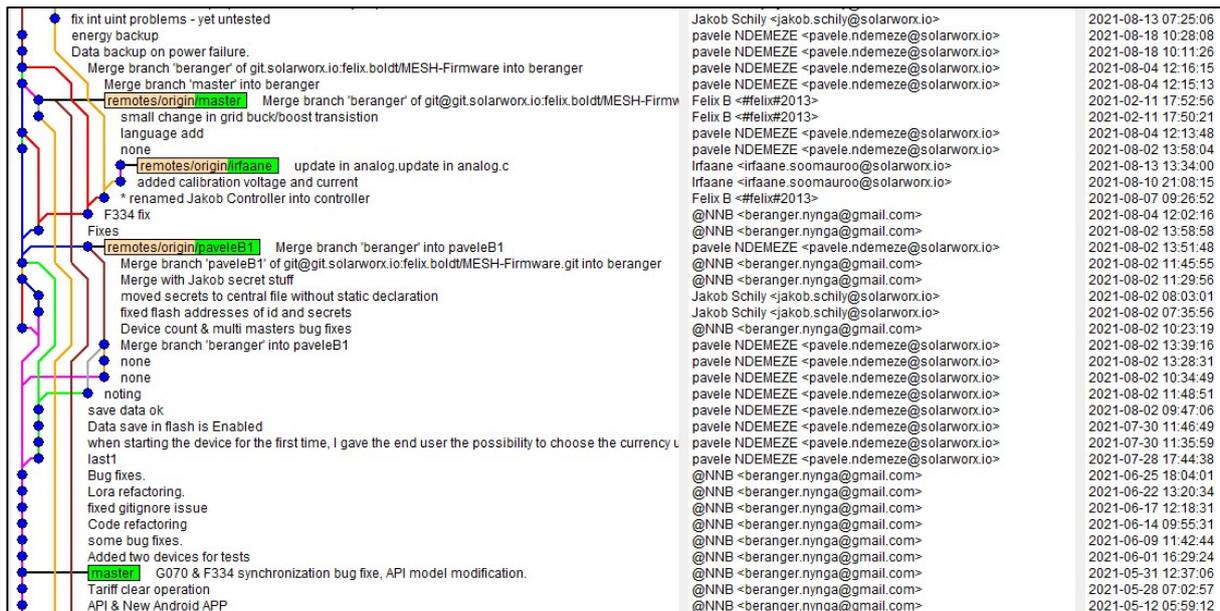


Abbildung 6: GIT Versionsverwaltungstool für Entwickler

Für die ingenieurtechnische Entwicklung kamen verschiedene andere Computertools zum Einsatz, wie die Entwicklungsumgebung STM32 CUBE IDE des Chip-Herstellers ST sowie das Open Source Schaltplan- und Platinentwicklungsprogramm KiCAD und für die optische Darstellung der Daten im Frontend das teilweise kostenlose Tool Grafana.

Um die Entwicklung zu erleichtern, haben wir das MESH grid mit neuester IoT Technik ausgestattet, die auch für den späteren kommerziellen Betrieb wichtig ist. Für die Übertragung der Daten werden dafür sogenannte LoRa Funkstrecken mit ISM Modems innerhalb der Geräte aufgebaut. Daten werden dann über ein Multi-Gateway Konzept über dezentral verteilte GSM Modems aggregiert und an unseren Server, das sogenannte Backend weitergeleitet. Diese Kommunikation ist bi-direktional.

Zeitlich benötigten wir seit Mitte 2021 ca. ein Jahr für die Vorbereitung und Finalisierung der Technik für den ersten Feldtest. Seit ca. einem Jahr betreiben wir nun schon das erste Demonetz in Nordkamerun und haben seit dem zahllose Updates der Hardware und Software durchgeführt, um das Regelungs- und Abrechnungssystem zu optimieren. Die Software Updaten wir dabei aus der Ferne über das integrierte IoT-System der Anlage, OTA (over-the-air).

Detailliertere Arbeitsschritte der technischen Entwicklung

Softwareentwicklung:

Android App

Erstellung eine Android App für Endkunden

- Anbindung an die Solarworx API zur Kommunikation mit dem Backend (Server)
- Funktionen der App: Anzeige Verfügbarer kWh, Kauf von Energie, Verkauf von Energie, Angabe des momentanen Verbrauchs
- Verschlüsselte Kommunikation und Übertragung von kWh in Form von Tokens. Jeder Token entspricht einer Menge von aktuell 0,25kWh, dadurch lassen sich die Tarife dynamisch definieren.

