



Nachhaltiges Energiekonzept für einen Bauernhaushalt im ländlichen Äthiopien

Valerie Seitz,
Birgit Zimmermann

Schriftenreihe der Wilhelm Büchner Hochschule

Band 7 / 2022

Valerie Seitz, Birgit Zimmermann

Schriftenreihe der Wilhelm Büchner Hochschule

Herausgeber Forschungsausschuss der Wilhelm Büchner Hochschule
28.06.2022

Wilhelm Büchner Hochschule

Impressum

ISSN (Online) 2751-0514

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

©Wilhelm Büchner Hochschule Darmstadt 2022

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Werden Personenbezeichnungen aus Gründen der besseren Lesbarkeit nur in der männlichen oder weiblichen Form verwendet, so schließt dies das jeweils andere Geschlecht mit ein.

Herausgeber: Forschungsausschuss der Wilhelm Büchner Hochschule

Redaktion: Dr. Marcel Heber

Layout und Satz: Dominik Feldmeier

Einbandentwurf: Gerhard Kienzle

Projektkoordination: Prof. Dr. Rainer Eisland

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Nachhaltiges Energiekonzept für einen Bauernhaushalt im ländlichen Äthiopien

Valerie Seitz, Birgit Zimmermann

Zusammenfassung Knapp 80 % der Bevölkerung in Äthiopien lebt in ruralen Regionen, wo sie kleine Bauernhöfe in Subsistenzwirtschaft betreiben. Wiederum 80 % von diesen haben dabei keinen Zugang zu Elektrizität oder anderen nationalen Versorgungsnetzen. Ziel dieser Arbeit ist es für diese Bauernhöfe ein nachhaltiges Energiekonzept zu entwickeln, um so eine nachhaltige Zukunftsvision zu bieten als Gegenentwurf zu nationalem Netzausbau und zentraler Energieversorgung. Anhand von Feldstudien und Interviews werden die wichtigsten Grundbedürfnisse der Bauern festgestellt, welche von einem nachhaltigen Energiekonzept erfüllt werden müssen: Wasserversorgung für Leitungswasser, Trinkwasser und Feldbewässerung; Elektrizität für Beleuchtung, das Laden von Mobiltelefonen und zum Betrieb einer elektrischen Brunnenpumpe; eine rauchfreie Alternative zum Kochen auf offenem Holzfeuer; eine hygienische Sanitäranlage und biologische Düngung für die Felder. Verschiedene Technologien und Lösungswege werden untersucht und gegeneinander abgewogen. Letztendlich werden die Lösungen ausgewählt, welche die Bedürfnisse am besten erfüllen, Umwelt- und Klimastandards best-möglich wahren und Nachhaltigkeit, also Langfristigkeit und Effizienz, gewährleisten. Auch auf die Realisierbarkeit vor Ort in Äthiopien wird bei der Auswahl der Technologien Wert gelegt. Das Konzept beinhaltet eine Photovoltaikanlage für Elektrizität, eine elektrische Brunnenpumpe mit einem Wassertank und einem Wasserleitungssystem zur Wasserversorgung und eine Biogasanlage zum Kochen mit einer angeschlossenen Sanitäranlage und der dabei anfallenden Biogasgülle zur biologischen Düngung. Durch weitere Feldstudien und Berechnungen wird die Art und Menge der auf den Höfen vorhandenen Ressourcen analysiert und auf Basis dieser Datengrundlage die Dimensionierung der einzelnen Anlagen und deren Schnittstellen berechnet. Eine sozialwissenschaftliche Analyse anhand der Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen verdeutlicht die Relevanz der Umsetzung dieses Energiekonzepts. Von einer Umsetzung dieses Konzepts profitieren sowohl Mensch als auch Umwelt: es entstehen Entwicklungschancen für die Menschen unter anderem durch bessere Gesundheit, neue Zeitressourcen, gesteigerte Ernteerträge und höhere Resilienz, während der Erde Wälder erhalten bleiben, das Klima durch CO₂-Einsparungen geschützt wird, geschlossene Kreisläufe ohne Abfälle entstehen und nur erneuerbare Ressourcen verwendet werden. Wirtschaftliche Betrachtungen ergeben, dass zur Umsetzung des Konzepts auf einem Bauernhof 3000,00 € Spenden nötig sind. Mit einer Auswahl der zu verwendenden Anschaffungen, wie etwa ein hocheffizientes Photovoltaik- und Bewässerungssystem, und möglicher Kooperationspartner, wie die lokale Landwirtschaftsbehörde oder eine lokale Solarfirma, werden klare Handlungsempfehlungen gegeben. Den Ausblick definiert einerseits die Frage nach möglichen Verbesserungen des erarbeiteten Energiekonzepts und andererseits nach grundlegender Effizienzsteigerung, wie etwa durch die Gründung von Öko-Dörfern und Anwendung des Konzepts auf größere Einheiten.

Keywords: Energiekonzept, Nachhaltigkeit, Äthiopien, Permakultur

Abstract Almost 80 % of the population in Ethiopia live in rural areas and as subsistence agriculturalists. Out of these farmers around 80 % do not have any access to electricity or other national supply networks. The goal of this research is to develop a sustainable energy concept for these farms in order to offer a sustainable vision for the future as an alternative to national grid expansion and central energy supply. Through field studies and interviews the basic needs of these farmers are determined. Therefore, a sustainable energy concept must include: water supply for tap water, drinking water and field irrigation; electricity for lighting, charging phones and operating an electric water pump; a smoke-free alternative to cooking on open wood fire; a hygienic sanitary facility and organic fertilizer for the fields. Different technologies and options were considered and assessed. Finally, those technologies are chosen that fulfill the needs of the farmers, keep environmental standards, and ensure sustainability, especially durability and efficiency. Additionally, chosen technologies have to be feasible and accessible in Ethiopia. Therefore, the concept includes a photovoltaic system for electricity, an electric well water pump with a storage tank and a pipe system for the water supply and a biogas system for cooking connected with sanitary facility and the biogas slurry as organic fertilizer. Further field studies helped to analyze the type and amount of resources available on the farms and, on the basis of this data, to calculate the dimensions of the individual systems. A social science analysis based on the Sustainable Development Goals of the United Nations illustrates the relevance of the implementation of this energy concept. People as well as the environment benefit from an implementation of this concept: better health, more time resources, increased crop yields and a higher resilience are some of the outcomes for the humans, while forests are being pre-served, the climate is protected by CO₂ reduction, no pollution occurs and only renewable resources are being used. Economic considerations show that it needs € 3000.00 of donations to implement that concept on one farm. For an implementation not only the most appropriate products are carefully selected, such as a highly efficient photovoltaic and irrigation system, but also possible partners are found, such as the local authority of agriculture or a local solar company. In that way recommendations for action are provided. The outlook focuses on the question of possible improvements of that energy concept as well as on the possibility of a fundamental increase of efficiency by applying the concept on larger units such as eco-villages.

Keywords: energy concept, sustainability, ethiopia, permaculture

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Motivation und Zielsetzung	4
2.1	Ausgangslage.....	4
2.1.1	Einführung Äthiopien und Choke Berge als Ort der Untersuchung	4
2.1.2	Ist-Situation der Bauernhaushalte in den Choke Bergen	7
2.1.3	Übertragbarkeit auf andere Regionen und Länder.....	11
2.2	Definition „Nachhaltiges Energiekonzept“	12
2.3	Fokus auf Frauen und Kinder – EmPOWERing Women	13
3	Theoretische Grundlagen und Stand der Technik	14
3.1	Auswahl der Themenbereiche	14
3.2	Nicht passende Technologien.....	16
3.3	Überprüfung der Übertragbarkeit bestehender Lösungen	24
3.4	Photovoltaik.....	24
3.5	Biogas und Sanitäranlage.....	29
3.6	Wasserversorgung	31
3.7	Abfallkreisläufe und Biodünger	32
4	Methodik	33
4.1	Vorarbeit in Form von Erfahrungen im Projektgebiet	33
4.2	Vorarbeit in Form anderer wissenschaftlicher Arbeiten	34
4.3	Literaturrecherche	35
4.4	Feldstudien.....	37
4.5	Persönliche Kontakte und Interviews	38
4.6	Berechnungen	40
5	Ergebnisse und Diskussion.....	41
5.1	Entwicklung eines nachhaltigen Gesamt-Energiekonzepts	41
5.1.1	Überblick: Darstellung eines nachhaltigen Energiekonzepts	42
5.1.2	Photovoltaik	45
5.1.3	Biogas und Sanitär.....	51
5.1.4	Wasserversorgung	57
5.1.5	Migration der Lösung	60
5.2	Realisierung in einem Bauernhaushalt	63
5.2.1	Ausgangssituation und Neuinstallationen.....	63
5.2.2	Bewertung der Neuinstallation.....	67
5.3	Nutzenanalyse anhand der Nachhaltigkeitsziele.....	69
5.3.1	Gesundheitlicher Nutzen	70
5.3.2	Neue Chancen	70
5.3.3	Umweltentlastungen.....	71
5.4	Wirtschaftlichkeit.....	72

6	Fazit und Ausblick.....	75
6.1	Bewertung der Ergebnisse	75
6.1.1	Kriterium Mensch	75
6.1.2	Kriterium Nachhaltigkeit	76
6.1.3	Kriterium Umwelt.....	78
6.1.4	Weitere Kriterien	78
6.1.5	Zusammenfassung.....	79
6.2	Ausblick.....	79
	Literaturverzeichnis	81
	Anhang.....	88
	Anhang 1: Interview mit Metadel Asaye	88
	Anhang 2: Global Solar Atlas, Bericht Thame	92
	Anhang 3: Ausschnitt aus Projektleitfaden zu Biogasprojekten der lokalen Behörden	94
	Anhang 4: Datenblatt zur Wasserpumpe Rainmaker 2 von Sun Culture.....	95
	Anhang 5: Produktübersicht von SunCulture.....	100
	Anhang 6: Liste an Bewässerungszubehör von Rainmaker 2.....	102
	Anhang 7: Kostenvoranschlag zur Rainmaker2 Climate Smart Battery	103
	Anhang 8: Kostenvoranschlag und Dimensionierung eines PV-Systems	104

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Kartenausschnitt Äthiopien mit Choke Bergen und Standort der Untersuchungen (Quelle: google.de/maps).....	6
Abbildung 2 Landschaft mit typischer Struktur: Bauernhöfe umgeben von Feldern (Quelle: Eigenes Foto).....	7
Abbildung 3 Aufbau eines typischen Bauernhofs: Wohnhaus und traditionelles Rundhaus als Küche (Quelle: Eigenes Foto)	8
Abbildung 4 Wasserdesinfektion via UV-Strahlung (Quelle: Eigenes Foto)	18
Abbildung 5 Mikro-filtration mit Gravitation als Treiber (Quelle: Eigenes Foto)	19
Abbildung 6 Membranfiltrationsverfahren - Leistung und Grenzen (Quelle: Lipp, Baldauf, Kühn, 2005, Seite 51)	20
Abbildung 7 Schema einer Umkehrosmose (Quelle: Siemens Stiftung, 2017, Seite 1.).....	20
Abbildung 8 Systemkonfiguration Inselanlage: Solar-Home-System SHS (Quelle: Stadler, 2020, S.12)	27
Abbildung 9 Solar Home Lighting System der Firma ovBeacon (Quelle: ovsolar.com)	27
Abbildung 10 Ein 5 Watt Paneel eines SHLS von ovBeacon installiert auf einem traditionellen Rundhaus der Mulu Eco Lodge (Quelle: Eigenes Foto)	28
Abbildung 11 Schema des nachhaltigen Energiekonzepts mit Darstellung aller Energie- und Ressourcenkreisläufe (Quelle: Erstellt von Valerie Seitz, Monika Maier und Sonja Weis)	42
Abbildung 12 Solare Einstrahlung am Standort Tiame über den Jahresverlauf (Quelle: globalsolaratlas.info , Details siehe Anhang 7)	47
Abbildung 13 Design und Maße einer Biogasanlage von lokalen Behörden gebauten Anlagen (Quelle: Siehe Anhang 3).....	52
Abbildung 14 Solare Brunnenpumpe Rainmaker 2S von SunCulture (Quelle: siehe Anhang 4)	59
Abbildung 15 Lage des Bauernhofs von Metadel Asaye auf einer Bergterrasse umgeben von Weizenfeldern (Quelle: Eigenes Foto).....	63
Abbildung 16 Bauernhof von Metadel Asaye mit Wohnhaus, Küche, Solarbrunnenpumpe und Gemüsegarten im Vordergrund (Quelle: Eigenes Foto)	65
Abbildung 17 unterirdische Fixed Dome Biogasanlage auf Metadels Hof (Quelle: Eigenes Foto).....	66

Abbildung 18 Zulauf der Biogasanlage: Mischer links und Toilette rechts (Quelle: Eigenes Foto).....	67
Abbildung 19 PV-Anlage ohne Möglichkeit zum Handyladen (Quelle: Eigenes Foto)	68
Abbildung 20 Beitrag des Energiekonzepts zu den Nachhaltigkeitszielen (Quelle: Die Bundesregierung, adaptiert von der Verfasserin nach den erfüllten Kriterien: Haken zur Veranschaulichung).....	69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Schlagwörter und Suchbegriffe zur Eingrenzung der Online-Suche	36
Tabelle 2 Bestimmung des täglichen Energiebedarfs für einen Bauernhof - Dimensionierung PV-Anlage	46
Tabelle 3 Zusammenfassung: verschiedene Berechnungsmodelle zur Dimensionierung der PV-Anlage für einen Bauernhof	49
Tabelle 4 Menge und Eigenschaften des Ausgangsmaterials für Biogas in einem durchschnittlichen Bauernhaushalt (Quellen für Spalte 3 und 4: Kudaravalli (2014); Fulford (2015); Lorimor et al. (2004); SEAI (2012))	54
Tabelle 5 Ergebnispräsentation und Analyse der Biogasanlage	56
Tabelle 6 Schritte zur Migration der Lösung	62
Tabelle 7 Übersicht zum finanziellen Aufwand bei der Umsetzung des Energiekonzepts	73

1 Einführung

Die Idee zur Entwicklung eines Gesamt-Energiekonzept für einen Bauernhaushalt in den Choke-Bergen entstand während der Arbeit in der Mulu Eco Lodge im Hochland Äthiopiens.

Die Mulu Eco Lodge ist ein Ort für Gäste aus aller Welt, in dem sie in traditionellen Lehm-Rundhütten untergebracht sind und für die Zeit ihres Aufenthalts Teil der Bauerngemeinschaft werden können. Zudem ist es ein Ort der Zusammenkunft für die Bauern aus der Umgebung, an dem interkultureller Austausch stattfindet, Ideen entwickelt und Projekte umgesetzt werden.

Während der Umsetzung größerer, gemeinschaftlicher Projekte, wie einer Getreidemühle und einer Grundschule, wurden auch immer wieder die Herausforderungen für die Bauern auf ihren Höfen im Alltag zum Thema: das Wasserholen der Frauen, das fehlende Licht abends zum Studieren für die Kinder oder das Vertrocknen der Ernte bei ausbleibendem Regen. Nach anfänglichen Versuchen, wie dem Verteilen von solarbetriebenen Taschenlampen, wurde schnell deutlich, dass ein Gesamt-Energiekonzept nötig ist, um diese Herausforderungen langfristig und nachhaltig anzugehen. Dabei darf in Zeiten des Klimanotstands der Blick auf Umwelt- und Klimaverträglichkeit natürlich nicht fehlen.

Um Nachhaltigkeit und Langfristigkeit zu garantieren, soll bei der Lösungsfindung ganzheitlich gedacht werden. So entstanden folgende drei Zielaspekte: Sorge tragen für die Menschen (Erfüllung der Grundbedürfnisse der Bauern), Sorge tragen für den Planeten (Umwelt- und Klimaschutz bzw. -verträglichkeit) und Nachhaltigkeit und Permakultur (langfristige Wirksamkeit der ersten beiden Aspekte). Auf diese wird nun noch im Detail eingegangen.

Erfüllung der Grundbedürfnisse der Bauern

Fast 30 % der Bevölkerung in Äthiopien leben noch in sehr einfachen Zuständen unterhalb der international festgelegten Armutsgrenze (1,25 US Dollar Kaufkraftparität am Tag)¹. Die in vorliegender Arbeit adressierten Grundbedürfnisse richten sich einerseits nach persönlichen Beobachtungen und Austausch mit den Bauern und andererseits nach der Definition in den Zielen für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen².

Es sollen Lösungen gefunden werden im Bereich der Elektrizität für Beleuchtung und das Laden von elektrischen Geräten, im Bereich der Gesundheit bezüglich des rauchfreien Kochens, hygienischer Sanitäranlagen, rückschonendem Wasserholen oder Holzsammeln und im Bereich der Versorgungssicherheit und Empowerment durch effiziente Feldbewirtschaftung.

¹ IndexMundi, 2020, Seite 1.

² Die Bundesregierung, o.D., Seite 1.

Umwelt- und Klimaschutz und -verträglichkeit

Äthiopien hat noch eine Waldfläche von 15 % (Stand 2018)³. Dazu zählen aber auch Nutzwälder, Aufforstungsflächen, etc. Von altem, indigenem Wald sind nur noch 3 % erhalten von ehemals mindestens 40 %⁴.

Einem Großteil der Bevölkerung steht als Energiequelle für Kochen etc. ausschließlich Feuerholz zur Verfügung, da eine nationale Bereitstellung von Ressourcen beispielsweise in Form eines nationalen Stromnetzes in weiten Teilen noch nicht existiert. Auch über eine zukünftige Ausweitung des Stromnetzes herrscht noch große Unsicherheit⁵. Die Abholzung für Feuerholz ist eine der Hauptursachen für die Entwaldung in Äthiopien.

Zusätzlich belastet der Wirtschaftsboom der letzten Jahre die Wälder, da er zu einem zusätzlichen Holzverbrauch im Bau führt. Dieser hohe Bedarf an Holz führt zu weiterer, starker Abholzung und im Anschluss zu großen Forstflächen mit importiertem, schnell wachsendem Eukalyptus, der der Bodengesundheit nicht zuträglich ist⁶. Auch illegale Abholzung der noch übrigen, geschützten, alten Waldbestände kann oft nicht verhindert werden.

Es ist bekannt, dass intakte Wälder als Kohlenstoffspeicher extrem wichtige Helfer im globalen Klimanotstand darstellen und zusätzlich durch die Effekte auf lokale Wetterverhältnisse die Auswirkungen des Klimawandels abpuffern können⁷. Es ist daher für den Klima- und Umweltschutz unabdingbar, den Bauern eine erneuerbare Ressource zum Kochen als Alternative zu bieten.

Nur etwa 20 % der Bevölkerung haben Zugang zum nationalen Stromnetz⁸. Über 90 % der Elektrizität werden durch die Wasserkraft gewonnen⁹. Dieser große, noch nicht gesättigte Markt hat also weiterhin sehr großes Potential für erneuerbare Energien. Die besondere Chance besteht darin, dass Äthiopien von den Fehlern westlicher Industriestaaten lernen und von Anfang an in erneuerbare Energien und die entsprechende Infrastruktur investieren kann, ohne die Umwege über Kohlestrom oder Atomkraft gehen zu müssen.

Diese Beispiele zeigen, dass es in Äthiopien bezüglich Umwelt- und Klimaschutz besonders große Herausforderungen gibt, die aber auch enorme Chancen bieten.

³ Knoema Weltdatenatlas, 2018, Seite 1.

⁴ NABU, 2011, Seite 3.

⁵ GBN, 2020, Seite 5.

⁶ Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestags, 2019, Seite 15.

⁷ NABU: Unsere Wälder, o.D., Seite 1.

⁸ Besser, 2014, Seite 13.

⁹ dena, 2014, Seite 25.

Das hier entwickelte Konzept soll besonders folgende Herausforderungen adressieren: Abholzung für Feuerholz, umweltschädliche Beleuchtungs-alternativen, nicht nachhaltiger Düngemiteleinsatz und schädliche Umwelteinflüsse der Exkremente.

Nachhaltigkeit und Permakultur

Das dritte und letzte Ziel schließt die ersten beiden genannten Aspekte, Menschen und Umwelt, mit ein.

Die zu entwickelnde Lösung soll ganzheitlich und langfristig, also nachhaltig sein. Ein Konzept, das diesen Anspruch erfüllt und gute Ansätze und Definitionen bietet, ist die Permakultur. Die Permakultur wurde in den 70er Jahren von Bill Mollison und David Holmgreen geprägt. Sie ist eine Gestaltungsmethode zur Planung natürlicher Lebensräume und vereint Konzepte aus der Wissenschaft, dem Umweltschutz, indigenem Wissen und kulturellen Landwirtschaftspraktiken. Der Kern der Permakultur sind ihre drei Säulen, die auf Englisch prägnant heißen „earth care – people care – fair share“ (zu Deutsch: Sorge für Menschen tragen - Sorge für den Planeten tragen – gerechtes Teilen).

Dieses Gestaltungswerkzeug kann angewendet werden auf kleine Einheiten, wie Gärten, oder auch größere, wie Bauernhöfe, ganze Dörfer etc., mit dem Ziel produktiv, selbst erhaltend, gesund und nachhaltig zu sein. Ein wichtiger Ansatz der Permakultur ist das Schaffen von geschlossenen Kreisläufen innerhalb der zu gestaltenden Einheit, also dass dem System nichts von außen zugeführt wird, sondern vorhandene Ressourcen bestmöglich genutzt werden, und nichts hinausgeht, also keine Abfälle entstehen¹⁰.

Bei der Entwicklung des Energiekonzepts soll darauf geachtet werden, so gut wie möglich im Sinne der Permakultur zu handeln. So sollen Lösungen langfristig und wirksam sein und den Status Quo besonders bezüglich Klima und Umwelt auch für folgende Generationen erhalten oder verbessern (aber nicht negativ beeinflussen).

Eigene Beobachtungen in Äthiopien zeigen, dass es sehr viele Ansätze, Ideen und Projekte gibt, nur sehr wenige aber ganzheitlich, langfristig wirksam und nachhaltig sind. Ein Beispiel hierzu ist die Installation einer PV-Anlage ausschließlich für den Betrieb einer Solarwasserpumpe auf einem ruralen Bauernhof im Rahmen eines fremdfinanzierten Projekts, was den dort lebenden Bauern also z.B. keine Möglichkeit zum Laden ihrer Mobiltelefone, etc. bietet (siehe Kapitel 5.2). Dieses Projekt ist also weder ganzheitlich noch effizient und nachhaltig. Es ist also auch in diesem Sinne großes Potential zu erwarten.

¹⁰ BUND Dresden, o.D., Seite 1.

2 Motivation und Zielsetzung

In diesem Kapitel wird die Ausgangslage in Äthiopien und der Projektregion beschrieben, welche die ausschlaggebende Motivation zur Entstehung dieser Arbeit war. Ansprüche und Ziele des Projekts, wie Nachhaltigkeit, und die Zielgruppe werden definiert und spezifiziert.

2.1 Ausgangslage

Als Basis für die Entwicklung einer passenden Lösung und zur näheren Beschreibung der Motivation soll zu Beginn die Ausgangslage erörtert werden.

Dabei wird auf die Örtlichkeiten, also die Situation im Land Äthiopien und speziell in den Choke Bergen, eingegangen und anschließend auf die Situation eines Bauernhaushalts vor Ort.

Daraufhin wird definiert, welche der in den Kapiteln 2.1.1 (bezüglich Äthiopien) und Kapitel 2.1.2 (bezüglich der Bauernhaushalte) genannten Aspekte ausschlaggebend sind für die zu entwickelnde Lösung und bei einer eventuellen Übertragung der Lösung auf andere Regionen erfüllt sein müssen.

2.1.1 Einführung Äthiopien und Choke Berge als Ort der Untersuchung

Äthiopien ist ein Binnenstaat in Ostafrika. Mit einer Fläche von über 1 Million km² ist es etwa dreimal so groß und hat eine ähnlich große Population (1,1 Mio.) wie Deutschland.

Die Hauptstadt Addis Abeba liegt zentral im Land, wurde vor etwa 150 Jahren gegründet, ist jetzt Sitz der Afrikanischen Union und wird häufig betitelt als „Hauptstadt Afrikas“¹¹ Als einziger Staat in Afrika wurde Äthiopien nie kolonialisiert. Heute ist es ein aufstrebendes Entwicklungsland mit hohem Wirtschaftswachstum in den letzten Jahrzehnten. Die Wirtschaft wird neben Kaffeeexporten von der Landwirtschaft beherrscht, welche über 80 % der Bevölkerung beschäftigt¹². Kleinbetriebe in Subsistenzwirtschaft betreiben dabei fast 95 % der bewirtschafteten Fläche¹³.

2018 wurde Dr. Abiy Ahmed Premierminister und verspricht seither Liberalisierung und Demokratisierung nach knapp 30 Jahren diktatorischer Herrschaft durch die ehemalige Regierungspartei EPRDF. Ein Friedensschluss mit dem benachbarten Eritrea machte ihn zum Friedensnobelpreisträger. Dennoch gibt es immer wieder Konflikte zwischen den über 80 verschiedenen Volksgruppen im Land¹⁴.

¹¹Laenderdaten.info, o.D., Seite 1.

¹²Dena, 2014, Seite 16.

¹³Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestags, 2019, Seite 8.

¹⁴Auswaertiges Amt, 2021, Seite 1.

Äthiopien liegt auf dem Äquator, weshalb das tropische Tageszeitenklima vorherrscht. Es gibt eine kleine Regenzeit im Februar und März und die Hauptregenzeit von Juni bis September. Ab Oktober ist Trockenzeit und Regenfälle sind sehr selten¹⁵.

Mit den vielen Hochlandgebieten zählt es zu den höchstgelegenen Ländern der Welt. Es gibt vier verschiedene Klimazonen, die von der jeweiligen Höhenlage bestimmt werden: die tropisch-heiße Zone bis 1.800 Meter, die warme-gemäßigte Zone zwischen 1.800 und 2.500 Meter, die kühle Zone von 2.500 bis 3.900 Meter und die kalte Zone über 3.900 Meter¹⁶.

„Kalt“ bedeutet in der äthiopischen Amtssprache Amharisch „Tschoke“. Daher kommt auch der Name der Choke-Berge, die in der kühlen bis kalten Zone liegen. Sie gelten als das dritthöchste Gebirge mit dem höchsten Punkt Mount Choke auf 4.070 m_{üNN}, knapp 400 km nördlich der Hauptstadt (siehe Abb. 1). Mit ihren großen Wasserressourcen, bestehend aus etwa 60 Flüssen und 270 Quellen, haben sie einen entscheidenden Einfluss auf die Wassermenge des blauen Nil und somit bis nach Ägypten¹⁷. In der englischen Literatur werden die Choke Berge häufig bezeichnet als die „watersheds of the upper Blue Nile basin“.

Die Regenzeit fängt in den höheren Lagen häufig schon im Mai an und geht bis Oktober. Es herrschen Durchschnittstemperaturen von 16 Grad, da es teilweise sogar zu Nachtfrösten kommen kann¹⁸.

Über 150 000 Bauern leben in weit auseinander gestreuten Bauernhöfen und in einigen wenigen Dörfern und bewirtschaften die Hänge der Berge mit traditionellen Methoden wie Pflug und Ochsen auf bis über 3.800 Meter über dem Meeresspiegel¹⁹. Dort bauen sie vor allem Kartoffeln (März bis Juni), Gerste (September bis Januar) und Bohnen (Juli bis September) an²⁰.

Die Universität der Regionshauptstadt Debre Markos hat einen starken Forschungsfokus auf den Choke Bergen aufgrund der großen Vulnerabilität der Region und ihres weitreichenden Einflusses auf andere Ökosysteme in Äthiopien, dem Sudan und Ägypten. Durch den Einsatz der Universität wurden Teile der Berge zum Biosphärenreservat erklärt und sind entsprechend geschützt. Auch führen sie viele Projekte zur Verbesserung der Resilienz und zum Schutz des Ökosystems durch²¹.

¹⁵Wetter-Atlas, o.D., Seite 1.

¹⁶Dena, 2014, Seite 11.

¹⁷Debre Markos University, o.D., Seite 1.

¹⁸Wetter-Atlas, o.D., Seite 1.

¹⁹Ermias et al., 2010, Seite 21.

²⁰persönliche Mitteilung Bäuerin Unkwaye Girma

²¹Debre Markos University, o.D.

Aufgrund der Relevanz dieses Ökosystems soll das im Folgenden entwickelte, nachhaltige und umweltfreundliche Energiekonzept abgestimmt sein auf die Menschen und Umwelt in dieser vulnerablen Zone.



Abbildung 1 Kartenausschnitt Äthiopien mit Choke Bergen und Standort der Untersuchungen (Quelle: google.de/maps)

Alle Untersuchungen und Beobachtungen werden in direkter Umgebung des kleinen Dorfes Thame mit den beiden Bauerngemeinden Addis Alem und Amistija durchgeführt. Das Gebiet liegt auf knapp 3000 Meter über normal Null in den Choke Bergen und ist 380 km (9 Stunden Autofahrt) von der Hauptstadt Addis Abeba entfernt. Das Dorf Thame befindet sich etwa 35 km nordöstlich der Hauptstraße, die von der Hauptstadt in den Norden Äthiopiens nach Bahir Dar führt (siehe Abb. 1). Hier liegt auch die eingangs erwähnte Mulu Eco Lodge, die den Ausgangspunkt aller Untersuchungen bildet. Das Gebiet, das in Abbildung 1 von den beiden weißen Straßen nach Bahir Dar umschlossen wird, sind die Choke Berge. Rot markiert ist der Ort der Untersuchung.

2.1.2 Ist-Situation der Bauernhaushalte in den Choke Bergen

Die Bauernhöfe in den Bergen liegen meist einige hundert Meter bis wenige Kilometer voneinander entfernt, umgeben von den dazugehörigen Feldern. In Abbildung 2 sind vier Höfe zu erkennen an den silbernen Wellblechdächern umgeben von Weizenfeldern.



Abbildung 2 Landschaft mit typischer Struktur: Bauernhöfe umgeben von Feldern (Quelle: Eigenes Foto)

Der Großteil der Höfe ist analog aufgebaut (siehe Abb. 3): es gibt ein rechteckiges Wohnhaus bestehend aus Lehmwänden und einem Wellblechdach, welches meist unterteilt ist in drei Räume: ein Hauptwohnraum in der Mitte mit Tischen und Bänken und einem mit einem Vorhang abgetrenntem Bett, ein weiteres Zimmer als Erntelager und ein dritter Raum mit eigenem Eingang als Tierstall. Direkt an der Außenwand des Tierstalls befindet sich eine Güllegrube. Vor dem Haus befindet sich ein zweites, traditionelles Rundhaus mit Strohdach (in manchen Höfen ist auch das zweite Haus schon modern mit Wellblechdach), welches als Küche und manchmal auch als zusätzlicher Tierstall oder Lager dient.

Zwischen den beiden Häusern entsteht ein kleiner Innenhof. Daneben gibt es meist noch eine kleine Hütte als Toilette und manchmal auch einen zusätzlichen Hühnerstall.

Direkt um diesen Kern herum beginnen die Felder, die zu dem Hof gehören. Wenn die Familie auch einen Gemüsegarten betreibt, ist dieser meist in direkter Umgebung zum Haus (in Abbildung 3 links im Bild um die Brunnenpumpe herum). Eine Familie bewirtschaftet im Durchschnitt zwei bis vier Hektar.



Abbildung 3 Aufbau eines typischen Bauernhofs: Wohnhaus und traditionelles Rundhaus als Küche (Quelle: Eigenes Foto)

Situation in Küchen

Die Küche besteht meist aus einem traditionellen Rundhaus mit Strohdach und mit einer offenen Feuerstelle mittig im Lehmbofen.

Rohstoffe zum Kochen

Zum Kochen wird ausschließlich Holz verwendet. Dieses besteht zu einem Teil aus gesammeltem Totholz aus dem Wald, zu einem weiteren Teil aus zugekauftem Eukalyptusholz aus Plantagen und aus illegal geschlagenem Holz aus den noch übrigen einheimischen Wäldern.

Die Eukalyptusplantagen sind umweltschädlich, da Eukalyptus ein Tiefwurzler ist und somit die Böden bezüglich vorhandenem Wasser und Nährstoffen stark beansprucht werden. So ist er einer der Hauptgründe für Bodenerosion in Äthiopien. Zudem werden häufig Äcker für ehemals Lebensmittel umgewandelt in Eukalyptusplantagen in einem Land, in dem Lebensmittel importiert werden müssen²².

²²Walther, 2018, Seite 1.

Gesundheitliche Situation

In ganz Äthiopien sind Frauen für das Kochen verantwortlich, weshalb dieser Punkt besonders die Gruppe der Frauen und Kinder betrifft. Gekocht wird Großteiles auf offenem Feuer, was sehr ineffizient ist, selten auch in gelehnten Holzöfen mit Rauchabzug. Die Küchen sind meist völlig geschlossene Räume ohne Rauchabzug. Rauch und Ruß von Holzfeuern birgt zahlreiche Gefahren: es kann zu Schlaganfällen, Erblindung durch Grauen Star, Lungenkrebs, Lungenentzündung und Herzproblemen führen. Kleinkinder können Hirnschäden erleiden als Folge eines Sauerstoffmangels. Außerdem besteht das Risiko von starken Verbrennungen, da Kinder in die offene Feuerstelle fallen können. Das Hocken auf dem Boden neben der Feuerstelle bereitet zudem gesundheitliche Probleme für den Rücken der Frauen²³.

Neben der Gesundheitsgefahr und der oben erwähnten Gefahr für die Wälder ist das Kochen mit Holz ein Antreiber für die Klimakrise durch den Treibhauseffekt der Rußpartikel²³.

Entsorgung menschlicher Exkremente

Auf den meisten Bauernhöfen gibt es in direkter Umgebung zum Wohnhaus eine Grube im Boden als Toilette. Ist diese voll, wird an einem anderen Ort eine neue ausgehoben. Diese Praxis ist in ganz Äthiopien auf dem Land gängig, kann aber nicht sicherstellen, dass keine Kontamination des Grundwassers erfolgt, da nicht für ausreichenden Abstand zu Quellen und Brunnen gesorgt werden kann und der Grundwasserspiegel besonders im Hochland sehr hoch liegt. Zudem sind diese Orte häufig sehr unhygienisch und tragen bei zur Verbreitung von Krankheiten.

Düngung in der Landwirtschaft

Einige Bauernhaushalte in der Umgebung betreiben einen Kompost. Weitaus gängiger aber ist der Zukauf von chemischen Düngemitteln. Besonders in tropischen Ländern mit Lebensmittelknappheit und oft geringem Flächenertrag pro Hektar wird der Zukauf von mineralischen Düngemitteln von der Regierung subventioniert als erfolgversprechendes Mittel zur Produktionssteigerung. Eine Studie des WWF aber deckt die Probleme dieser Vorgehensweise auf: Bei langfristiger Betrachtung ist chemischer Dünger ein Hauptverursacher von schwindender Bodenfruchtbarkeit und -zerstörung besonders bei großflächiger Anwendung auf den Feldern ohne genaue Kenntnis von Dosierung oder empfohlener Häufigkeit der Ausbringung. Eine falsche Anwendung der Düngemittel kann zudem bei Verzehr der Ernte gesundheitliche Risiken bergen²⁴.

²³Kruchem, 2018, Seite 1.

²⁴Kotchi, 2013, Seite 6-8.

Noch dazu müssen - ohnehin knappe - finanzielle Ressourcen aufgebracht werden für den Kauf des Düngers, die dann anderweitig, etwa für Schulbildung der Kinder, fehlen.

Die Bauern der am vorliegenden Projekt beteiligten Gemeinden haben sich bisher erfolgreich gegen den Druck der Regierung zur Anwendung von Mineraldüngern gewehrt und verwenden ausschließlich traditionelle Methoden, wie das Ausbringen von Kuhdung. Wissen und Erfahrungen zum Betrieb eines funktionierenden Komposts gibt es kaum.