Erstellung einer Android App für Betreiber des Mikronetzes

- Anbindung an die Solarworx API zur Kommunikation mit dem Backend
- Funktion der App: Anmeldung von Anlagen im Dorfnetz und Verknüpfung der Anlage mit den Kundendaten. Parametrisierung des Netzes wie Übertragungsspannung und Leistung

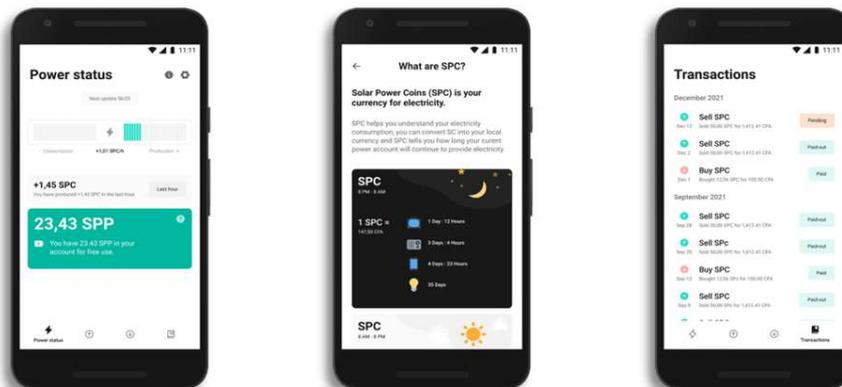


Abbildung 7: Beispielbilder ausgewählter APP wire frames

Entwicklung Software Frontend (Grafana)

Das Frontend dient der Visualisierung der MESH Netzwerke, kann von jedem Browser über das Internet erreicht werden und gibt Auskunft über den Zustand des jeweiligen Netzes im Allgemeinen sowie über detaillierte Informationen der einzelnen Teilnehmer. Beispielsweise sind Verbrauchswerte, Einspeisewerte, Zählerstände und auch mögliche Fehler direkt ersichtlich.

Die Entwicklung erfolgte mit dem Tool Grafana, die die Visualisierung der Serverdatenbank erleichtert. Das Tool ermöglicht es in relativ kurzer Zeit Daten in Diagramme und Tabellen zu verwandeln, die sich dann besonders gut interpretieren lassen.

So gibt es beispielsweise ca. 10 mögliche Fehlercodes, die Anlagen dem Server mitteilen können. Diese Fehler geben den betreuenden Technikern Auskunft darüber, an welcher Stelle des Netzes Fehler wie etwa Kurzschlüsse vorliegen. Diese können dann zielgerichtet isoliert werden.