Elektrizität für Beleuchtung und Laden von elektronischen Geräten

Für den Großteil der Bauernhöfe stehen weder eine Anbindung an das nationale Verteilernetz noch dezentrale Lösungen für Elektrizität zur Verfügung. Wird abends Beleuchtung benötigt für Haushaltsaufgaben oder auch das Studium der Kinder so werden meist batteriebetriebene Taschenlampen oder Petroleumlampen verwendet. Zum Laden von Mobiltelefonen müssen die Familien teilweise mehrere Kilometer laufen in das nächste Dorf und dort für das Aufladen bezahlen.

Wasserversorgung

Wasserquellen liegen meist in einiger Entfernung zu den Höfen und das Wasser wird von den Frauen in Kanistern zum Hof getragen. Dort wird es ungefiltert als Trinkwasser und zum Kochen verwendet. Für das Waschen von Kleidung oder Körperhygiene müssen die Menschen meist zu den nächstgelegenen Flüssen gehen. Dies ist sehr zeitaufwendig und findet daher meist maximal einmal pro Woche statt. Der dementsprechende Mangel an Hygiene kann ebenfalls zur Verbreitung von Keimen und Krankheiten beitragen. Eine Bewässerung von Feldern oder Gemüseanbauflächen ist unter diesen Umständen zu aufwendig und findet nicht statt. Dadurch verringert sich die Menge der erwirtschafteten Güter pro Jahr auf meist nur einen Anbauzyklus (statt zwei bis drei möglichen), der in der Regenzeit beginnt.

Trinkwasser

Das Wasser direkt aus den Quellen der Choke Berge ist mineralreich und als Trinkwasser häufig unbedenklich. Etwas anders ist die Situation mit Wasser aus Flüssen oder Brunnen. Besonders belastet sind Flüsse, in die durch die intensive Bewirtschaftung der Region Düngemittelrückstände (auch von chemischen Düngemitteln) und andere Verunreinigungen gelangen können. In den meisten Haushalten wird jedoch auf Brunnenwasser, also Grundwasser, zurückgegriffen. Mit dem Wasserkreislauf und dem Durchlaufen der Bodenschichten gelangen aber nicht nur Mineralien, sondern auch anthropogene Stoffe, wie etwa Düngemittel, in das Grundwasser²⁵.

²⁵BMU, 2008, Seite 13.

Der Hauptgrund für Verkeimung von Wasser in den Bauernhaushalten ist allerdings die Aufbewahrung des Wassers in Kanistern, mit denen es vom Brunnen in das Haus getragen wird. Die Kanister haben meist nur eine kleine Öffnung zum Befüllen und können nur schwer gereinigt werden²⁶. Zudem wird das Wasser dort über mehrere Tage aufbewahrt und das sogenannte Stagnationswasser kann auch in sauberer Umgebung verkeimen. Dies ist insbesondere der Fall, wenn die Temperatur des Wassers auf über 25 Grad Celsius steigt, womit die Gefahr durch Verkeimung mit Legionellen und Pseudomonaden stark ansteigt²⁷.

Tagsüber in der Trockenzeit besteht trotz der Lage in der kühlen Zone die Gefahr der Erwärmung des Wassers auf über 25 Grad Celsius. In der Bevölkerung kommt es dementsprechend häufig zu Krankheiten durch verunreinigtes Wasser. Diese sind eine der Hauptursachen für Todesfälle von Kindern unter fünf Jahren²⁸.

2.1.3 Übertragbarkeit auf andere Regionen und Länder

In diesen Abschnitt soll es darum gehen, welche Analogien bestehen müssen, um die im Folgenden erarbeiteten Lösungen auch auf andere Regionen übertragen zu können.

Es ist davon auszugehen, dass die Situation auf viele andere Länder mit großer Landbevölkerung in Afrika und Asien übertragen werden kann, da die Probleme und Herausforderungen im Alltag oft ähnlich sind.

Allerdings wird beispielsweise ein Milchbauer eher Lösungen für eine solare Kühlung benötigen als für effiziente Feldbewässerung. Daher müssen einige Aspekte beachtet werden, um das Energiekonzept übertragen zu können.

Im Detail ist eine Übertragbarkeit möglich, wenn mindestens folgende Punkte zutreffen:

- Es sollten ähnliche Klimaverhältnisse herrschen, also ein Tageszeitenklima mit einem Wechsel von Regen- und Trockenzeit und einer Lage in einer warm-gemäßigten oder kühlen Zone.
- Die Gegend muss landwirtschaftlich geprägt sein mit verstreut liegenden, dezentralen Bauernhöfen in (hauptsächlich) Subsistenzwirtschaft ohne Anbindung an nationale Versorgungsnetze (Strom, Abwasser, etc.).
- Da das Konzept auf einer Wasserversorgung über Brunnen beruht, muss Grundwasser in erreichbarer Nähe sein und ein Brunnenbau grundsätzlich möglich sein.

²⁶CORDIS, 2020, Seite 1.

²⁷UBA, 2016, Seite 36/37.

²⁸Shore, o.D., Seite 1.

→ Der Fokus der Bauern sollte auf dem Anbau von Gemüse und/oder Getreide liegen, also vorrangig eine Feldbewirtschaftung stattfinden.

→ Zudem sollte es keine Gegend mit unmittelbarer Nähe zu größeren Flüssen oder Seen sein, da sonst die in den folgenden Kapiteln getroffene Auswahl der sinnvollsten Technologien anders ausfallen würde.

→ Viehhaltung sollte betrieben werden mit einer Mindestmenge von 4-5 Großvieh.

Sind diese Punkte eingehalten, kann von einer grundsätzlichen Übertragbarkeit des im folgenden entwickelten Energiekonzepts ausgegangen werden. Dennoch sollte im Detail überprüft werden, ob wirklich alle Punkte so zu übernehmen sind oder ob Anpassungen nötig werden.

2.2 Definition „Nachhaltiges Energiekonzept“

Um eine gute Lösung erarbeiten zu können, muss zu Beginn die Zielsetzung klar umrissen werden und die zentralen Begriffen müssen definiert sein. Daher soll es hier darum gehen, wie in dem Zusammenhang eines nachhaltigen Energiekonzepts „Nachhaltigkeit“ definiert wird.

Es gibt sehr viele Definitionen und Aspekte der Nachhaltigkeit. Der Duden beschreibt zwei davon:

1. längere Zeit anhaltende Wirkung
2. Prinzip, nach dem nicht mehr verbraucht werden darf, als jeweils nachwachsen, sich regenerieren oder künftig wieder bereit gestellt werden kann²⁹.

In diesem Kapitel soll nun beschrieben werden, welche Aspekte das zu erarbeitende Energiekonzept erfüllen soll, um als nachhaltig beschrieben werden zu können.

→ Eine über mehrere Jahre bis Jahrzehnte anhaltende Wirkung soll gegeben sein.

→ Instandhaltungs- und Wartungsarbeiten müssen von den Menschen vor Ort eigenständig durchgeführt werden können.

→ Zum Einsatz kommende Technologien müssen umwelt- und klimafreundlich sein, d.h. unter anderem, wenn möglich, CO₂-neutral sein.

→ Im Sinne der eingangs erwähnten Permakultur sollen durch das Energiekonzept möglichst geschlossene Kreisläufe geschaffen werden, d.h. vorhandene Ressourcen sollen bestmöglich

²⁹Duden, o.D., Seite 1.

genutzt werden und Abfälle wiederverwertet oder aufgewertet (upcycling) werden und dem Kreislauf wieder zugeführt werden können. Es soll so wenig wie möglich Input nötig sein und Output entstehen.

→ Die Anwendung des Energiekonzepts soll sich möglichst gut in den Alltag der Menschen integrieren lassen und in der Handhabung einfach sein, um sicherzustellen, dass es dauerhaft genutzt wird.

→ Alle verwendeten Anwendungen und Technologien sollen so energieeffizient wie möglich sein.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Energiekonzept grundsätzlich auf eine langfristige Wirkung bei neutralem oder positivem Umwelteinfluss ausgerichtet sein soll. Nach Definition der Deutschen Bundesregierung soll ein Energiekonzept zu einer „umweltschonenden, zuverlässigen und bezahlbaren Energieversorgung“ führen ³⁰.

2.3 Fokus auf Frauen und Kinder – EmPOWERing Women

"Energie ist kein geschlechtsneutrales Thema" ist die Überschrift eines Artikels von US Aid über den Energiesektor in Afrika³¹.

Zuständig für den Haushalt sind in ganz Äthiopien hauptsächlich Frauen und Mädchen. Von oben beschriebener Problematik, wie etwa der Gesundheitsgefahr in Küchen, betroffen, sind daher besonders Frauen und Kinder. Auch kann die Gefahr von sexuellen Übergriffen beim stundenlangen Holzsammeln im Wald bestehen. Daher soll im Folgenden bei der Entwicklung eines Energiekonzepts für einen Bauernhaushalt ein Fokus auf Frauen und Mädchen als Nutzerinnen liegen.

Der Zugang zu einem Energiesystem im Haushalt bannt aber nicht nur Gefahren für Frauen und Mädchen, sondern schafft zusätzlich auch Chancen für Empowerment: Beispielsweise kann die sogenannte „Zeitarmut“ der Frauen reduziert werden, welche ein großer Treiber für Ungleichheiten zwischen Mann und Frau ist ³². Details dazu und zu weiteren Erfolgen werden in Kapitel 5.3 in einer Nutzenanalyse des Energiekonzepts betrachtet.

³⁰BMZ, 2010, Seite 1.

³¹USAid, o.D., Seite 1.

³²USAid, o.D., Seite 1.

3 Theoretische Grundlagen und Stand der Technik

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen zu allen Aspekten eines Energiekonzepts erarbeitet. Dafür wird zu Beginn analysiert, in welchen Themenbereichen das Energiekonzept Lösungen bieten soll und welche Bereiche bewusst ausgeschlossen werden. Dann wird darauf eingegangen, welche Technologien im jeweiligen Themenbereich in Frage kommen, aber in diesem Kontext nicht angewendet werden und Gründe für diesen Ausschluss. Im Anschluss wird zudem noch geprüft, ob es schon vorhandene Lösungen gibt, die zu einem Teil oder ganz übernommen werden können. Daraufhin wird beschrieben, welche Technologien schließlich ausgewählt wurden, um die im ersten Abschnitt beschriebenen Herausforderungen anzugehen. Dabei wird jedem Bereich bzw. jeder Technologie ein Kapitel gewidmet und der jeweilige Stand der Technik grundsätzlich und im Speziellen in Äthiopien erörtert.

3.1 Auswahl der Themenbereiche

Um eine Auswahl der Technologien treffen zu können, werden vorerst die zu erfüllenden Grundbedürfnisse definiert. Diese Auswahl entstand aufgrund eigener Beobachtungen und Erfahrungen und enger Kooperation und Kommunikation mit der Bauerngemeinschaft während der Arbeit im Projektgebiet seit 2016. Des Weiteren erfolgt in Kapitel 5.3 eine Nutzenanalyse der erarbeiteten Maßnahmen anhand der von den Vereinten Nationen aufgestellten „Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDG)“, in der die sozialwissenschaftlichen Effekte der Maßnahmen detailliert untersucht werden.

Daher soll hier nur eine kurze Auswahl und Beschreibung der zu adressierenden Grundbedürfnisse erfolgen. Zudem werden die Anforderungen an die einzelnen Lösungen definiert; die Lösungen müssen alle möglichst kostengünstig, erneuerbar, nachhaltig, wenig wartungsintensiv, low-tech und auf dem äthiopischen Markt leicht zugänglich sein.

Auch wird kurz erwähnt, auf welche Anwendungsbereiche bewusst verzichtet wird, da in vorliegendem Zusammenhang nur auf die wichtigsten Grundbedürfnisse eingegangen werden soll. Eine Erweiterung des Konzepts für weitere Anwendungen könnte in einem zweiten Schritt erfolgen, wenn das im Folgenden erarbeitete Grundkonzept umgesetzt ist.

Elektrizität

Es ist nötig, dass den Haushalten Zugang zu Elektrizität ermöglicht wird. Es soll ausreichend Energie erzeugt werden für die Beleuchtung der Häuser in den Abendstunden, das Laden von Mobiltelefonen und anderen kleinen Anwendungen, wie Radios, und den Betrieb einer Wasserpumpe und eines Bewässerungssystems für die Felder in der Trockenzeit. Auf weitere mögliche Anwendungen, wie etwa ein Fernseher oder ein Kühlschrank, wird hier bewusst verzichtet.

Wasser

Dieses Konzept soll auch die Möglichkeit beinhalten, den Haushalten fließendes Wasser zur Verfügung zu stellen. Die Anwendung soll im Alltag möglichst wenig Zeit und Energie in Anspruch nehmen, und kombiniert werden mit den Anwendungen unter dem Punkt Bewirtschaftung (besonders Feldbewässerung). Auch Trinkwasseraufbereitung muss berücksichtigt werden.

Kochen

Der bisher verwendete Rohstoff Holz zum Kochen soll ersetzt werden durch eine umweltfreundliche und nicht gesundheitsgefährdende Alternative.

Die Lösung soll eine erhöhte Kochposition ermöglichen, keine knappen Ressourcen beanspruchen und rauchfrei und einfach zu bedienen sein.

Hygiene und Sanitär

Ebenso gehören hygienische Toiletten zu den adressierten Grundbedürfnissen. Sie sollen einen Sichtschutz bieten, leicht zu reinigen sein und sicherstellen, dass keine Fäkalien in das Grundwasser gelangen, bzw. umliegenden Böden und Felder verunreinigen. Zudem sollen Exkrememente in eine nutzbare Ressource umgewandelt werden.

Bewirtschaftung

Für eine nicht gesundheitsgefährdende Feldbewirtschaftung muss für biologischen Dünger gesorgt sein. Dieser soll vor Ort aus vorhandenen Ressourcen hergestellt werden können ohne zusätzliche Kosten. Er soll zudem effektiv sein und eine langfristige Bodengesundheit sichern.

Des Weiteren soll ein Konzept zur Bewässerung der Felder entstehen. Es ist ausreichend, wenn dieses nur etwa die Hälfte des Jahres, also in der Trockenzeit, angewandt werden kann.

Wärme

Auf Warmwasser und auf Möglichkeiten zum Beheizen der Häuser wird in diesem Konzept bewusst verzichtet, da das von den Bauern nicht als Grundbedürfnis angesehen wird. Dennoch sollen im folgenden Abschnitt Möglichkeiten vorgestellt werden für eine eventuelle, zukünftige Erweiterung des Konzepts.

3.2 Nicht passende Technologien

Im Folgenden soll auf Technologien eingegangen werden, die in Bezug auf die Definition „nachhaltiges Energiekonzept“ in Erwägung gezogen werden müssen. Dabei wird nach einer kurzen Beschreibung geklärt, warum die Technologie für den vorliegenden Kontext nicht passend ist.

Auf große, zentrale Arten der erneuerbaren Energieerzeugung, wie Windparks oder die verschiedenen Arten der Wasserkraftwerke, soll hier nicht eingegangen werden, da dezentrale Lösungen für einzelne Bauernhaushalte gesucht sind.

Elektrizität

Eine Möglichkeit, nachhaltig und erneuerbar Strom zu erzeugen, sind kleine, dezentrale Windräder bzw. Windkraftwerke. Die Verbraucherzentrale in Deutschland allerdings sagt: „Mini-Windräder lohnen sich in Privathaushalten nicht“. Das soll einerseits an der geringen Ausbeute liegen, andererseits aber auch an nur geringen Stückzahlen in der Produktion und damit verbundenen hohen Kosten bei häufig schlechter Qualität. Es wird jedoch eingelenkt, dass „der Ertrag (...) extrem stark vom Aufstellort abhängt“. Ein idealer Ort sei eine sehr exponierte Position ohne Gebäude oder Bäume in der Nähe und nur kurzer Stromleitung zum Haus³³. Damit wäre eine solche Anlage nur für wenige Haushalte eine Option. Für eine effiziente Anwendung der Windkraft muss zudem eine über das Jahresmittel ausreichende Anzahl an Windstunden und Windstärken vorhanden sein. In Äthiopien allerdings windet es meist nur in der Regenzeit in ausreichender Stärke. Ein Großteil der Elektrizität wird aber in der Trockenzeit für die Bewässerung der Felder benötigt. Daher wäre ein großer Energiespeicher erforderlich, der die jahreszeitlichen Schwankungen ausgleichen könnte, was ein großer Kostenfaktor wäre und zudem aufgrund der giftigen Substanzen in Batterien dem Anspruch der Nachhaltigkeit nicht gerecht würde. Dennoch schreibt The Africa Report nach der Auswertung einer Studie der Ethio Resource Group (ERG), dass das Potential in Äthiopien für Windkraft eine Million Megawatt beträgt³⁴. Der Artikel bezieht sich aber ausschließlich auf Großprojekte, wie den Adama 2 Windpark südlich der Hauptstadt³⁵. Zudem sind für die Windkraft in Äthiopien große Investitionen und Zeit erforderlich³⁶ und staatliche Förderprogramme existieren für die Windkraft noch nicht³⁷. Kleinwindkraftanlagen sind daher nur sehr schwer erhältlich, ein großer Kostenfaktor und für den vorliegenden Kontext nicht passend.

³³Verbraucherzentrale, 2021, S.1.

³⁴The Africa Report, 2012, Seite 1.

³⁵Garus, 2013, Seite 1.

³⁶The Africa Report, 2012, Seite 1.

³⁷Dena, 2014, Seite 38.

Wassergewinnung

Eine realistische Möglichkeit zur Wassergewinnung bzw. Bewässerung ist die hydraulische Widderpumpe. Diese kleine, dezentrale Lösung pumpt Wasser aus nahegelegenen Flüssen über einen gewissen Höhenunterschied hinweg bis zu dem gewünschten Ort. „Der hydraulische Widder ist eine selbsttätige Wasserpumpe, die mit einem relativ kleinen Gefälle einen Teil des zur Verfügung stehenden Quell- oder Bachwassers, ohne fremde Energie, auf einen bedeutend höheren Punkt fördern kann“³⁸. Er wird häufig für schwierige Wasserversorgungsprojekte eingesetzt in abgelegenen Bergregionen in Entwicklungsländern, wo keine Fremdenergie eingesetzt werden soll oder kann³⁹.

Der große Vorteil dieser Technologie für folgende Betrachtungen wäre, dass keine Fremdenergie benötigt würde. Allerdings braucht es großes Know-How für den Bau einer solchen Pumpe, welches in Äthiopien kaum existiert. Auch die Beschaffung der nötigen Materialien stellt eine Hürde dar. Zudem ist die Nähe zu einem Fluss erforderlich mit einem maximalen Höhenunterschied zwischen dem Fluss und dem Haushalt von etwa 50 m⁴⁰. Ein Widder wäre daher nur auf wenige Bauernhaushalte anwendbar.

Eine weitere Möglichkeit ist die Installation von Handpumpen auf bestehenden Brunnen. Diese sind in Äthiopien häufig zu finden. Der im Projektdorf ansässige Bauer Metadel Asaye versuchte, eine Saison lang einen großen Gemüsegarten zu betreiben über die Trockenzeit hinweg mithilfe einer Hand-Brunnenpumpe. Er hat bei einem Einsatz von drei Menschen jeden Tag vier Stunden zur Bewässerung des Gartens benötigt⁴¹. Diese Möglichkeit lässt sich folglich nur schwer mit einem effizienten Bewässerungssystem vereinbaren, da das Pumpen von Hand zeit- und energieaufwendig ist und somit für vorliegenden Kontext nicht praktikabel.

Wasseraufbereitung

Die verschiedenen Wasseraufbereitungsmethoden werden nach Art und Verschmutzung des Wassers, Verkeimung oder chemische Belastung, individuell ausgewählt. Da chemische Verunreinigungen mit im Haushalt gängigen Methoden nicht zu beseitigen sind, wird im Folgenden nur auf Möglichkeiten zur Wasseraufbereitung von verkeimtem Wasser eingegangen.

Die einfachste Methode zur Wasseraufbereitung ist das Abkochen. Legionellen und sonstige Bakterien sterben bei 70-100 Grad Celsius ab⁴². Allerdings erfordert diese Methode sehr viel Energie in Form von Feuerholz oder Alternativen. Sie wird in der Projektregion teilweise

³⁸Meier, 1990, Seite 14

³⁹Meier, 1990, Seite 13.

⁴⁰Abebe, 2020, Seite 19.

⁴¹Persönliche Mitteilung Bauer Metadel Asaye.

⁴²UBA, 2016, Seite 36.

angewandt, aber nur in Situationen, in denen sauberes Wasser besonders wichtig ist, wie etwa in der Säuglingsnahrung. Als reguläre Methode zur Gewinnung von Trinkwasser wird sie von der Bevölkerung nicht angewandt. Abgesehen vom Abkochen gibt es verschiedene Systeme, die auf Membranfiltrationsverfahren, Reinigung durch UV-Strahlung oder chemischen Reinigungsmitteln beruhen.

UV-Strahlung

Es ist erwiesen, dass die Bestrahlung mit UV-Licht Trinkwasser effizient desinfiziert. Für eine gute Wirksamkeit muss sichergestellt sein, dass alle Mikroorganismen unmittelbar bestrahlt werden, was nur in klarem Wasser ohne Trübungen der Fall ist⁴³. Dieses Kriterium ist bei dem in der Projektregion verwendeten Brunnenwasser erfüllt. Im Outdoor-Bereich bekannt geworden sind kleine, mobile UV-Strahler, in Form von Stiften. Eigene Erfahrungen konnten gesammelt werden mit dem SteriPEN der Schweizer Firma Katadyn Group. Das Standardmodell wird in maximal einen Liter Wasser getaucht und das Wasser 90 Sekunden lang damit gerührt (siehe Abb. 4)⁴⁴. Während der Testung zeigte sich als besonders vorteilhaft die Handlichkeit, einfache Handhabung und die gute Qualität des entstehenden Trinkwassers. Allerdings sind diese Arten von Filtern in Äthiopien nicht erhältlich und müssten kostenintensiv in die Projektregion importiert werden. Zudem besitzen sie meist eine zerbrechliche Glas Spitze, die in das Wasser eingetaucht wird und die Strahlung aussendet. Für eine Verwendung in vorliegendem Kontext sind sie also zu teuer und nicht robust genug.



Abbildung 4 Wasserdeshinfektion via UV-Strahlung (Quelle: Eigenes Foto)

⁴³DVGW W294, 2006, Seite 2.

⁴⁴Katadyn Group, o.D., Seite 1.

Membranfiltrationsverfahren

Dies sind physikalische Trennverfahren, die mithilfe von Membranen Partikel aus dem Wasser filtern können. Je nach Feinheit und Filterwirkung der Membran wird unterschieden zwischen Mikro-, Ultra-, und Nanofiltration und Umkehrosmose⁴⁵. Die unterschiedlichen Feinheiten und ihre Leistung und Grenzen sind in Abbildung 6 ersichtlich.



Abbildung 5 Mikro-filtration mit Gravitation als Treiber (Quelle: Eigenes Foto)

Um das Wasser durch die Membran zu filtern, wird Druck benötigt, der meist durch den Leitungsdruck, Druckerhöhungspumpen oder die Schwerkraft erzeugt wird. Hierzu gibt es viele verschiedene Lösungen auf dem Markt.

Mit einem Filter konnten eigene Erfahrungen gesammelt werden: der Sawyer Squeeze (siehe Abb. 5)⁴⁶. Er arbeitet mit einer Mikromembran und Druck wird erzeugt entweder durch Gravitation oder durch manuelles Zusammendrücken des Wasserbehälters. Auch hier ist die einfache Handhabung von Vorteil. Zudem sind sie sehr langlebig, robust und können durch Gegen-spülung schnell gereinigt werden. Allerdings zeigt Abbildung 6, dass ein Mikrofilter nur Bakterien filtern kann und keine Viren oder Pestizide, womit keine hohe Sicherheit bei der Wasserqualität gegeben ist. Auch hier ist zudem die Erhältlichkeit auf dem äthiopischen Markt problematisch, weshalb diese Filter nicht für eine Anwendung ausgewählt wurden.

⁴⁵DVGW, 2008, Seite 1.

⁴⁶Sawyer, o.D., Seite 1.

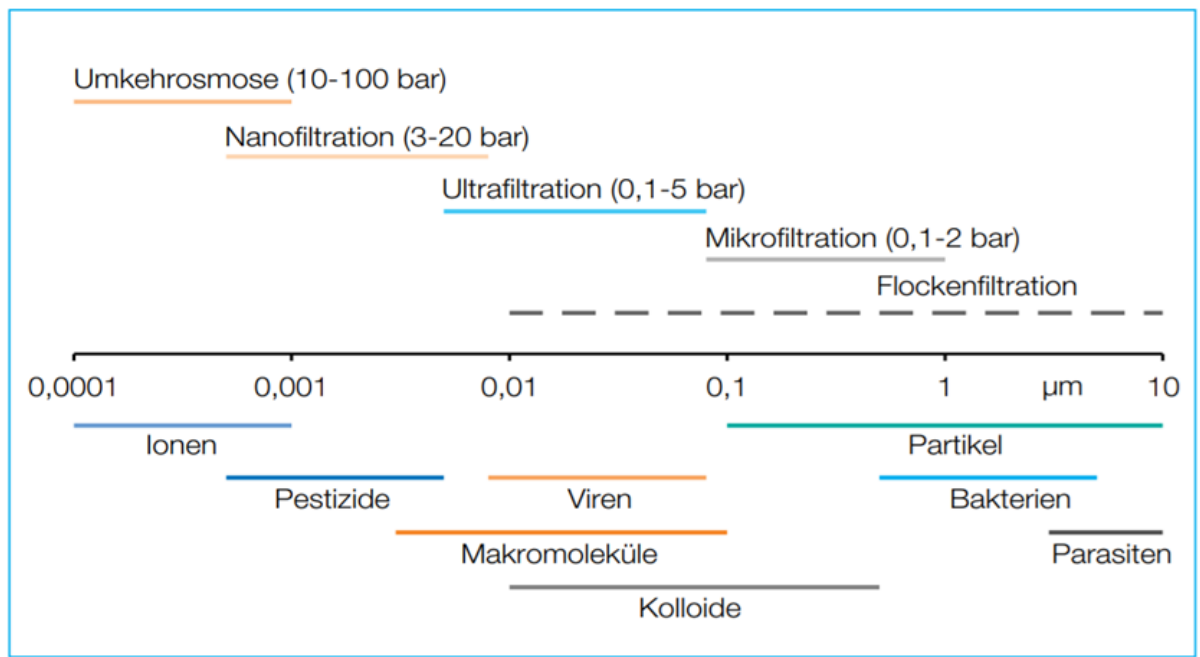


Abbildung 6 Membranfiltrationsverfahren - Leistung und Grenzen (Quelle: Lipp, Baldauf, Kühn, 2005, Seite 51)

Umkehrosmose

Die Umkehrosmose ist eine sehr feine Filtermethode und dient daher zur Reinstwasseraufbereitung oder auch Meerwasserentsalzung.

Schema einer Umkehrosmose

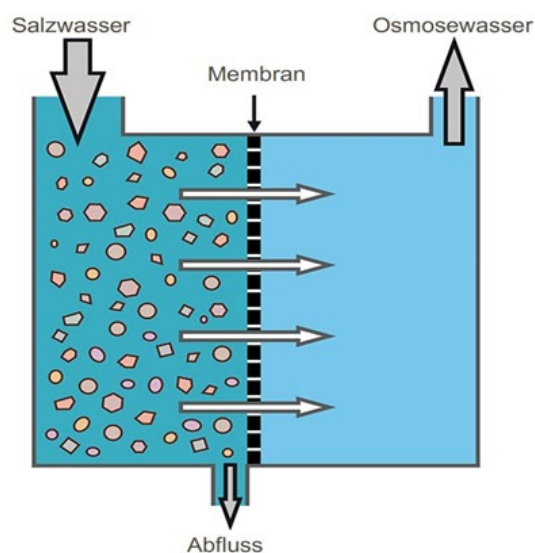


Abbildung 7 Schema einer Umkehrosmose (Quelle: Siemens Stiftung, 2017, Seite 1.)

Das Kernstück der Osmose ist eine semipermeable Membran, die die kleinen Wassermoleküle passieren lässt, aber alle anderen, größeren Moleküle, wie Salzionen, Viren, Bakterien, oder auch Mineralstoffe, zurückhält. Osmose beschreibt das physikalische Phänomen, dass Wasser von unterschiedlichem Reinheitsgrad getrennt durch eine semipermeable Membran immer das Gleichgewicht anstrebt und solange Wassermoleküle durch die Membran passieren, bis die Konzentration aller Stoffe auf beiden Seiten gleich ist. Dieses Phänomen wird in der Umkehrosmose genutzt (siehe Abb.7), indem auf die Seite mit dem zu filterndem Wasser Druck ausgeübt wird, bis alle Wassermoleküle auf der reinen Seite sind und die anderen Moleküle zurückbleiben. So entsteht auf einer Seite reines Wasser⁴⁷.

Diese sehr feine Filterung bringt Vor- und Nachteile: Einerseits ist das entstehende Wasser sehr reines und sicheres Trinkwasser, andererseits enthält es auch keine gesunden Mineralstoffe mehr. In Deutschland wird Osmosewasser nachbehandelt und wieder mit den für den menschlichen Organismus nötigen Mineralien versetzt⁴⁸. In den Projekten von e.ray (siehe Kapitel 3.3) werden Umkehrosmoseanlagen zur Trinkwasseraufbereitung eingesetzt und der nötige Druck erzeugt mit elektrischen Druckerhöhungspumpen, gespeist mit Solarstrom⁴⁹.

In vorliegendem Kontext soll die Umkehrosmose aber keine Anwendung finden, da diese sehr feine Filterung zu den teuren Aufbereitungsmethoden zählt⁵⁰. Zudem weist das im Projektgebiet verwendete Grund- und Quellwasser meist keine starken Verunreinigungen auf, sodass einfachere Aufbereitungsmethoden ausreichen.

Chemische Reinigung

Bei den chemische Aufbereitungsmethoden werden meist Halogene, wie Chlor oder Iod, in Tablettenform in klarem Wasser ohne Trübungen aufgelöst. Die reaktiven Halogene oxidieren sämtliche Erreger, wie Viren und Bakterien, und machen sie so unschädlich für den menschlichen Organismus. Sie haben meist eine Einwirkzeit von mindestens 30 Minuten⁵¹.

Diese Methode ist also schnell, einfach und wirksam. Je nachdem welche Elemente und Verbindungen schon zuvor im Wasser waren und je nach verwendetem Mittel, können aber auch aus toxikologischer Sicht bedenkliche Verbindungen entstehen⁵².

⁴⁷Siemens Stiftung, 2017, Seite 1.

⁴⁸DVGW, 2008, Seite 3.

⁴⁹Persönliche Mitteilung Sebastian Lemke von e.ray.

⁵⁰DVGW, 2008, Seite 4.

⁵¹Schatzl, 2016, Seite 1.

⁵²BAG, 2010, Seite 53.

Zudem schmeckt und riecht das gereinigte Wasser oft unangenehm. Für einen Einsatz zur Wasseraufbereitung in Bauernhaushalten im ländlichen Äthiopien ist diese Methode nicht sinnvoll, da die Tabletten regelmäßig nachgekauft werden müssten, aber dort nicht erhältlich sind.

Kochen

Die Alternativen zum Kochen auf offenen Feuerstellen sind begrenzt. So ist die Nutzung von effizienten, geschlossenen Lehmöfen mit Rauchabzug zwar schon eine deutliche Verbesserung, erfüllt aber noch nicht unter 2.2 definierten Ansprüche an Nachhaltigkeit in diesem Zusammenhang, da der Anbau und Verbrauch von Holz in Äthiopien keinerlei Umweltstandards erfüllt (siehe Kapitel 2.1.2 Rohstoffe zum Kochen). Holz als Energiequelle wird also ausgeschlossen.

Eine weitere Alternative ist der sogenannte Solarkocher: ein Parabolspiegel, der die Sonnenstrahlen in sein Zentrum reflektiert, sodass dort gekocht werden kann⁵³. Allerdings kann diese Methode in der Regenzeit nicht angewandt werden und bietet zudem nur eine Kochstelle. Sie ist also als alleinige Kochmöglichkeit für einen Haushalt nicht ausreichend.

Es ist möglich, einen elektrischen Herd mit einer Photovoltaikanlage zu betreiben. Allerdings hat eine durchschnittliche Herdplatte eine Leistung von etwa 2000 Watt, ein Standardherd mit vier Platten also 8000 Watt⁵⁴. Gekocht wird in den Haushalten mehrere Stunden am Tag, was einem enormen Stromverbrauch entsprechen würde. Eine Photovoltaikanlage so zu dimensionieren, dass sie tägliches Kochen mit Strom leisten könnte, wäre sehr kosten- und ressourcenintensiv.

Wärme

Solarthermie für Warmwasser

Warmes Wasser kann sehr einfach gewonnen werden, indem eine schwarze Wasserleitung in Spiralenform auf den Boden oder ein Hausdach gelegt wird. Diese wird an das vorhandene Wassersystem angeschlossen und so erwärmt sich das Wasser in den Leitungen solarthermisch durch die Sonneneinstrahlung innerhalb weniger Stunden. Diese Methode ist einfach umsetzbar und günstig. Sie benötigt allerdings ein bestehendes Wasserleitungssystem.

⁵³Technikjournal, 2018, Seite 1.

⁵⁴Hausjournal, o.D., Seite 1.

Rocket Mass Heater für Raumwärme

Ianto Evans erfand die Technologie des Rocket Mass Heaters, kurz RMH, (im Deutschen Raketen-Massespeicherofen genannt⁵⁵) ursprünglich für den Einsatz in Entwicklungsländern, wobei sie sich heutzutage besonders auch innerhalb der „Earthship“ und Permakulturbewegung in westlichen Ländern verbreitet.

Dieser Holzofen mit Wirkungsgraden bis zu 90 % erreicht seine Effizienz aufgrund nicht nur einer Verbrennung des Materials, sondern besonders aufgrund der zweiten, bis zu über 1000 Grad Celsius heißen Verbrennung der Holzgase und der darauffolgenden Leitung der noch warmen Verbrennungsgase durch Leitungssysteme durch die „Masse“. Diese besteht meist aus einer schweren Lehmbank, die die aufgenommene Restwärme der Abgase über Tage speichert und langsam an den Innenraum abgibt, während die Gase nur leicht über der Umgebungstemperatur den Kamin verlassen. Eine weitere Besonderheit dieses Systems ist auch, dass die Wärmeübertragung nicht vorrangig durch Wärmestrahlung in den Raum (also Raumwärme oder erwärmte Luft) erfolgt, sondern durch die effiziente Wärmeleitung von der erwärmten Masse an berührende Körper (Wärmeleitung von der Lehmbank an die darauf sitzenden Personen)⁵⁶.

Für folgende Betrachtungen wurden alle Arten der Versorgung mit Wärme und Warmwasser außer Acht gelassen, da Wärme kein vorrangiges Problem für die Bauernhaushalte darstellt. Trotz der Lage in der kühlen Zone im Hochland ist eine zusätzliche Wärmequelle in den Häusern nicht notwendig, da die Kochstellen und die Wärmestrahlung durch Viehhaltung im Wohnhaus ausreichend Wärmequellen darstellen. Auch Warmwasser ist kein notwendiger Bestandteil im Alltag der Bauern, sondern wird als Luxusgut angesehen.

Das im Folgenden entwickelte nachhaltige Energiekonzept beinhaltet also ausschließlich notwendige Technologien, die die Grundbedürfnisse bezüglich der SDGs adressieren. Der Fokus liegt also auf Elektrizität, Sanitärkonzepten und Wasserversorgung.

⁵⁵Suhr, o.D.

⁵⁶Wisner, 2017, Seite 1 und 2.

3.3 Überprüfung der Übertragbarkeit bestehender Lösungen

Im Folgenden soll überprüft werden, ob schon bestehende Lösungen auf vorliegende Problemstellung übertragen werden können.

Ein besonderer Fokus wird hierbei auf die Lösungen des Start-ups e.Ray⁵⁷ gelegt, da dieses eine große Expertise in den Bereichen nachhaltige Entwicklung, Energie und Afrika haben. Der Fokus des Unternehmens liegt auf Wasser und Solar in Ostafrika. Um mögliche, übertragbare Lösungen zu finden, wurde neben des Studiums der Webseite auch ein telefonisches Interview mit dem CEO und Mitgründer von e.Ray, Sebastian Lemke, geführt.