ID	System	Avail. Units	Mode	faulty	mesh_gidno	mesh_is_ma	mesh_tariff	Counter	Power Out/in	Device Lowside Cure	Device Lowside Voltag	Device Highside Voltar	Grid Voltage	F334 Version	G07C	time
13871	TestBoard	2	CONSUMPTION	No	true	true	284.0	1789.0 Wh	2.6 W	0.2 A	13.3 V	61.2 V	61.7 V	v36	v36	2023-05-03 14:19:41.000
13853	TestBoard	2	CONSUMPTION	No	true	false	294.0	516.0 Wh	3.0 W	0.2 A	13.3 V	61.1 V	61.6 V	v36	v36	2023-05-03 14:19:51.000
13844	TestBoard	59	GENERATION	No	true	true	5904.0	-12261.0 Wh	0.4 W	0.0 A	13.2 V	60.7 V	60.7 V	v36	v36	2023-05-03 14:21:01.000
13771	TestBoard	0	CONSUMPTION	No	true	true	78.0	1054.0 Wh	4.7 W	0.4 A	13.3 V	61.1 V	61.6 V	v36	v36	2023-05-03 14:19:35.000
13724	TestBoard	0	CONSUMPTION	No	true	true	47.0	3632.0 Wh	15.6 W	1.2 A	13.3 V	61.1 V	61.0 V	v36	v36	2023-05-03 14:19:48.000
11659	TestBoard11659	2	CONSUMPTION	No	true	false	269.0	6821.0 Wh	6.0 W	0.5 A	13.3 V	61.4 V	61.4 V	v30	v31	2023-05-03 14:19:42.000
11658	TestBoard11658	7	GENERATION	No	true	true	782.0	-15974.0 Wh	-72.9 W	-6.0 A	12.1 V	62.1 V	62.2 V	v34	v31	2023-05-03 14:20:49.000
11657	TestBoard11657	0	CONSUMPTION	No	true	true	33.0	2135.0 Wh	0 W	0 A	11.5 V	61.7 V	61.3 V	v30	v31	2023-05-03 14:19:50.000
11653	TestBoard11653	102	GENERATION	No	true	true	10223.0	-24828.0 Wh	-33.5 W	-2.6 A	13.1 V	61.3 V	61.4 V	v30	v31	2023-05-03 14:22:10.000
11652	TestBoard11652	0	CONSUMPTION	No	false	false	0	4839.0 Wh	0.7 W	0.0 A	61.7 V	61.7 V	61.7 V	v0	v0	2023-05-03 14:23:48.000
11649	TestBoard11649	2	CONSUMPTION	No	true	true	266.0	1819.0 Wh	2.4 W	0.2 A	12.7 V	61.4 V	61.4 V	v30	v31	2023-05-03 14:19:50.000
11647	TestBoard11647	0	CONSUMPTION	No	false	false	79.0	2299.0 Wh	0.3 W	0.1 A	6.3 V	61.2 V	61.9 V	v34	v31	2023-05-03 14:19:48.000
11646	TestBoard11646	6	CONSUMPTION	No	true	true	643.0	1380.0 Wh	3.0 W	0.2 A	13.3 V	60.9 V	61.5 V	v30	v31	2023-05-03 14:19:35.000
11645	TestBoard11645	0	CONSUMPTION	No	true	true	21.0	10665.0 Wh	3.7 W	0.3 A	13.3 V	61.3 V	61.5 V	v30	v31	2023-05-03 14:19:50.000
11644	TestBoard11644	2	CONSUMPTION	No	true	true	278.0	3047.0 Wh	0.2 W	0.1 A	2.7 V	60.8 V	61.8 V	v34	v31	2023-05-03 14:19:44.000
11642	TestBoard11642	1	CONSUMPTION	No	false	true	194.0	3009.0 Wh	0.4 W	0.3 A	1.5 V	61.3 V	61.3 V	v30	v31	2023-05-03 14:19:49.000
11640	TestBoard11640	1	CONSUMPTION	No	true	true	118.0	207.0 Wh	1.8 W	0.1 A	13.3 V	61.3 V	61.5 V	v32	v31	2023-05-03 14:19:55.000
11639	TestBoard11639	4	CONSUMPTION	No	true	false	459.0	6587.0 Wh	3.2 W	0.2 A	13.3 V	61.5 V	61.8 V	v30	v31	2023-05-03 14:29:27.000

Abbildung 8: Beispielhafte Darstellung ausgewählter Netzteilnehmer visualisiert mit Grafana

Entwicklung Software Firmware

Die Firmware, also die Software, die auf den Mikrochips der Geräte läuft, besteht aus hunderten von Parametern und Unterfunktionen, diese im einzelnen aufzulisten würde den Rahmen sprengen. Es soll daher in abstrahierter Form auf die bei der Entwicklung nötigen Funktionen und Prinzipien eingegangen werden.

Viele dieser Funktionen sind dabei hoch komplex, da Stromnetze eine umfangreiche Regelung benötigen, die von einer Vielzahl äußerer Einflüsse und interner Parameter abhängt. Berücksichtigt werden müssen z.B. die Batteriefüllstände oder die Spannungslage des Netzes sowie die maximal zulässige Leistungsabgabe an jedem Punkt des Netzes. Die Regelung passt das Netz also ununterbrochen den aktuellen Gegebenheiten an.

Ein Wichtiger Arbeitsschritt war daher die Implementierten einer Droop Control Regelung, die eine indirekte Kommunikation aller Netzteilnehmer über die Spannungslage des Netzes ermöglicht. Das System schwingt sich mit dieser Regelung auf einen Arbeitspunkt ein, der sich über die Zeit verschiebt, was sich in folgender Grafik gut visualisieren lässt.

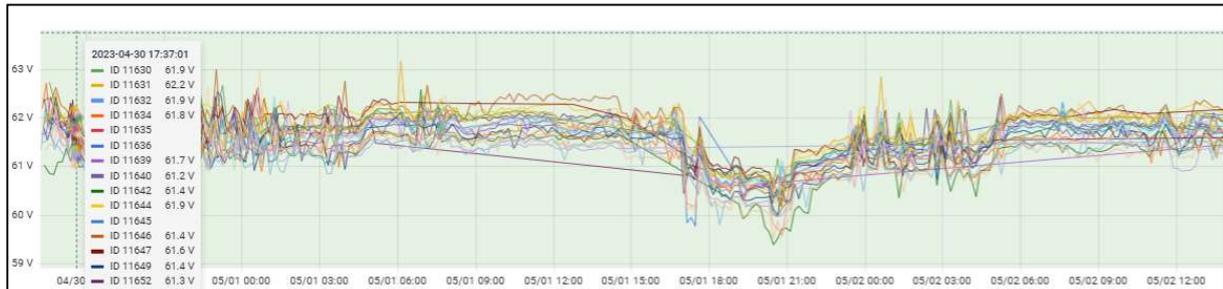


Abbildung 9: Droop Control Regelung der Spannung und der Ströme visualisiert mit Grafana