Das Gespräch ergab, dass die bisher erarbeiteten Lösungen des Unternehmens sich zum einen Teil auf die Erdbeobachtung und Datengewinnung, hauptsächlich durch Sensoren in Flüssen, konzentrieren und zum anderen Teil in Ostafrika besonders auf Möglichkeiten zur solaren Kühlung und Erzeugung von Eis mithilfe der Photovoltaik.

Entwickelt wurden diese Technologien vorrangig für Gebiete mit direkter Nähe zu großen Flüssen, wo Hochwasserschutz und Kühlung, bzw. Lagerung von Fisch eine Rolle spielen oder warmen Gegenden mit viel flachem Grasland, wo Milchbauern nach Lösungen zur Kühlung von Milch suchen. In hier untersuchtem Kontext spielen weder Flüsse noch Kühlung eine prioritäre Rolle. Gemäß der Ausführungen unter Punkt 2.1.3 über die zu erfüllenden Kriterien für eine gute Übertragbarkeit von Lösungen können die Lösungen von e.Ray für die Gebiete in den Choke Bergen nicht analog angewandt werden.

Herr Lemke betonte aber, dass die Photovoltaik grundsätzlich sehr viele flexible Anwendungen und Lösungen berge und sprach sich dafür aus, ihr eine große Bedeutung für die Entwicklung eines nachhaltigen Energiekonzepts beizumessen.

3.4 Photovoltaik

Die Photovoltaik (PV) ist eine Möglichkeit zur Gewinnung von Elektrizität aus Sonnenlicht mithilfe der Halbleitertechnologie. Sie ist nachhaltig und zählt zu den erneuerbaren Energien.

Neben der Nachhaltigkeit und Erneuerbarkeit sprechen aber noch andere Gründe für die Auswahl der PV als Baustein in einem nachhaltigen Energiekonzept für einen Bauernhaushalt in den Choke Bergen.

⁵⁷e.Ray, o.D., Seite 1.

Das Potential der PV in Äthiopien ist immens. Das liegt zum einen an der sehr geringen Elektrifizierungsrate von nur etwa 20 % in ruralen Gegenden Äthiopiens. Zum anderen aber ist in diesen Gegenden die solare Einstrahlung extrem hoch, was sehr gute Wirkungsgrade und hohe Ausbeuten von PV-Anlagen verspricht⁵⁸. Ein sowohl ökonomischer als auch ökologischer Vergleich zur Elektrifizierung durch die Errichtung dezentraler PV-Anlagen oder durch nationalen Netzausbau fällt zudem an den meisten ruralen Standorten zugunsten der PV aus⁵⁹.

Auch im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien ist die PV zu bevorzugen, da sie in Äthiopien staatlich gefördert wird und keine Importzölle für PV-Anlagen anfallen. Der Markt in Äthiopien wird stark staatlich reguliert mit Importzöllen von bis zu 500 %, weshalb die Steuerfreiheit der PV einen bedeutenden ökonomischen Vorteil gegenüber anderen Technologien bringt⁶⁰.

In einem Bericht der Deutschen Energie-Agentur über erneuerbare Energien in Äthiopien wird beschrieben, dass gemessenen am natürlichen Potential in Äthiopien der PV-Ausbau noch am Anfang steht, die Regierung die Möglichkeiten erkannt hat (Förderung durch Steuerfreiheit), es aber „auffällig ist, dass die Elektrifizierung von privaten Haushalten durch PV-Installationen noch nicht weit fortgeschritten ist“⁶¹. Ein nicht zu vernachlässigender Nachteil der PV ist allerdings die Verwendung von giftigen Substanzen in den PV-Zellen und in Batterien, die meist Teil der PV-Anlagen sind. In vielen westlichen Ländern wird daher stark auf eine umweltgerechte Entsorgung der Schadstoffe geachtet oder es werden Recycling-Kreisläufe aufgebaut⁶².

Eine Abfallwirtschaft oder ein Recyclingsystem für kritische Rohstoffe ist in Äthiopien kaum existent. Müll wird gesammelt und entweder auf dem eigenen Grundstück oder an einigen zentralen Stellen im Freien verbrannt. In Ermangelung besserer Alternativen bezüglich Ökonomie und Umwelt wird für folgende Betrachtungen aber dennoch die Photovoltaik ausgewählt. Im Folgenden wird auf die technischen Details der Photovoltaik eingegangen, die für vorliegenden Kontext von Bedeutung sind. Es gibt aktuell zwei Arten von Photovoltaik-Paneele auf dem Markt, einerseits die waferbasierten Modelle und andererseits die Dünnschicht-Modelle. In der industrialisierten Welt decken erstere den Großteil der Nachfrage. Dünnschicht-Modelle werden aufgrund ihres vergleichsweise sehr geringen Wirkungsgrads von

⁵⁸Besser, 2014, S.13.

⁵⁹Besser, 2014, S.3.

⁶⁰Dena, 2014, Seite 34.

⁶¹Dena, 2014, Seite 41/42.

⁶²Wirth, 2021, S. 77.

etwa 10 % nur noch zu einem sehr kleinen Prozentsatz für Spezialanwendungen verwendet, in Deutschland beispielsweise nur mit einem Marktanteil von 5 %⁶³.

Innerhalb der Klasse der waferbasierten Modelle wird unterschieden zwischen den mono- und polykristallinen Silizium-Solarpaneelen. Erstere haben einen höheren Wirkungsgrad von bis zu 22 %, erfordern aber auch mehr Aufwand in der Herstellung, was mit höheren Kosten verbunden ist. Steht eine große Fläche zur Verfügung, wird häufig auf die günstigeren, polykristallinen Paneele zurückgegriffen, da der geringere Wirkungsgrad von 15 % - 20 % mit größeren Paneelflächen kompensiert werden kann und so Kosten eingespart werden können⁶⁴.

Auch bei der Systemkonfiguration gibt es inzwischen sehr viele verschiedene Möglichkeiten, die meist individuell an die Situation angepasst werden. Dabei wird grundsätzlich unterschieden in netzgekoppelte Systeme, die in das nationale Stromnetz einspeisen, oder offgrid Insel-systeme, die netzunabhängig eine bestimmte Anwendung oder einen oder mehrere Haushalte mit Elektrizität versorgen. Für folgende Betrachtungen spielen nur die Inselssysteme eine Rolle. Die einfachste Art dieser sind die direkt gekoppelten PV-Systeme, die eine Anwendung ohne Zwischenspeicherung in einem Stromspeicher mit Energie versorgen. Sollte die Anwendung Wechselstrom oder eine andere Spannung benötigen als von der PV-Anlage erzeugt, so kann noch ein Wechselrichter oder Spannungswandler dazwischen geschaltet werden.

Stimmen die Energieerzeugung und der Verbrauch zeitlich nicht überein, so wird ein Stromspeicher benötigt. Auch hier kann je nach Art der Verbraucher ein Spannungswandler oder Wechselrichter benötigt werden. Die dafür häufigste Systemkonfiguration ist das DC-seitig gekoppelte Fotovoltaik-Batteriesystem, bzw. Solar-Home-System (SHS)⁶⁵. Diese Systeme werden meist individuell je nach Anwendung und Situation dimensioniert. In Abbildung 8 ist eine solche Konfiguration ohne Spannungswandler oder Wechselrichter abgebildet. Ein Tiefentladeschutz und Überladeschutz ist meist im Laderegler zu einem Gerät vereint und zum Schutz der Batterie für eine möglichst lange Lebensdauer notwendig.

⁶³Wirth, 2021, S. 76/77.

⁶⁴Photovoltaik Solarstrom, o.D., S.1.

⁶⁵Stadler, 2020, Seite 12.

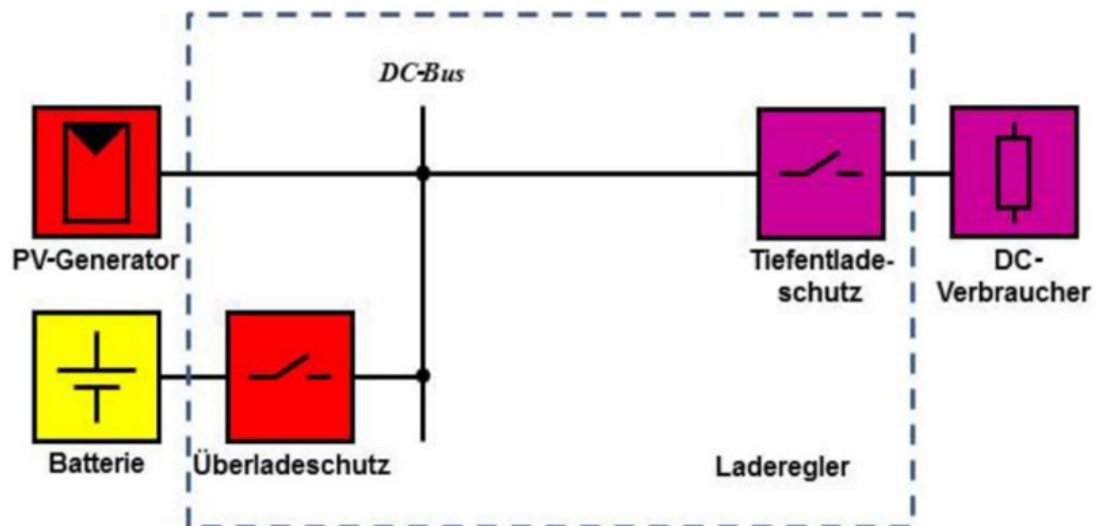


Abbildung 8 Systemkonfiguration Inselanlage: Solar-Home-System SHS (Quelle: Stadler, 2020, S.12)

In Äthiopien verbreitet sind die sogenannten „Solar Home Lighting Systems (SHLS)“. Sie basieren auf dem in Abbildung 8 gezeigten SHS, sind aber fast ausschließlich auf LED-Leuchten, manchmal auch auf das Laden von kleinen Handys, als Verbraucher ausgelegt. Es sind sehr kleine Systeme, häufig mit Solarpaneelen mit einer Leistung von etwa 5 Watt, wie beispielsweise das in Äthiopien gängige MB2-380 von der Firma ovBeacon (siehe Abb.9)⁶⁶.



Abbildung 9 Solar Home Lighting System der Firma ovBeacon (Quelle: ovsolar.com)



Abbildung 10 Ein 5 Watt Paneel eines SHLS von ovBeacon installiert auf einem traditionellen Rundhaus der Mulu Eco Lodge (Quelle: Eigenes Foto)

Ein Vorteil dieser Systeme ist, dass sie aufgrund der geringen Größe, wie in Abbildung 10 ersichtlich, kostengünstig und somit auch für die Landbevölkerung durch Ratenzahlung erschwinglich sind. Nachteile aber sind eine oft schlechte Qualität der Produkte, eine geringe Lebensdauer von nur 2 - 3 Jahren, und die sehr geringe Leistung, die nur für Beleuchtung ausreicht, auch wenn von den Herstellern meist zusätzlich die Möglichkeit zum Handy laden versprochen wird. Diese Aussage beruht auf eigenen Erfahrungen in der Mulu Eco Lodge, den Berichten von Bauern aus der Umgebung. Auch Herr Lemke von e.Ray konnte diese Nachteile in einem persönlichen Gespräch bestätigen.

Es gibt noch sehr viele weitere mögliche Systemkonfigurationen, die in diesem Umfang hier nicht alle aufgeführt werden können. Noch erwähnt werden sollen Systeme, die sowohl Wechselstrom als auch Gleichstrom zur Verfügung stellen, oder hybride Systeme, die nicht nur auf die PV als Primärenergie zurückgreifen, sondern zusätzlich eine Back-up Lösung etwa in Form eines Dieselgenerator anbieten. Hybride Systeme können sowohl DC- als auch AC-seitig gekoppelt werden⁶⁷. Für dieses Energiekonzept soll also eine PV-Anlage mit SHS Konfiguration und Stromspeicher Anwendung finden (Details im Ergebnisteil, siehe 5.1.1).

⁶⁶OvSolar, o.D., Seite 1.

⁶⁷Stadler, 2020, S.16.

3.5 Biogas und Sanitäranlage

Biogas entsteht bei der Zersetzung von organischer Masse unter anaeroben Bedingungen mithilfe von Mikroorganismen, den sogenannten Methanbakterien. Biogas ist ein Gasgemisch, welches sich hauptsächlich aus Methan und Kohlendioxid und geringen Mengen an Spurengasen (Wasserstoff, Schwefelwasserstoff und Ammoniak) zusammensetzt. In der Natur findet dieser Prozess unter anderem im Pansen von Wiederkäuern statt⁶⁸. Dieses Biogas kann an Gasplatten angeschlossen werden. So kann in den Haushalten sicher und rauchfrei gekocht werden.

Da in Äthiopien über 80 % der Bevölkerung auf kleinen Bauernhöfen in der Landwirtschaft tätig sind, fällt viel organischer Abfall an (menschliche und tierische Exkremente, Bioabfälle). Dies ist eine große, fast vollständig ungenutzte Ressource. Noch dazu ist keine aufwendige Technologie notwendig, um diese Ressource zugänglich zu machen. Der Bau von Mikro-Biogasanlagen ist mit einfachen Mitteln, wie Beton, PVC-Rohren und Gashähnen möglich. Ein weiterer Vorteil ist, dass mit dem Bau einer Biogasanlage auch sanitäre Herausforderungen gelöst werden können: der Abfluss einer Toilette kann direkt an den Biogas-Fermenter angeschlossen werden. So werden Exkremente nicht nur sicher entsorgt, sondern als Ressource genutzt.

Der Bau und Einsatz von Mikro-Biogasanlagen in Bauernhaushalten wird zudem von der äthiopischen Regierung gefördert. Die internationale Non-Profit-Organisation aus den Niederlanden SNV unterstützt die äthiopische Regierung auf nationalem und regionalem Level, Biogas-Projekte umzusetzen. In einer ersten, abgeschlossenen Projektphase wurden fast 10.000 Mikro-Biogasanlagen in Bauernhaushalten gebaut. Eine zweite Projektphase ist aktiv⁶⁹.

In einer Untersuchung der Verfasserin in 2020 im Rahmen einer Projektarbeit wurden Versuche und Recherchen durchgeführt zu den verschiedenen Möglichkeiten, eine Mikro-Biogasanlage für einen Haushalt in den Choke Bergen umzusetzen. Auf die Erkenntnisse und Ergebnisse wird im Folgenden zurückgegriffen.

Es werden kurz die drei häufigsten und erfolgreichsten Bauarten von Mikro-Biogasanlagen vorgestellt und die Wahl der in vorliegendem Projekt verwendeten Bauweise erklärt.

Fixed Dome: Eine solche Anlage besteht aus einer in den Erdboden gegrabenen Kammer, deren Wände vollständig betoniert werden. Den Deckel bildet eine halbkugelförmige betonierte Kuppel, aus dessen Mitte der Gasschlauch ragt⁷⁰. Vorteile dieser Bauweise sind das

⁶⁸Seitz, 2020, Seite 5.

⁶⁹SNV, o.D., Seite 1.

⁷⁰IRENA, 2016, Seite 3.

Nichtvorhandensein beweglicher Teile, was zu einer langen Lebensdauer beiträgt. Zudem werden für den Bau keine besonderen Teile benötigt, sondern lediglich Zement, welcher weitläufig verfügbar ist, und Betonbauexperten für den gasdichten Abschluss der Kuppel.

Floating Drum: Die Biogaskammer dieser Anlage ist ähnlich wie beim “Fixed Dome”, eine betonierte Kammer im Erdboden. Im Unterschied zu Ersterer bildet den Abschluss aber eine genau in die Kammer passende Stahltonne, die beweglich mit der Öffnung nach unten in der Füllmasse ruht und sich somit bei Gasproduktion mit Gas füllt und sich dadurch je nach Gasproduktion oder -entnahme in vertikaler Richtung bewegt. Es ist somit immer deutlich sichtbar, ob und wieviel Gas produziert wurde, was ein Vorteil dieser Anlage ist. Durch die Beweglichkeit der Tonne als Gasspeicher entsteht als weiterer Vorteil ein immer gleichbleibender Gasdruck⁷¹.

Nachteile dieser Bauart sind aber die (im Vergleich zum Fixed Dome) geringe Lebensdauer aufgrund von beweglichen und pflegebedürftigen Teilen und die hohen Anschaffungskosten einer solchen, passenden Tonne. Der letzte Punkt und das Problem der Anschaffung in Äthiopien war ausschlaggebend für die Entscheidung gegen eine solche Bauweise im Rahmen dieses Projektes.

Andere Designs im kleinen Maßstab: Es existieren noch viele andere Designs von Biogasanlagen im kleinen Maßstab, meist bestehend aus einer Plastiktonne mit einer zweiten kleineren Tonne, die entsprechend der “Floating Drum” Bauweise in die erste eingesetzt wird oder mit einem externen Gasspeicher aus dehnbarem Material, wie zum Beispiel ein Autoreifen (angelehnt an das “Fixed Dome” Modell). In oben genannter Projektarbeit wurden Versuche durchgeführt mit einer Plastiktonne als Reaktor und einem Autoreifen als Gasspeicher. Allerdings ist die Lebensdauer einer solchen Anlage nicht vergleichbar mit einer fest installierten und betonierten Fixed Dome Anlage. Eines der Ergebnisse der Untersuchung war zudem, dass zwar eine Feuerholzreduktion beim Kochen erreicht werden kann durch den Einsatz des entstehenden Gases, aber dass eine solche Anlage für einen Haushalt als ausschließliche Alternative zum Kochen mit Holz nicht ausreicht⁷².

Für ein nachhaltiges Energiekonzept in den Choke Bergen soll also eine Fixed Dome Anlage zum Einsatz kommen zum Kochen, in Verbindung mit einer Sanitäranlage (Details siehe Ergebnisteil 5.1.2).

⁷¹IRENA, 2016, Seite 3.

⁷²Seitz, 2020, Seite 12.

3.6 Wasserversorgung

Um eine effiziente Wasserversorgung zu gewährleisten, sollen bestehende Brunnen verwendet werden und in ein Leitungssystem integriert werden. Nach Ausschluss anderer Möglichkeiten zur Wasserversorgung (siehe 3.1) wird eine elektrische Brunnenpumpe verwendet, die mit Solarstrom betrieben werden kann.

Für eine Wasseraufbereitung wurden folgende Methoden ausgewählt: Eine anerkannte, sehr nachhaltige Methode zur Wasseraufbereitung ist die Solardesinfektion, die sogenannte SODIS (englisch für SOLar water DISinfection). Dabei wird Wasser mehrere Stunden dem natürlichen UV-Licht der Sonne ausgesetzt und erzielt so die gleiche Wirkung wie oben beschriebene UV-Filter-Verfahren. Es gelten gleiche Voraussetzungen: das Wasser sollte möglichst rein ohne Trübungen sein, sodass die Strahlen das Wasser vollkommen durchdringen können. Es werden transparente Flaschen aus PET oder Glas mit maximal zwei Liter Volumen auf einer schwarzen oder reflektierenden Oberfläche je nach Bewölkungsgrad für mindestens sechs Stunden der Sonne ausgesetzt. Als Unterlage eignen sich sehr gut die im Projektgebiet weit verbreiteten Wellblechdächer⁷³.

Allerdings kann immer nur in kleinen Mengen gefiltert werden. Die Vorteile von SODIS aber liegen auf der Hand: SODIS ist extrem kostengünstig und benötigt keine in ländlichen Regionen schwer erhältlichen Teile. Diese Art der Filtration ist sehr einfach umzusetzen und entspricht den oben definierten Anforderungen nach möglichst geschlossenen Kreisläufen: als einziger Input wird die Sonneneinstrahlung benötigt und es entsteht kaum Müll, wie es bei vielen anderen Aufbereitungsverfahren der Fall ist, bei denen Patronen oder Filter nach einiger Zeit ausgetauscht werden müssten.

SODIS soll daher in diesem Energiekonzept Anwendung finden.

⁷³Spuder, Meierhofer, o.D., Seite 1.

3.7 Abfallkreisläufe und Biodünger

Gemäß dem Prinzip der geschlossenen Kreisläufe (siehe Kapitel 2) soll kein Müll entstehen. Durch den Einsatz einer Biogasanlage sind neben ihrem Hauptzweck der Entstehung von Biogas zum Kochen zwei weitere Probleme gelöst: die sichere Entsorgung und Weiterverwertung von menschlichen Exkrementen und eine ökologisch wertvolle Möglichkeit zur Düngung der Felder. Ein zwei Kubikmeter großer Biogasfermenter produziert etwa 50 kg Biogasgülle am Tag. Diese ist sehr reich an verschiedenen, förderlichen Mikro- und Makronährstoffen und an Kalium, Stickstoff und Phosphor, welche das Pflanzenwachstum fördern und gleichzeitig die Bodenfruchtbarkeit dauerhaft verbessern⁷⁴.

Eine Studie über die Verwendung von Biogasgülle als Dünger kommt zu dem Schluss, dass diese Gülle eine „ideale Nährstoffquelle für biologische Landwirtschaft“ ist⁷⁵.

Dies gilt bei egal welcher Zusammensetzung des Ausgangsmaterials, also auch bei einer Beimischung von menschlichen Exkrementen. Im Gegensatz zu tierischen Ausscheidungen können diese krankheitserregenden Keime, Arzneimittelrückstände und Hormone beinhalten, die übertragen werden, wenn sie ohne weitere Verarbeitung auf den Feldern liegen würden⁷⁶.

Eine sichere Entsorgung dieser ist also von hoher Relevanz. Durch die Prozesse bei der Entstehung von Biogas aber werden alle Keime etc. unschädlich gemacht und eine Ausbringung auf Felder als Dünger ist unbedenklich⁷⁷. So entsteht eine Kreislaufwirtschaft vom Feld zum Menschen und /oder Tier und über die Biogasanlage zurück zum Feld.

Alle anderen Technologien, die in diesem Konzept Anwendung finden, produzieren über ihre Lebensdauer hinweg bei richtiger Wartung und Instandhaltung keine Abfälle. Auch im Alltag der Bauern fällt sonst kein Abfall an.

⁷⁴Devarenjan, J.; Joselin Herbert, G.M.; Amutha, D., 2019, Seite 3.

⁷⁵Devarenjan, J.; Joselin Herbert, G.M.; Amutha, D., 2019, Seite 1.

⁷⁶Krause, A.; Häfner, F.; Augustin, F.; Harlow, E.; Boness, J., 2019, Seite 6.

⁷⁷Hentsch, 2020, Seite 1.

4 Methodik

Im folgenden Kapitel soll auf die Vorgehensweise und verwendeten Methoden bei der Erstellung dieser Arbeit eingegangen werden.

4.1 Vorarbeit in Form von Erfahrungen im Projektgebiet

Durch die eigene Arbeit in der Mulu Eco Lodge und den jahrelangen Aufenthalt im Projektgebiet konnten im Vorfeld viele Erfahrungen gesammelt werden. Diese bieten eine hilfreiche Ausgangslage, da sie unter denselben Bedingungen wie auf den Bauernhöfen bezüglich Lage, Klima, Herausforderungen bei der Beschaffung von Materialien in Äthiopien etc. gemacht wurden. Die Beobachtung der Natur im Projektgebiet, zahlreiche und umfangreiche Gespräche mit den dort lebenden Bauern über ihren Alltag und ihre Herausforderungen bilden einen wichtigen Erfahrungsschatz.

Während des Aufbaus der Mulu Eco Lodge konnten viele Erfahrungen gemacht und Experimente durchgeführt werden, die die Basis dieser Arbeit bilden. Dabei wurden von der Autorin in Kooperation mit der Bauerngemeinschaft lokale Herausforderungen erkannt, nach umsetzbaren Lösungen gesucht und durch Experimente verifiziert, die Ergebnisse analysiert und Verbesserungen durchgeführt. So konnten viele, hier erwähnte Technologien mit ihren Vor- und Nachteilen vor Ort selbst erfahren werden. Direkt zu Baubeginn der Lodge wurde die Dringlichkeit von Zugang zu Strom deutlich und es wurde nach Lösungen gesucht. Eine Photovoltaik-Anlage wurde aus dem Ausland importiert und von der Verfasserin installiert. Während dem langfristigen Betrieb dieser und der parallelen Natur- und Wetterbeobachtung konnten Schlüsse zu nötigen Verbesserungen gezogen werden, wie etwa der Relevanz der Dimensionierung entsprechend den Gegebenheiten in der Regenzeit.

Auch die verschiedenen Arten der Wasseraufbereitung wurden untersucht: durch die Notwendigkeit von aufbereitetem Trinkwasser für Gäste und Betreiber der Lodge wurde nach umfassender Recherche zu den möglichen Methoden ein Mikro-Membranfilter, der Sawyer Squeeze, erworben und über mehrere Jahre zur Aufbereitung des Trinkwassers verwendet. So konnten alle Vor- und Nachteile dessen im direkten Gebrauch erprobt werden, wie etwa die Möglichkeit der leichten Reinigung und Wiederverwendung. Zur Erweiterung des Erfahrungsschatzes wurde zusätzlich ein UV-Filter erworben, welcher allerdings zur UV-Ausstrahlung eine Glasspitze besitzt, die bei täglichem Gebrauch nach etwa einem Jahr zerbrach. Auch ein Aktivkohlefilter ist in der Mulu Eco Lodge im Einsatz. Dieser eignet sich aber nicht zur dauerhaften, sicheren Trinkwasseraufbereitung in einem Bauernhaushalt, da sich ansammelnde Filterrückstände schnell sichtbar werden und die Kartuschen sehr häufig ausgewechselt werden müssen.

Zur Beheizung eines Gästehauses wurde ein Rocket Mass Heater gebaut und bei Belegung des Hauses beheizt. Die zwar positiven und interessierten Rückmeldungen der Bauern machten aber deutlich, dass das Thema Raumwärme in ihrem Alltag kein vorrangiges Problem darstellt.

Zuletzt wurde ein Wasserversorgungssystem in der Lodge installiert mit einer Solarwasserpumpe und einem höher gelegenen Wassertank und Leitungssystem. Dabei wurde deutlich, welche hohe Relevanz diesem zugeordnet werden muss aufgrund der enormen Zeiteinsparungen im Alltag durch den Zugang zu fließendem Wasser.

Ähnliche Methoden zur Erweiterung des Erfahrungsschatzes wurden angewandt mit Solarthermie und einer Abwasseraufbereitungsanlage, welche aber für diese Arbeit keine besondere Rolle spielen, für zukünftige Forschung auf diesem Gebiet aber hilfreich sein können.

Die Umsetzung all dieser Projekte fand statt in enger Zusammenarbeit mit den umliegenden Bauerngemeinschaften, sodass deren Meinungen und Wissen Einfluss hatte. Durch die dabei entstehenden Gespräche mit den beteiligten Bauern wurde deutlich, welche Themen und Technologien auch in deren Haushalten Erleichterung schaffen würden und in welcher Form.

Dies trug entscheidend bei zur Ideenfindung dieser Arbeit und zur in dieser Arbeit getroffenen Auswahl der Themenbereiche und Technologien.

4.2 Vorarbeit in Form anderer wissenschaftlicher Arbeiten

Auch Vorarbeiten in Form von wissenschaftlichen Arbeiten fanden statt. So wurde im Rahmen einer Projektarbeit des Bachelorstudiums an der Wilhelm Büchner Hochschule eine Arbeit verfasst mit dem Titel „Entwicklung einer Mikro-Biogasanlage für einen ländlichen Haushalt in Äthiopien“⁷⁸. Ziel dieser Arbeit war es, Möglichkeiten zur Nutzung anfallender Biomasse als Biogas auf den Bauernhöfen zu analysieren. Dazu wurde eine Mikro-Biogasanlage aufgebaut, anhand derer Experimente durchgeführt werden konnten. Auch hier waren die Bauern eng involviert und anhand des gebauten Modells konnte ein Austausch stattfinden über die Funktionsweise, Möglichkeiten zur Umsetzung auf den Bauernhöfen und eventuelle Probleme. Dies waren hilfreiche Erfahrungen zur Auswahl und Dimensionierung der passenden Biogasanlage in vorliegender Arbeit.

Im Laufe dieses Prozesses wurde die Notwendigkeit eines Gesamt-Energiekonzepts immer deutlicher.

⁷⁸Seitz, 2020.

4.3 Literaturrecherche

Auch wurden wissenschaftliche Recherchen zu den Ansätzen durchgeführt. Zur Recherche über die Ausgangslage im Land und dem Stand der Technik der jeweiligen Technologien in Äthiopien konnten im Buchhandel der Universität Addis Abeba und auch in deren Online Datenbanken passende Quellen und Studien gefunden werden. Auch schon im Zuge des Baus der Mulu Eco Lodge beschaffte Literatur beispielsweise über die Technologie des Rocket Mass Heaters kam zum Einsatz.

Große Online Datenbanken, wie etwa der Global Solar Atlas, ermöglichen das Erzeugen von Datenberichten zur Sonneneinstrahlung, etc., durch Setzen von genauen Ortsmarkierungen auf der integrierten Weltkarte. Diese werden dann als pdf-Datei zum Herunterladen bereitgestellt (siehe Anhang 2). So konnten z.B. der Dimensionierung der PV-Anlage Daten zugrunde gelegt werden, die genau den Bedingungen im Projektgebiet entsprechen. Auch Studienhefte des Studiengangs Energieverfahrenstechnik dienten als Grundlage, etwa zur Berechnung der Dimensionierung der PV-Anlage. Des Weiteren wurde eine umfassende, explorative Internetrecherche zu allen in der Arbeit vorkommenden Themengebieten betrieben, wie etwa zu den verschiedenen Möglichkeiten zur Trinkwasseraufbereitung oder zum Stand der Technik der unterschiedlichen erneuerbaren Energien in Äthiopien. Dafür wurden Schlagwörter und Suchbegriffe auf Deutsch und auf Englisch definiert (siehe Tabelle 1).

Die Suche erfolgte in den Online-Datenbanken Google (<https://www.google.de/>) und Springer-Link (<https://link.springer.com/>).

Tabelle 1 Schlagwörter und Suchbegriffe zur Eingrenzung der Online-Suche

Deutsch	Englisch
Energiekonzept	Energy concept
Nachhaltigkeit	sustainability
Energie in Entwicklungsländern	Energy in developing countries
Energiesektor in Äthiopien	Energy sector in ethiopia
Äthiopien	ethiopia
Photovoltaik	photovoltaics
autark	off-grid
Mikro-Biogasanlage	Micro biogas plant
Inselsystem	Off grid system
Permakultur	permaculture
Wasserversorgung	Water supply system

Ausgewertet wurden Fachpublikationen und Internet-Seiten. Zu jedem Themenfeld wurden beispielhaft Technologien und Anwendungsmöglichkeiten dargestellt. Die Darstellung der Ergebnisse hat daher keinen Anspruch auf Vollständigkeit und soll einen Einblick geben im Rahmen eines Energiekonzepts in Äthiopien.

4.4 Feldstudien

Auch wurden Feldstudien zur Überprüfung der Annahmen und zum Sammeln weiterer Daten unternommen. Im Laufe der Jahre im Projektgebiet erfolgten viele Einladungen von Seiten der Bauern in deren Häuser, wodurch die Gegebenheiten auf etwa 200 Bauernhöfen in der Region betrachtet werden konnten. Das Fehlen von Elektrizität, fließendem Wasser, sauberem Trinkwasser, verrauchte Küchen mit offenen Feuerstellen und unhygienische Toiletten waren als Probleme in nahezu allen Haushalten zu beobachten. Diese Erfahrung gemeinsam mit den oben erwähnten, zahlreichen Gesprächen mit den Bauern bilden die Basis bei der zu Anfang der Arbeit getroffenen Auswahl der zu adressierenden Themenbereiche.

Auch im zeitlichen Rahmen der Bachelorarbeit wurden Feldstudien durchgeführt: So wurden mehrere Bauernhöfe besucht, um Daten zur Auslegung der Biogasanlage zu sammeln. Eine durchschnittliche Art und Anzahl an vorhandenen Tieren pro Hof wurde bestimmt und dient gemeinsam mit weiteren Daten aus der Literaturrecherche als Grundlage zur Berechnung der täglich anfallenden Menge an Ausgangsmaterial für die Biogasanlage.

Durch Vor-Ort-Recherche auf vielen Bauernhöfen wurde auch die Art der Wasserversorgung ausgewählt. So wurde deutlich, dass die Mehrheit der Höfe Zugang zu einem wasserführenden Brunnen hat und das Hauptproblem nicht die Gewinnung von Wasser ist, sondern dessen Verteilung. Darauf basiert die Entscheidung in Kapitel 5 zum Aufbau eines Wasserversorgungssystems basierend auf bzw. durch Integration von bestehenden Brunnen. Auch wurde ein Besuch auf dem Bauernhof von Metadel Asaye am 14.06.2021 durchgeführt. Dieser diente dem Ziel, die auf dessen Hof implementierten Technologien und Verbesserungen zu beschreiben, zu analysieren und deren Funktion und Alltagstauglichkeit zu bewerten. Mithilfe dieser Beobachtungen sollte geprüft werden, wie das in dieser Arbeit entwickelte Energiekonzept in Alltag und Anwendung zu bewerten ist, um dessen Nachhaltigkeit und Langfristigkeit beweisen zu können. Während dieser Feldstudie wurde mit dem gleichen Ziel auch ein Interview mit Metadel durchgeführt (siehe Anhang 1).

4.5 Persönliche Kontakte und Interviews

Der Austausch mit Expert*innen und Bauern und Bäuerinnen in Form von Gesprächen und Schriftverkehr zu den eigenen Ansätzen wurde gesucht. So konnten Expert*innen von Start-Ups und Unternehmen aus dem Energiesektor in Deutschland und Äthiopien Ideen beisteuern, Ansätze verbessern und entwickelte Lösungen kontrollieren.

Sebastian Lemke von e.Ray, Deutschland

Am 14.05.2021 fand ein Telefongespräch mit Sebastian Lemke, dem CEO und Mitgründer von e.Ray, statt. e.Ray entwickelt off-grid Lösungen im Energiesektor mit Fokus auf den afrikanischen Kontinent. Ziel des Gesprächs war, die von e.Ray entwickelten Technologien und Anwendung zu verstehen und eine Übertragbarkeit auf die Probleme in der Projektregion der Choke Berge zu überprüfen, sowie auf die langjährigen Erfahrungen des Experten im Energiesektor zurückgreifen zu können. Schon zu Beginn des knapp zweistündigen Gesprächs wurde deutlich, dass die von e.Ray angebotenen Lösungen besonders auf Kühlung ausgelegt sind, also vorrangig Milchbauern oder Fischern dienen und für vorliegendes Projekt nicht hilfreich sind. Daraufhin wurde Herr Lemke über die lokalen Gegebenheiten und Herausforderungen informiert und zu seinen Ideen und möglichen Ansätzen befragt. Er plädierte für eine Anwendung der Photovoltaik, betonte aber gleichzeitig, dass ein umfassendes Energiekonzept auf größere Strukturen angewandt werden sollte statt auf einzelne Haushalte, um die Wirtschaftlichkeit zu verbessern und eine Eigenfinanzierung durch die Bauern und somit Unabhängigkeit der Bauern erreichen zu können. Diese Anregungen sind unter anderem die Basis für den Ausblick am Ende dieser Arbeit.

Unkwaye Girma, Angestellte der Mulu Eco Lodge, ehemalige Bäuerin

Am 28.05.2021 fand ein Gespräch mit der Angestellten der Mulu Eco Lodge, Unkwaye Girma, statt. Sie ist in der Projektregion aufgewachsen als Tochter einer Bauernfamilie. Ziel des Gesprächs war es, Informationen zur Landwirtschaft in der Projektregion zu sammeln, welche als Grundlage für die Beschreibung der Ausgangslage in Kapitel 2.1.2 dienen. Da diese Region eine Tagesreise von der Hauptstadt Äthiopiens entfernt liegt und sehr abgeschieden ist, existieren kaum schriftliche Quellen zu konkreten Informationen zum Leben auf einem Bauernhof dort. Unkwaye Girma beschrieb u.a. detailliert, die verschiedenen Anbau- und Erntezyklen der unterschiedlichen Gemüse- und Getreidearten im Projektgebiet.