Auf der IoT-Seite waren außerdem auch umfangreiche Entwicklungspakete möglich. So muss sich das Netz über ein Multi-GSM-Gateway Konzept in Kombination mit LoRa Industriefunkmodulen mit dem Server synchronisieren, um Zahlungsströme auszugleichen, Parameterupdates zu teilen, mögliche Fehler zu melden und Softwareupdates zu übertragen.

Entwicklung Hardware

Die Hardwareentwicklung wird wie die Softwareentwicklung in viele kleine Arbeitspakete unterteilt. Auf einer Platine sind zwar alle Schaltungen über Versorgungsleitungen galvanisch miteinander verbunden, sie können aber in ihrer Funktion oft als isoliert betrachtet werden. So kümmern sich manche Schaltungsteile um eine stabile Stromversorgung für die Prozessoren und wieder andere um die leistungselektronische Regelung der Schaltregler, die den Strom vom und ins Netz übertragen.

Grundsätzlich wird zunächst ein Schaltplan entwickelt, dieser beinhaltet in abstrahierter Form alle notwendigen Bauteile mit ihren entsprechenden Verbindungen zueinander. Die konkreten Werte und Chiptypen sind dabei in der Konzeptphase zunächst noch nicht festgelegt. Wenn der notwendige grobe Schaltungsumfang feststeht, werden die kritischen Bauteile in einer umfangreichen Recherche, die in einem Chipvergleich besteht, bestmöglich ausgewählt. Dabei stehen in erster Linie immer das Preis-Leistungsverhältnis, die Verfügbarkeit und natürlich die grundsätzliche elektronische Eignung der Bauteile im Vordergrund.

Ist der Schaltplan dann soweit finalisiert, wird aus dem Schaltplan ein Platinenlayout erstellt, hierbei werden alle Bauteile mithilfe eines CAD Programms, hier KiCAD, auf der Rohplatine virtuell platziert. Hierbei sind die Designkriterien wie Platzoptimierung, Formfaktor, elektromagnetische Verträglichkeit, Effizienz und Übersichtlichkeit von besonderer Bedeutung.

Steht dann auch das Platinenlayout fest, wird nach einem abschließenden Design-Rule-Check, der überprüft, ob alle Abstands- und Layoutregeln eingehalten wurden, der erste Prototyp produziert. Dieser Prozess ist heutzutage zum Großteil eine automatisierte Auftragsleistung, bei der Roboter den Prototypen zusammenbauen, nur noch wenige Komponenten werden in dieser Phase händisch nachbestückt.

Anschließend erfolgt eine Labortestphase. Es folgen daraufhin üblicherweise diverse Iterationen dieses Prozesses, bis die Platinen stabil funktionieren.

Umweltrelevanz des Vorhabens

MESH grids entlasten die Umwelt in vielerlei Hinsicht.

In erster Linie substituieren sie durch die Nutzung solarer Energie den Einsatz fossiler Energiequellen, die im ländlichen Raum Afrikas sonst zur Beleuchtung oder mit Hilfe von Dieselgeneratoren für die Stromerzeugung zum Einsatz kommen. Jeder Haushalt in einem MESH grid nutzt dabei im Monat durchschnittlich ca. 10kWh elektrischer Energie. Leistung steht praktisch ununterbrochen zur Verfügung.

Um das permanente Leistungsangebot rund um die Uhr anzubieten, müsste ein Dieselgenerator Tag und Nacht laufen, auch zu Zeiten, wo gar kein Strom oder nur eine geringe Menge verwendet wird.

Dadurch, dass MESH grids innerhalb des Dorfes installiert werden, mit der Stromerzeugung direkt auf den Dächern der Anwohner, wird kein weiterer Platz benötigt, der sonst mit landwirtschaftlichen Nutzflächen oder der Natur in Konkurrenz stehen würde.

Das MESH grid wird in enger Zusammenarbeit der Dorfgemeinschaft errichtet, dadurch, dass die Bewohner durch die Installation der Anlagen auf deren Dächern sozusagen Teil der Solarproduktion werden, bildet sich schnell ein Verständnis für die Vorteile von Solarenergie aber auch der Limitierung, sollte es mal tagelang bewölkt sein. Wie sich aber gezeigt hat, liegt die Zuverlässigkeit schon jetzt bei über 95%, und das schon nach so kurzer Erprobungsphase.