Solar Development PLC, Äthiopien

Auch entstand ein intensiver Austausch mit dem jungen Unternehmen Solar Development PLC in Addis Abeba, das auf Photovoltaik und solare Wasserpumpen, bzw. -bewässerung und deren Import nach Äthiopien spezialisiert ist. Mehrere persönliche Treffen mit dem

Geschäftsführer Nabil Ishak in 2019 und 2020 gingen der Kooperation der Techniker*innen im Rahmen dieser Arbeit voraus. Das gemeinsame Ziel in den Gesprächen mit Nabil Ishak war immer, herauszufinden, in welcher Form und in welchem Rahmen die erneuerbaren Energien am besten in die Bauernhöfe integriert werden können und wie sie den Bauern zugänglich gemacht werden können. Daher wurde die Anfrage nach einer Kooperation im Rahmen dieser Arbeit umgehend positiv beantwortet. Ansprechpartner waren Technical Sales Managerin Huda Zuber und Technical Sales Engineer Aklil Asegid.

Ziel der Zusammenarbeit war es, die in Kapitel 5.1.2 erzielten Ergebnisse zur Dimensionierung einer PV-Anlage überprüfen und validieren zu lassen und von deren Erfahrungen bezüglich der Migration und der konkreten Auswahl der Produkte bei der Umsetzung eines Energiekonzepts profitieren zu können. Dazu wurde Frau Zuber und Herr Asegid die Tabelle 1 aus Kapitel 5.1.2 mit den Daten zum täglichen Energiebedarf eines Bauernhaushalts zugeschickt. Sie führten auf Basis dieser Daten eine unabhängige Dimensionierung durch (ohne Kenntnis der in Kapitel 5.1.2 erlangten Ergebnisse) und teilten diese in Form eines Kostenvoranschlags mit den dafür nötigen Materialien (siehe Anhang 8). Da sich die in dieser Arbeit berechnete Lösung nicht mit der von Solar Development deckte, wurden mögliche Gründe für die unterschiedlichen Ergebnisse und die letztendliche Auswahl der Dimensionierung am Ende von Kapitel 5.1.2 beschrieben. In einem darauf folgenden Email-Austausch mit Herr Asegid wurde bestätigt, dass die in 5.1.2 durchgeführte Dimensionierung ebenso möglich ist.

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in Kapitel 5.4 stellte die Firma zudem alle nötigen Kostenvoranschläge zur Verfügung.

Bauer Metadel Asaye, Projektregion Choke Berge

Ein weiterer persönlicher Austausch fand statt mit dem Bauern Metadel Asaye, auf dessen Hof schon einige der vorgeschlagenen Verbesserungen umgesetzt sind und dessen Hof daher als Modell und zur Auswertung der Ergebnisse in Kapitel 5.3 dient. In Abschnitt 4.4 ist erwähnt, dass am 14.06.2021 eine Feldstudie auf seinem Hof durchgeführt wurde. Ergänzend dazu wurde ein Interview mit Metadel Asaye auf seinem Hof geführt (das komplette Interview ist im Anhang 1 zu finden). Dafür wurden im Vorhinein Fragen entwickelt, die dabei helfen sollten, die Anwendung des Energiekonzepts im Alltag bewerten zu können, eventuelle Probleme herauszufinden, um gegebenenfalls Anpassungen bei der Entwicklung des Konzepts durchführen zu können. Da das Interview mit Metadel Asaye auf der äthiopischen Landessprache geführt werden musste, wurde der Geschäftsführer der Mulu Eco Lodge, Abiy Alem, als Übersetzer hinzugezogen. Die Verfasserin stellte die Interviewfragen auf Englisch, diese wurden auf Amharisch übersetzt und von Metadel Asaye beantwortet. Das gesamte Interview wurde als Audiodatei aufgezeichnet und im Nachhinein von der Verfasserin auf Englisch transkribiert.

Die Kernaussagen des Interviews waren, dass viele Aspekte auf Metadels Hof aufgrund interner Probleme der durchführenden Projektpartner noch unvollständig seien, wie etwa die Biogasanlage mit noch fehlenden Gasinstallationen, er aber sehr guter Hoffnung sei, dass nach Vollendung der Arbeiten der Alltag der Familie sehr positiv beeinflusst werde⁷⁹.

Asaye Girma von der lokalen Landwirtschaftsbehörde, Projektregion Choke Berge

Im Bereich der Biogastechnologie wurde eine Kooperation mit der lokalen Landwirtschaftsbehörde in der Bezirkshauptstadt Feres Bet des Bezirks Dega Damot gesucht. Wie in Kapitel 3.5 beschrieben wird der Bau und Einsatz von Mikro-Biogasanlagen in Bauernhaushalten von der äthiopischen Regierung auf lokalem Level gefördert in Kooperation mit der internationalen Non-Profit-Organisation aus den Niederlanden SNV, welche Expertenwissen und finanzielle Unterstützung bieten. Im Projektgebiet ist dafür der Beamte Asaye Girma innerhalb der oben erwähnten lokalen Behörde zuständig. Diese Behörde baute auch die Biogasanlage auf dem Hof von Metadel Asaye. In einem Telefonat am 15.06.2021 wurde Herr Girma befragt zu den Details der Anlage, welche auf Metadels Hof umgesetzt wurde, und zu grundsätzlichen Erfahrungen mit Biogasanlagen im Projektgebiet. Aufgrund der lokalen Wetterverhältnisse und Anforderungen auf den Höfen riet er zu einer unterirdischen Anlage im Fixed Dome Design. Im Anschluss an das Telefonat stellte er eine von ihm erstellte Handy-Aufnahme aus dem Projektleitfadens der Regierung zur Verfügung, auf welchem das genaue Design und Maße der von der Behörde gebauten Anlagen zu sehen sind (siehe Anhang 3). Eine Weiterleitung des gesamten Leitfadens war aufgrund der Regierungsrichtlinien nicht möglich. Auch über die Kosten und Wirtschaftlichkeit der Biogasanlagen informierte Herr Girma.

4.6 Berechnungen

Auf Basis der Daten aus der Vorarbeit, der Literaturrecherche, den persönlichen Gesprächen und der Feldstudien konnten Berechnungen zur Auslegung der PV-Anlage und der Biogasanlage durchgeführt werden. Zur Berechnung der Größe der PV-Anlage und zugehörigen Teilen, wie der Batteriegröße, wurden Dimensionierungsgrundsätze und Formeln aus dem Studienheft von Ingo Stadler (siehe Literaturverzeichnis Stadler) angewandt. Für die Auslegung der Biogasanlage wurde auf den Leitfaden der Internationalen Agentur für Erneuerbare Energien (englisch: International Renewable Energy Agency, im Folgenden IRENA abgekürzt) zurückgegriffen, in welchem es um die Kapazität und Produktion von Mikro-Biogasanlagen geht.

Daraufhin wurden alle Informationen und Ergebnisse in Form einer wissenschaftlichen Arbeit dokumentiert.

⁷⁹Persönliche Mitteilung Metadel Asaye im Interview, siehe Anhang 1.

5 Ergebnisse und Diskussion

Im fünften Kapitel wird die Lösung zu den beschriebenen Problemstellungen entwickelt. Es soll also ein Energiekonzept entstehen, das alle Grundbedürfnisse der Menschen auf einem Bauernhof in den Choke Bergen Äthiopiens erfüllt. Das beinhaltet den Zugang zu Elektrizität, sauberen Sanitäranlagen, einem Wasserversorgungssystem, und der Möglichkeit zu nicht gesundheitsgefährdendem Kochen. Dabei soll es umweltfreundlich sein, also nur erneuerbare Energien verwenden, und nachhaltig sein, also eine langfristige Wirksamkeit haben, geschlossene Kreisläufe ohne die Verwendung endlicher Ressourcen sowie Vermeidung von Abfällen schaffen und ressourcen- und energieeffizient sein.

Es folgt eine Auswertung und Analyse des nachhaltigen Energiekonzepts anhand eines Hofes, auf dem Teilaspekte der vorgestellten Lösung, wie eine Biogasanlage und ein solares Bewässerungssystem, implementiert wurden.

Eine Nutzenanalyse aus der Perspektive der Bauern anhand der Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen folgt im Anschluss. Zuletzt wird die Wirtschaftlichkeit und Tragbarkeit des Konzepts betrachtet, also die Kosten der Umsetzung aller Maßnahmen berechnet und auf Möglichkeiten zur Eigen- und Fremdfinanzierung überprüft.

5.1 Entwicklung eines nachhaltigen Gesamt-Energiekonzepts

Es soll ein nachhaltiges Gesamt-Energiekonzept entwickelt werden, das die Grundbedürfnisse eines Bauernhaushalts in den Choke-Bergen erfüllt. Dieses wird übertragbar sein auf Regionen mit ähnlichen Verhältnissen bezüglich des Klimas und der Lebensverhältnisse der Bevölkerung und die Grundbedürfnisse dieser erfüllen.

Des Weiteren wird ausschließlich auf nachhaltige und umweltfreundliche Technologien, wie erneuerbare Energien, zurückgegriffen. Es sollen alle Komponenten bestmöglich aufeinander abgestimmt sein und, soweit möglich, in sich geschlossene Kreisläufe entstehen.

Der erste Abschnitt beginnt mit einem Schema aller Energie- und Ressourcenkreisläufe des Energiekonzepts und dient als Überblick über das Zusammenspiel aller Aspekte.

Die folgenden Abschnitte behandeln die Details und Auslegung einer Photovoltaikanlage, einer Biogasanlage mit integriertem Sanitärkonzept und einem Wasserversorgungssystem mit einer Solarwasserpumpe und einem Bewässerungssystem.

5.1.1 Überblick: Darstellung eines nachhaltigen Energiekonzepts

Im Folgenden wird ein Schema des nachhaltigen Energiekonzepts vorgestellt. Darin sind alle Aspekte und angewandte Technologien zu erkennen und die entsprechenden Kreisläufe dargestellt.

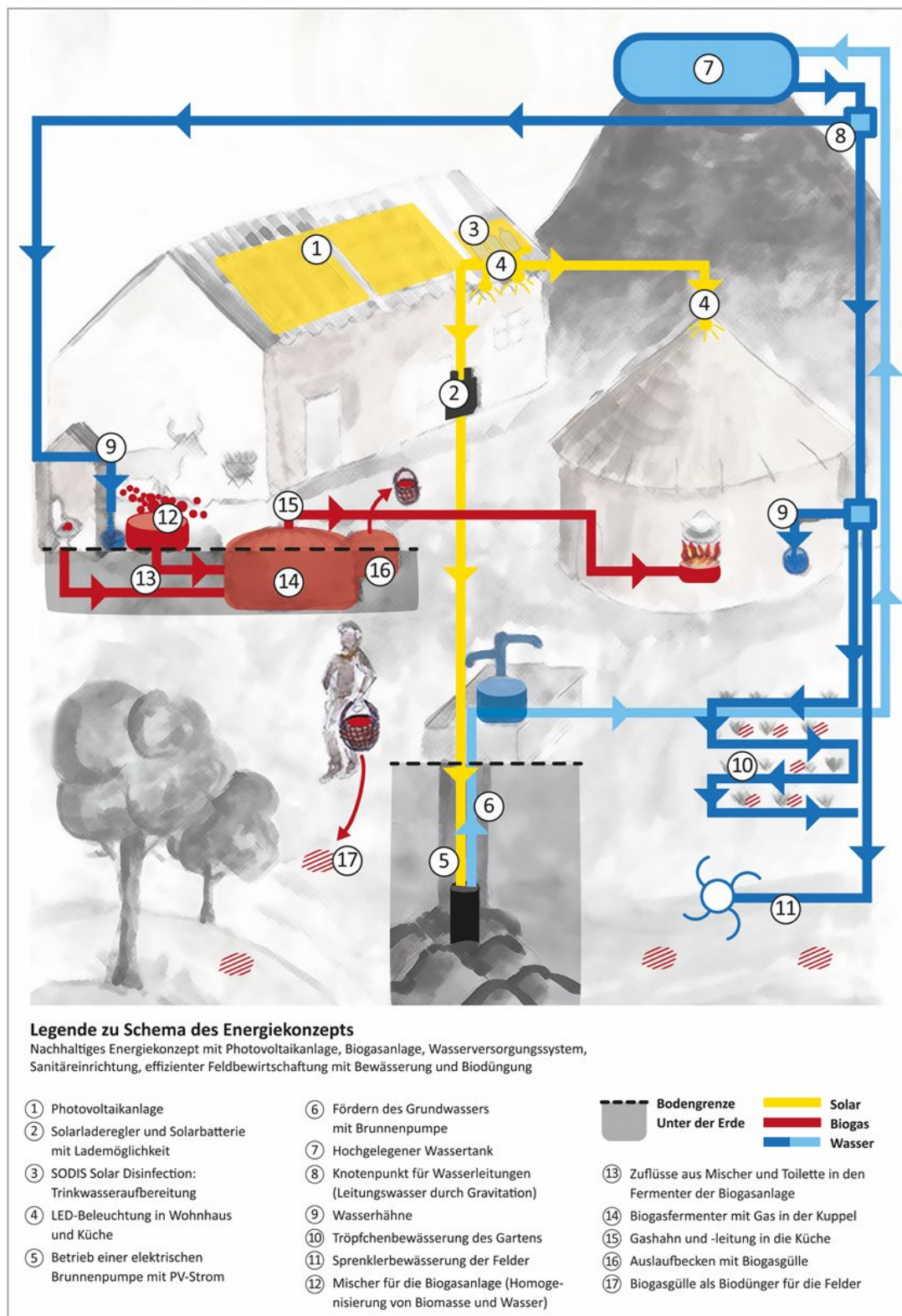


Abbildung 11 Schema des nachhaltigen Energiekonzepts mit Darstellung aller Energie- und Ressourcenkreisläufe (Quelle: Erstellt von Valerie Seitz, Monika Maier und Sonja Weis)

Auf die einzelnen Aspekte wird in den folgenden Abschnitten im Detail eingegangen. Hier folgt nun ein Überblick über die Auswahl der Technologien und deren Zusammenspiel in Energie- und Ressourcenkreisläufen. In Abbildung 11 ist grob zu unterscheiden zwischen den folgenden Teilaspekten des Energiekreislaufs: Biogas in rot, Wasser in blau, Elektrizität in gelb und Nahrung in grün.

Input in das System ist gegeben durch die Sonneneinstrahlung als erneuerbare Ressource. Diese Strahlungsenergie wird durch die Photovoltaik-Anlage auf dem Dach des Wohnhauses umgewandelt in elektrische Energie (siehe gelber Kreislauf), gespeichert und zur Verfügung gestellt über einen Laderegler und eine Batterie. Durch diese können in den Abendstunden Leuchten betrieben und elektrische Geräte wie Mobiltelefone geladen werden. Tagsüber bei Sonneneinstrahlung kann eine im Brunnenschacht installierte, elektrische Brunnenpumpe betrieben werden.

Der Brunnen stellt eine energetische Schnittstelle dar zwischen Elektrizität und Wasser (blauer Kreislauf). Das Grundwasser wird gepumpt in einen höher gelegenen Wassertank und die Strahlungsenergie ist nun umgewandelt und gespeichert in Potentialenergie. Von hier aus ist ein Wasserleitungssystem verlegt in das Wohnhaus, die Küche, den Gemüsegarten und die Felder. Mithilfe der Gravitation und Regelungstechnik kann nun jederzeit an allen erwähnten Stellen Wasser entnommen werden.

An einer dieser Stellen kann Wasser in transparente Flaschen gefüllt werden und auf das Wellblechdach zur solaren Desinfektion, also Wasseraufbereitung, gelegt werden. Der Gemüsegarten wird bei Öffnung der entsprechenden Leitung automatisch durch Tröpfchenbewässerung gewässert; ebenso die Getreide- und Kartoffelfelder über Sprenkleranlagen.

Der rote Biogaskreislauf: Mehrere Rinder und Kleinvieh werden auf dem Hof gehalten und werden u.a. von eben erwähnten Feldern mit chemischer Energie in Form von Ernteresten und Stroh ernährt. Deren Exkreme fließen aus dem Tierstall durch entsprechende Bodenschrägen durch eine Maueröffnung in die Güllegrube außerhalb des Stalls. Von dort wird die Gülle in den Mischer gehoben, mit Wasser homogenisiert und über eine unterirdische Leitung einem Biogasfermenter zugeführt. An die gleiche Leitung angeschlossen ist auch der Abfluss einer Latrine.

Zusammen mit jeglichen auf dem Hof entstehenden Bioabfällen sind also die tierischen und menschlichen Exkreme die Ressourcen, aus welchen im unterirdischen Biogasfermenter Biogas produziert wird. Von hier aus führt eine Gasleitung direkt in die Küche und betreibt dort einen oder mehrere Gaskocher zum weiteren Verarbeiten der vom Feld geernteten Lebensmittel. So wird die im Biogas gespeicherte chemische Energie umgewandelt in Wärmeenergie.

Die Rückstände der Biogasproduktion sammeln sich im mit dem Fermenter verbundenen Auslaufbecken und können dort manuell zur Düngung der Felder entnommen werden.

Die Felder (grün) wiederum bilden eine Schnittstelle aller Kreisläufe: die dort angebauten Pflanzen erhalten durch die solare Wasserpumpe (gelb) und die Potentialkraft eine optimale Wasserversorgung (blau) und eine optimale Nährstoffversorgung durch die Biogasgülle (rot). Mithilfe der Photosynthese können sie nun die zugeführte Energie umwandeln und speichern in Form von chemischer Energie als Glucose und Stärke. So dienen sie als Energiequelle, bzw. Nahrung für Mensch und Tier auf dem Hof.

Zusammengefasst entstehen also folgende Wandlungsprozesse und Energiekreisläufe:

→ Strahlungsenergie (Sonne) in elektrische Energie (Strom durch PV-Anlage), in potenzielle Energie (Wasser im Tank)

→ Strahlungsenergie (Sonne) in chemische Energie (Pflanzen), in chemische Energie (Tiere/Menschen und Exkremente), in chemische Energie (Biogas), in Wärmeenergie (Flamme zum Kochen) und chemische Energie (Biogasgülle).