Es gibt verschiedene Methoden die CO₂ Einsparung unserer Anlagen zu berechnen, die zu drastisch unterschiedlichen Einsparpotentialen führen. Als minimalistische Annahme kann eine Substitution von Kerosinlampen angenommen werden. Hierbei wird davon ausgegangen, dass ein typischer afrikanischer Haushalt im Jahr 80 Liter Kerosin für die Beleuchtung aufwendet. 80 Liter Kerosin enthalten ca. 800 kWh thermischer Energie, bei der Verbrennung werden ca. 200kg CO₂ freigesetzt, das entspricht einem Jahresaufkommen je Haushalt.

Am oberen Ende einer möglichen Kalkulation der CO₂ Ersparnis steht die Substitution eines Dieselgenerators in Kombination mit einer Substitution von Kerosinlampen. Hierbei ist dann noch zu definieren, in welchem Umfang der Dieselgenerator gelaufen wäre, hätte die Solaranlage diesen nicht substituiert. Eine realistische Schätzung liegt hier subjektiv bei etwa 8 Stunden täglich. Typische Dieselgeneratoren liegen hier bei einer Leistung von 1kW und verbrauchen in einer Größenordnung von 0.6l/h. Entsprechend läge der tägliche Verbrauch bei 4,8l pro Tag oder 1,752l p.a. Analog zu der Rechnung der Kerosinlampen würden hierbei 4,4t CO₂ p.a. je Haushalt ausgestoßen, die nun eingespart werden.

Die Wahrheit liegt zwischen diesen beiden Extremwerten.

Die von der Weltbank geförderte GOGLA Vereinigung, die den off-grid Markt auf institutioneller Ebene vertritt, stellt auf ihrer Website ein Berechnungstool zur Verfügung.

Mit den typischen Eingabeparametern unserer Anlage errechnet das Tool je Anlage eine Ersparnis von 1t CO₂, in diesem Fall auf zwei Jahre gerechnet.

Unsere beiden aktuellen MESH grids in Nordkamerun und eines in Zambia mit aktuell durchschnittlich 60 Haushalten werden somit pro Jahr mindestens 60 Tonnen CO₂ eingespart. Im Projektzeitraum wurden von der Solarworx GmbH außerdem weitere 4000 Solaranlagen über Distributoren an Endkunden verkauft, die jährlich etwa 1750t einsparen. Die Gesamtersparnis im Projektzeitraum durch unsere Solaranlagen und MESH grids beläuft sich daher pro Jahr auf 1810t CO₂.



Abbildung 10: GOGLA Impact Berechnungstool

Wir haben unsere MESH grids und unsere Solar Home Systeme aus Haushaltssicht ähnlich dimensioniert, insofern ist die Einsparung je Haushalt vergleichbar.

Einordnung in den Stand der Technik

MESH Grids weichen im positiven Sinne erheblich vom Stand der Technik sogenannter Mini-grids ab. Reguläre Minigrids sind aus Sicht der Kommune, in denen sie installiert werden, im Normalfall zentralisiert, d.h. es wird ein Container mit Batterien aufgestellt und in der Nähe des Containers wird ein PV-Freiflächenfeld installiert. Aufgrund des hohen Flächenbedarfs findet die Installation außerhalb statt und es müssen teure Stromleitungen bis in die Kommune bzw. das Dorf geführt werden. Das lohnt sich nur bei Dörfern mit einigen hundert Häusern.

Das MESH Grid hat diese Größenbeschränkung nicht, da die Anlagen an mehreren Einspeisepunkten dezentral im Dorf verteilt werden. Bei zunehmendem Bedarf wird die Anzahl der einspeisenden Anlagen dann beliebig erweitert.

Ein wichtiger weiterer Pluspunkt der MESH grids ist das selbsterhaltende Verhalten der Anlagen im Verbundnetz. Beispielsweise wird nach einem Stromausfall durch unzureichende solare Stromerträge das Netz automatisch wieder hochgefahren, wenn wieder ausreichend Leistung zur Verfügung steht. Durch eine sogenannte Droop Control Regelung schalten dann jedoch nicht alle Verbraucher gleichzeitig wieder zu, was zu einer Endlosschleife von Neustart nach Überlastung führen könnte, sondern es erfolgt eine graduelle, der verfügbaren Leistung angepasste Zuschaltung der Verbraucher.

Durch die Übertragung des Stroms durch ein Gleichstromnetz mit einer maximalen Spannung von 80V und einer üblichen Spannung von etwa 62V befindet sich das MESH im sogenannten LV-Segment (Low-Voltage). Bei dieser verhältnismäßig geringen Spannungshöhe besteht selbst beim Berühren der Leitungen keine Gefahr. Das hat den Vorteil, dass selbst nicht unterwiesene aber dennoch technisch versierte Handwerker das Netz installieren und warten können.

Diskussion der Ergebnisse

Technische Ergebnisse

Das Kernziel war es das Produkt MESH grid auf einen technischen Stand zu bringen, der es erlaubt, MESH grids mit externen Partnern aufzubauen, die die Netze selbstständig mit Hilfe der während des Projekts entwickelten Hardware und Software betreiben. Vor diesem Hintergrund wurden diverse Meilensteine erreicht.

Es wurde eine Android APP entwickelt, die die Anmeldung von MESH Kunden in einem Verbundnetz bequem vom Smartphone ermöglicht. Hierbei werden die Kundendaten wie Telefonnummer und Name des Kunden mit einer MESH Identifikationsnummer erfasst und

auf dem Server abgelegt. Zahlungsströme lassen sich dadurch eindeutig einem Kunden zuweisen und werden dann in sogenannte Tokens umgerechnet, die gerätespezifisch eine bestimmte Energie enthalten. Einmal verwendet, können diese Tokens nicht erneut eingegeben werden und werden somit ungültig. Die MESH App ist derzeit vor allem auf der Betreiberseite im Einsatz, zukünftig soll die App auch für die Endkunden bereitgestellt werden, diese können dann ihre Transaktionshistorie und ihr Verbrauchsprofil einsehen.

Es wurde eine umfangreiche Firmware für die verbauten Mikroprozessoren in den Endgeräten entwickelt. Die einzelnen Features in Gänze aufzuzählen, würde den Rahmen sprengen, daher sollen hier nur in vereinfachter Form darauf eingegangen werden. Die Endgeräte besitzen zwei Mikroprozessoren des europäischen Chipherstellers ST. Der Chip vom Typ STM32G07 ist dabei für die übergeordneten Aufgaben wie die Kommunikation über das 433MHz LoRa Netzwerk sowie die Kommunikation über das GSM Netz mit dem Server verantwortlich.

Er steuert ferner das Display und das Keyboard an. Der andere Prozessor, ebenfalls ein ST Chip, ist hingegen für die Steuerung der Leistungselektronik verantwortlich und setzt die Stromnetzparameter des Servers um. So hat er im Speziellen die Aufgabe die Netzspannung zu stabilisieren und das Endgerät bi-direktional in Betrieb zu halten, indem es entweder Strom in das Netz einspeist oder diesen als Verbraucher entnimmt. Diese Aufgabe erfüllt der Chip mit zwei phasenversetzten DCDC Wandlern mit hoch-effizientem Wirkungsgrad, um die Energie im Netz und auf der Verbrauchs- bzw. Einspeiseseite zu wandeln. Diese Firmware ist sehr komplex mit ca. 100 Parametern, die die Regler einstellen. Die Regler sind unterteilt in eine übergeordnete Regelung die sozusagen auf Makroebenen den stabilen Betrieb des Netztes einhalten, wie etwa die Netzspannung, Strombegrenzungen, Kurzschlusserkennung, Überlasterkennung, Überspannungserkennung, Netzneustart sowie die droop control Regelung, die anhand der Netzspannung die Leistungsparameter der Anlagen anpasst, was zur Netzstabilität besonders wichtig ist. In hoher Frequenz läuft außerdem in einer Endlosschleife sozusagen das Herz der Regelung, ein kaskadierter PI-Regler der letztendlich die übergeordneten Befehle der Makroregelung umsetzt und das Gerät in Mikrosekunden nachregelt.

Die Elektronik und Leistungselektronik wurde im Prozess der Softwareentwicklung und auch den Feldtests weiter verfeinert und ausfallsicherer gestaltet. Die Verknappung von elektronischen Bauteilen im Zuge der Corona Krise hatte ebenfalls einen erheblichen Einfluss auf das Design, da kritische Chips vorübergehend nicht mehr geliefert werden konnten, was die Produktion und die Entwicklung erschwerte. In den letzten Monaten des Projektes wurde das äußerliche Design der MESH Geräte außerdem stark optimiert. Während die Geräte bis dato noch in das gleiche Gehäuse wie die sogenannten Solar Home Systeme integriert wurden, wurde die Elektronik nun auf das neue Design überführt. Durch die Wandmontage entspricht das Gerät nun eher dem Charakter eines modernen „smarten“ Stromzählers, auch wenn es in Wahrheit deutlich mehr beinhaltet als einen reinen Stromzähler.



Abbildung 11: MESH Box

Wirtschaftliche Ergebnisse

Kommerziell haben die MESH grids bereits erste Umsätze generiert, auch wenn hier noch nicht von einer Skalierung gesprochen werden kann. Dabei hat sich gezeigt, dass die monatlichen Einnahmen pro Haushalt ca. 5USD betragen, bei einem typischen Verbrauch von ca. 5-10kWh je Haushalt und Monat ergeben sich dabei Stromkosten von 0,5-1€kWh. Das mag hoch erscheinen, ist aber für Minigrids nicht unüblich und nachvollziehbar, wird berücksichtigt, dass die Verbraucher in diesen Netzen, die als zusätzliche Einnahmequelle mitverkauft werden, besonders effizient sind.

Es lässt sich zugespitzt sagen, dass Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Netze einander widersprechen. Je effizienter die Anlage und die daran angeschlossenen Verbraucher wie Kühlschränke, Fernseher und Lampen, desto geringer der Verbrauch und damit desto geringer auch die Einnahmen aus dem Verkauf von kWh. Da mit dem Verkauf des Stroms verhältnismäßig wenig verdient werden kann, trägt der Verkauf von Verbrauchern zu etwa zwei Dritteln zum Umsatz bei.

Die Installationskosten eines Netztes mit ca. 30 Haushalten ist in folgender Kostenstruktur dargestellt:

CAPEX	USD	FCFA
CAPEX MESH Geräte (FOB)	3 119	1 897 930
CAPEX Verbraucher FOB	2 715	1 111 740
CAPEX Material gesamt (ohne Masten)	5 834	3 550 522
Umsatzsteuer und Zollabgaben	1 458	887 201
CAPEX Netzinfrastruktur (vor allem Masten)	3 765	2 291 013
Transport (lokal)	500	304 253
Transport (international)	1 500	912 759
Gesamt CAPEX	13 057	7 945 342
Lokale Installationskosten	1 507	917 435
OPEX p.a.	USD	FCFA
Wartung	500	304 253
Fernwartung/Daten	105	63 191
Gesamt OPEX	605	368 146
Umsatz	USD	FCFA
Umsatz durch einmalige Anschlussgebühr	450	273 800
Umsatz durch kWh-Verkauf	864	525 568
Umsatz durch Grundgebühr	463	281 700
Umsatz durch Verkauf von Verbrauchern	2 400	1 460 693
Gesamtumsatz (p.a.)	4 117	2 504 261

Um die Einnahme durch die Netze auf einen Mindestbetrag zu bringen, hat sich bei Minigrids zunehmend der Ansatz entwickelt, eine monatliche Grundgebühr zu erheben zzgl. der Kosten für den eigentlichen Verbrauch. Die Bereitstellung von Leistung rund um die Uhr ist eine Energiedienstleistung, unabhängig davon, wann und wie viel Strom verbraucht wird.

Es ergeben sich also inklusive der Verbraucher Anschlusskosten von etwa USD 500 je Haushalt. Die Amortisation des Kapitaleinsatzes durch die monatlichen Umsätze wird voraussichtlich stark von den Gegebenheiten abhängen und wird derzeit auf ca. 4-5 Jahre geschätzt, während die Verbraucher innerhalb von ca. 12 Monaten amortisiert werden. Oft werden Mikrostromnetze durch die Regierungen in den Zielländern finanziell unterstützt, sodass in vielen Fällen eine Mischkalkulation zu erwarten ist.

Kosten für die Entwicklung und die Pilotierung

Ein Großteil der Kosten floss in die Bezahlung der Entwickler und die Herstellung der Pilotanlagen sowie der Herstellung geeigneter Werkzeuge um die Anlagen während der Produktion zu kalibrieren, zu testen und zu programmieren. Ein weiterer großer Posten war abschließend die Installation und Wartung der Pilotanlagen.

Grob gesagt sind etwa 50% der Kosten in die technische Entwicklung bzw. das Projektmanagement und 30% in die Produktion und Anschaffung externen Komponenten für den Netzaufbau geflossen. 10% sind dabei etwa für die Installation und Wartung der Anlagen ausgegeben worden.

Die Entwicklungsleistung wurde dabei zum Teil durch festangestellte Mitarbeiter sowie in Kamerun beschäftigter Entwickler erbracht. Die genauen Abrechnungen können den Verwendungsnachweisen entnommen werden.

Öffentlichkeitsarbeit

Die MESH Technologie wurde bereits bei diversen Veranstaltungen vorgestellt und fand auch bereits das Interesse zwei größerer französischer Industriepartner. Hier eine Auflistung der verschiedenen Bekanntmachungen, Förderprogramme und Folgeprojektoptionen

- Geplant Intersolar in München auf einem Stand mit CanadianSolar
- Messe „Solar Show“ in Johannesburg, Südafrika am 25/26 April 2023
- Empower A Billion Lives Competition organisiert bei IEEE/PELS in Orlando Florida im Zuge der APEC Elektronik Messe wurde mit einem Preis von 50,000USD honoriert
- EEP Africa hat die MESH grids für Zambia mit 208,000€ gefördert
- In 2022 haben wir die MESH grids auf der Off-grid Expo in Augsburg vorgestellt
- Im Zuge des DENA res Programm wurden unter anderem Marketingmaßnahmen für Solar Home Systeme und das MESH grid in Zambia gefördert
- Demonstrationsvideos der Anlagen in Kamerun und Sambia wurden auf Youtube und der Website veröffentlicht

Fazit

Wir konnten mit Hilfe der DBU Förderung die gesetzten Ziele größtenteils erreichen. Wir betreiben nun seit mittlerweile einem Jahr ein MESH Netzwerk in Kamerun, mit einem weiteren im Bau und einem in Sambia.

Die Zusammenarbeit mit unseren kamerunischen freiberuflich angestellten Mitarbeitern und unseren Partnern hat sich gefestigt und es wurde viel Know-How nach Afrika transportiert, damit sich derartige Projekte hoffentlich vervielfältigen und auch verselbstständigen.

Es gab allerdings beim ersten Versuch ein Netz in Sambia aufzubauen, noch bevor wir das erste Netz in Kamerun aufgebaut haben, einige technische Probleme.

So mussten wir feststellen, dass unsere Masten den Witterungsbedingungen nicht gut standgehalten haben. Stürme hatten die Masten stark schwanken lassen, wodurch sich einige Kontakte gelöst haben. Termiten haben außerdem die erste Generation Masten innerhalb von 6 Monaten am unteren Punkt zum Teil komplett zerfressen.

Eine wichtige Erkenntnis, woraufhin wir in beiden Ländern sogenannte CCA-behandelte Masten verwendet haben, eine spezielle Imprägnierung.

Eine weitere wichtige Erkenntnis war die Nutzung von Aluminiumleitungen anstatt Kupferleitungen, weil diese weniger stark zum Durchhängen neigen, mechanisch stabiler sind und auch günstiger.

Außerdem war ursprünglich noch der Plan unsere hauseigenen Solego Solar Home Systeme als Energiequelle für die MESH Netzwerke zu verwenden. Es hat sich aber als kosteneffizienter und einfacher herausgestellt, größere Anlagen mit ca. 1kWp PV und 2kWh Speicherkapazität mit Standardkomponenten zu verwenden.

Da Stromnetze, wozu auch das MESH zählt oft über öffentliche Gelder gefördert sind oder zumindest über größere Netzversorger vertrieben werden, arbeiten wir derzeit daran die Vertriebswege für MESH Netzwerke auszubauen. Konkret arbeiten wir an vier Kanälen:

- 1) In Nigeria wird ein neues Förderprogramm von 750Mio USD über die African Development Bank aufgesetzt. Dieses dient der erfolgsbasierten Finanzierung von Solar Home Systemen und Minigrids. Zusammen mit OKRA Solar, einer Firma die neuerdings ähnliche MESH Netzwerke baut, versuchen wir derzeit auf die Regulatoren einzuwirken auch MESH Netzwerke über das Programm zu fördern
- 2) Eines der Industrieunternehmen hat starkes Interesse an der Technology gezeigt und erwägt derzeit ein Investment oder zumindest einen flächendeckenden Einsatz der Technologie in einem Land in Afrika.
- 3) Über bestehenden Partner in Südafrika bietet sich ein Vertrieb der MESH Netzwerke in Townships an. Die Regierung hat in den letzten Jahren umfangreiche Infrastrukturprojekte für die Elektrifizierung in die Wege geleitet.
- 4) Mit unserem Partner in Kamerun arbeiten wir derzeit daran die Finanzierung für zunächst 20 weitere MESH grids in Nord-Kamerun aufzusetzen. Hierfür gibt es Gespräche mit der UNDP, einem französischen Industriepartner und einer kommunalen Bank die in Zusammenarbeit mit der KfW unter anderem solare Energieprojekte in Kamerun vorantreibt.