Da bei allen Energieumwandlungsprozessen Wandlungsverluste entstehen, muss dem System immer wieder neue Energie in Form von Strahlungsenergie der Sonne zugeführt werden.

Alle Prozesse innerhalb des Systems aber sind nachhaltig und erneuerbar und erzeugen keine Abfälle, die nicht direkt als neue Ressourcen weiterverarbeitet werden können. Somit ist das Ziel der Nachhaltigkeit und der geschlossenen Kreisläufe erreichbar. Grenzen und Limitationen werden in den folgenden Abschnitten bei den jeweiligen Technologien aufgeführt.

Mit einem solchen Konzept werden alle unter 3.1 definierten Grundbedürfnisse der Bauern erfüllt:

→ Elektrizität für Beleuchtung, Handyladen, Betrieb einer Wasserpumpe,

→ eine Wasserversorgung mit fließendem Wasser, Trinkwasseraufbereitung und einem Bewässerungssystem,

→ biologische Düngung der Felder,

→ umweltfreundliches und nicht gesundheitsschädigendes Kochen und

→ hygienische Sanitäranlagen.

5.1.2 Photovoltaik

Im Folgenden wird es darum gehen, eine Photovoltaikanlage so zu planen und zu dimensionieren, so dass sie alle für das in Abschnitt 5.1.1 vorgestellte Energiekonzept notwendigen Zwecke erfüllt.

Wahl der Systemkonfiguration:

Es wird ein autarkes Energiesystem mit Stromspeicherung benötigt, da es eine zeitliche Diskrepanz zwischen der Energieerzeugung und Teilen des Energieverbrauchs gibt. So wird beispielsweise der Einsatz von Leuchtmitteln und das Laden und der Betrieb von elektronischen Geräten besonders in den Abend- und Nachtstunden benötigt, während die Wasserpumpe tagsüber direkt über den PV-Generator betrieben werden kann. Da alle notwendigen Anwendungen und Geräte mit Gleichstrom betrieben werden können, wird auf eine Konfiguration mit Wechselrichter verzichtet. Als Systemkonfiguration wird das DC-seitig gekoppelte Photovoltaik-Batteriesystem, bzw. Solar-Home-System (SHS) gewählt, da sich dieses weltweit als einfaches, autarkes System in Gebieten ohne Netzanbindung bewährt hat⁸⁰.

Die **Dimensionierung** des Systems erfolgt anhand der von Stadler beschriebenen Dimensionierungsregel für autarke PV-Versorgungssysteme: eine erneuerbare Überproduktion ist günstiger „als der überproportionale Einsatz von Energiespeichern“⁸¹. Für den vorliegenden Kontext lassen sich daraus folgende Aussagen herleiten:

- Der PV-Generator wird überdimensioniert, so dass er über das ganze Jahr hinweg ausreichend Strom produziert.
- Der Batteriespeicher wird so klein wie möglich ausgelegt, so dass lediglich die Ausfälle in der Nacht ausgeglichen werden.
- Auf eine hohe Versorgungssicherheit und somit den Ausgleich von Schlechtwetterperioden wird verzichtet, da ein Ausfall des Systems von wenigen Tagen in der Regenzeit tragbar ist und dem höheren Aufwand für einen größeren Energiespeicher entgegensteht (finanziell und bezüglich der Umweltauswirkungen bzw. Nachhaltigkeit).

Um eine qualitative Dimensionierung des Systems durchführen zu können, werden im Folgenden der Energiebedarf und die solare Einstrahlung auf einem Hof in den Choke-Bergen bestimmt, um dann die nötige Größe der PV-Anlage und anschließend des Batteriespeichers berechnen zu können.

⁸⁰Stadler, 2020, Seite 12.

⁸¹Stadler, 2020, Seite 32.

Bestimmung des täglichen Energiebedarfs

In Tabelle 2 wird die pro Tag benötigte Leistung berechnet aus der Leistungsaufnahme und der Betriebsdauer der jeweiligen Stromanwendungen. Die Auswahl der verschiedenen Anwendungen basiert auf den in Kapitel 3.1 definierten, zu erfüllenden Grundbedürfnisse der Bauern: Beleuchtung, Laden von elektronischen Geräten, Wasserpumpe und Trinkwasseraufbereitung. Aus Tabelle 1 kann die benötigte Leistung pro Tag entnommen werden: $E_{el,d} = 336$ Wh. B

Tabelle 2 Bestimmung des täglichen Energiebedarfs für einen Bauernhof - Dimensionierung PV-Anlage

Stromanwendung	Leistung [in Watt]	Betriebsdauer [in Stunden pro Tag]	Täglicher Energiebedarf [in Wh]	Täglicher Energiebedarf 12-Volt-System [in Ah]
4 LED-Leuchten	4 Stück x 5	5	100	8,3
Wasserpumpe für die Feldbewässerung	280	0,5	140	11,7
Handy laden (3 Geräte pro Hof)	3 Stück x 3	4	36	3
Wasseraufbereitung (Trinkwasser mit Steri Pen)			10	0,8
Puffer für andere, kleine Anwendungen	10	5	50	4,2
Gesamt			336	28

Bestimmung der solaren Einstrahlung am Standort Thame

Da der PV-Generator so dimensioniert werden soll, dass er auch bei der im Jahr geringst möglichen Einstrahlung noch die nötige Energie produziert, ist die solare Einstrahlung des Monats mit der kleinsten Anzahl an Sonnenstunden gesucht: $G_{m,min}$. Dafür wird exemplarisch das Dorf Thame ausgewählt als zu untersuchender Standort, da auch der in Kapitel 5 dargestellte Bauernhof in direkter Nähe zu diesem Dorf liegt.

Mithilfe der Software des globalen Strahlungsatlas auf globalsolaratlas.info können alle notwendigen Daten für diesen Standort erzeugt werden.

In folgender Abbildung 12 ist die solare Einstrahlung in Thame über den Jahresverlauf zu sehen. Es ist erkennbar, dass der Monat mit der geringsten Einstrahlung der August ist, mit einer durchschnittlichen Einstrahlung von $G_{m,min} = 1437 \text{ Wh/m}^2$ pro Tag.

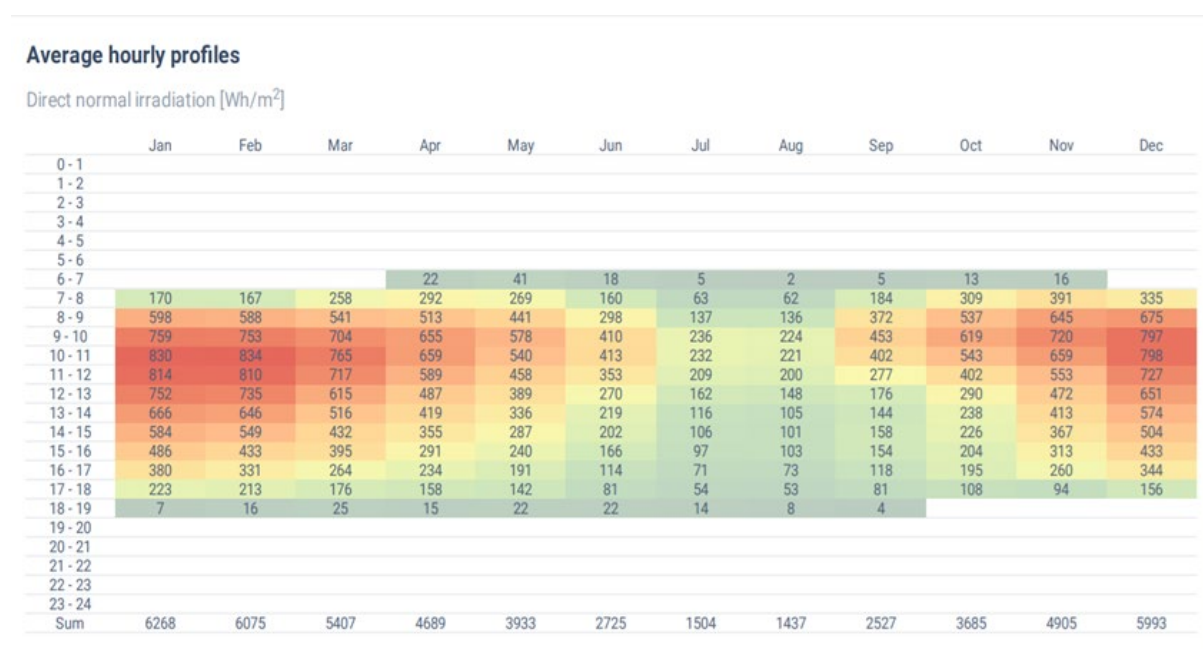


Abbildung 12 Solare Einstrahlung am Standort Tiame über den Jahresverlauf (Quelle: globalsolaratlas.info, Details siehe Anhang 7)

Berechnung der Größe des Photovoltaik-Generators

Zur Berechnung wird nun noch die Performance Ratio PR benötigt, welche das Verhältnis von tatsächlich erzeugter Energie zum theoretischen Stromerzeugungspotential am Standort beschreibt⁸². Typische Werte von autarken PV-Batterie-Systemen liegen hierfür zwischen 0,1 und 0,4.⁸³

Für vorliegenden Kontext wird ein Wert von **PR = 0,3** angenommen.

⁸²Stadler, 2020, Seite 23.

⁸³Stadler, 2020, Seite 25.

Die Einstrahlung unter Standard-Testbedingungen ist $I_{STC} = 1000 \text{ W/m}^2$.

Damit kann die Nennleistung des PV-Generators berechnet werden. Mit folgender Formel $P_{nom} = E_{el,d} * I_{STC} / (G_{m,min} * PR)$ ergibt sich eine Leistung von $P_{nom} = 780 \text{ W}$.

Allerdings ist zu bedenken, dass eine Bewässerung der Felder in der Regenzeit, welche die Zeit der geringsten solaren Einstrahlung ist, nicht nötig ist. Es ist davon auszugehen, dass dies die Ergebnisse erheblich beeinflusst, da die Wasserpumpe den Hauptenergieverbraucher darstellt.

Es sollte also unterschieden werden zwischen den Anforderungen an das System in der Trockenzeit und in der Regenzeit und mithilfe dieser Daten über die Dimensionierung entschieden werden.

In der **Trockenzeit** von Oktober bis April/Mai kann von einer minimalen solaren Einstrahlung von $G_{m,min} = 4000 \text{ Wh/m}^2$ ausgegangen werden (siehe Abbildung 12). In dieser Zeit wird die Wasserpumpe benötigt. Die pro Tag benötigte Leistung beträgt also, wie oben berechnet, $E_{el,d} = 336 \text{ Wh}$. Die Nennleistung des PV-Generators in der Trockenzeit muss also **$P_{nom} = 280 \text{ W}$** aufweisen.

In der **Regenzeit** von Mai bis September beträgt die minimale solare Einstrahlung im August $G_{m,min} = 1437 \text{ Wh/m}^2$. In dieser Zeit wird die Wasserpumpe nicht betrieben, da durch den Regen die Felder ausreichend bewässert werden. Der häusliche Wasserbedarf für Waschen und Trinkwasser ist verhältnismässig gering und kann bei der Dimensionierung der PV-Anlage vernachlässigt werden. Die benötigte Leistung verringert sich also auf $E_{el,d} = 196 \text{ Wh}$. Die Leistung des PV-Generators muss also **$P_{nom} = 455 \text{ W}$** betragen.

Berechnung der Größe des Energiespeichers

Die Berechnung der Auslegung des Energiespeichers erfolgt mit folgender Formel:
 $E_{bat} = E_{el,d} * d_{aut} / (DOD * 0.8)$

Für $E_{el,d}$ wird hierbei der geringere Wert von 196 Wattstunden gewählt, da der Betrieb der Wasserpumpe während Sonnenstunden tagsüber stattfinden kann. Eine Speicherung von Energie für die Wasserpumpe ist daher nicht nötig. Die oben unterschiedlichen Berechnungsmodelle bezüglich Regenzeit und Trockenzeit haben hier also keine weitere Relevanz.

Die Versorgungssicherheit wird in d_{aut} widergespiegelt, der Anzahl der autonomen Tage (Tage mit Energieversorgung nur aus der Batterie ohne Sonnenstunden).

Es wird daher $d_{\text{aut}} = 1$ gewählt, was 24 Stunden entspricht, und somit nur die Tag- und Nachtschwankungen ausgleicht. DOD steht für „Depth Of Discharge“, die Entladetiefe. Hierfür wird ein typischer Wert von $\text{DOD} = 0,7$ gewählt.

Zusätzlich wird durch den Faktor „0,8“ dividiert, da die Kapazität einer Batterie über die Lebensdauer hinweg um 0,2 abnimmt.⁸⁴

Somit ergibt sich ein Wert von **$E_{\text{bat}} = 350$ Wattstunden oder gerundet 30 Amperestunden** bei einer 12-Volt-Batterie.

Zusammenfassung Dimensionierung

Eine Zusammenfassung der verschiedenen Berechnungsmodelle und deren Ergebnissen ist folgender Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 3 Zusammenfassung: verschiedene Berechnungsmodelle zur Dimensionierung der PV-Anlage für einen Bauernhof

Berechnungsmodell	Minimale solare Einstrahlung $G_{\text{m,min}}$ [in Wh/m²]	Benötigte Leistung pro Tag $E_{\text{el,d}}$ [in Wh]	Leistung des PV-Generators P_{nom} [in W]	Energiespeicherbedarf E_{bat} [in Wh und Ah]
Standard (Ganzjahresmodell)	1437	336	780	350Wh oder 30 Ah
Regenzeit (ohne Wasserpumpe)	1437	196	455	350Wh oder 30 Ah
Trockenzeit	4000	336	280	350Wh oder 30 Ah

Aus Tabelle 3 wird ersichtlich, dass unter Einbeziehung der Unterschiede zwischen Regenzeit und Trockenzeit der PV-Generator im Vergleich zum Standardmodell um über ein Drittel verkleinert werden kann. Statt eines PV-Generators mit 780 Watt reicht es aus, wenn die Photovoltaikzellen eine Leistung von 455 Watt aufweisen.

⁸⁴Stadler, 2020, Seite 34.

Aufgrund der Standardgrößen der erhältlichen Solarpaneele von jeweils 50 W / 100W / 150W wird die Größe des PV-Generators auf $P_{\text{nom}} = 450 \text{ W}$ festgelegt. Die Batterie als Energiespeicher muss eine minimale **Kapazität von 350 Wattstunden** (entspricht 30 Amperestunden bei 12 Volt) aufweisen. Zusätzlich wird zum Schutz der Batterie ein passender Laderegler, welcher einen Tiefentladeschutz und Überspannungsschutz integriert hat, und Elektrokabel benötigt.

Validierung der Ergebnisse bzw. alternative Dimensionierung

Zur Überprüfung oben durchgeführter Dimensionierung wurden die Daten aus Tabelle 1 zum täglichen Energiebedarf Expert*innen der Solarfirma Solar Development P.L.C. in Addis Ababa, Äthiopien, geschickt. Mithilfe dieser Daten führten Huda Zuber und Aklil Asegid eine weitere Dimensionierung nach Standardansprüchen ohne Unterscheidung zwischen Regen- und Trockenzeit durch.

Das Ergebnis ist eine PV-Anlage mit Solarpaneelen mit 150 Watt Leistung, einer 150 Ah Batterie (12 V), einem 15 A Laderegler,⁸⁵ und einem 500 W Inverter⁸⁶.

Ein Vergleich mit obiger Dimensionierung (500 Watt Modul und 30 Ah Batterie) ergibt, dass eine solche Anlage ein um etwa 70 % kleineres PV-Modul hätte, während die Batterie um etwa 80 % größer wäre. Nach eingangs genannter Dimensionierungsregel von Stadler nach der eine erneuerbare Überproduktion „günstiger ist als der überproportionale Einsatz von Energiespeichern“, wäre eine solche PV-Anlage kostenintensiver als nach obiger Auslegung und ist daher nicht zu bevorzugen. Auch kann davon ausgegangen werden, dass bei Durchführung dieser Dimensionierung nicht auf die genauen Einstrahlungswerte am Standort zurückgegriffen wurde, sondern auf durchschnittliche Werte in Äthiopien, was die Ergebnisse verfälscht.

Integration der PV-Anlage in den Bauernhof

Details zu Anordnung und Integration in das Gesamtkonzept auf dem Bauernhof und Schnittstellen mit anderen Aspekten des Konzepts sind in Kapitel 5.1.1 beschrieben und in Abbildung 11 (oben) dargestellt.

Der PV-Generator wird auf dem Wellblechdach des Haupthauses montiert. Die verschiedenen Paneele werden parallel zu einem 12-Volt-System verschaltet. Von dort führen die Leitungen in den Wohnraum und in einen 12-Volt-Solarladeregler. Die 30 Amperestunden fassende 12-Volt-Batterie wird über Plus- und Minuspol an die entsprechenden Ausgänge des Ladereglers

⁸⁵Schriftliche Mitteilung Aklil Asegid, siehe Anhang 8

⁸⁶Schriftliche Mitteilung Aklil Asegid im E-Mail-Austausch am 24.06.2021.

angeschlossen. Dieser reguliert die von den PV-Paneelen zur Verfügung gestellte Spannung und die Entladung der Batterie und bietet so einen Überspannungs- und Tiefentladeschutz. Am Lastausgang des Ladereglers gibt es Elektroinstallationen, welche USB-Ausgänge (auf 12-Volt-Basis) schaffen und so Mobiltelefone etc. laden können. Vom Laderegler wird die Elektrizität über entsprechende Stromkabel verteilt an alle Orte, an denen Beleuchtung erwünscht ist: im Wohnraum, im Lager, eventuell im Tierstall und über eine Außenleitung in die Küche. Dort werden jeweils 5 Watt LED-Leuchten angeschlossen.

Eine weitere Außenleitung führt vom Laderegler über eine Öffnung im Brunnendeckel, durch den Brunnenschacht in die elektrische Brunnenpumpe. Diese sollte allerdings tagsüber bei Sonneneinstrahlung betrieben werden, da die Batterie für einen Betrieb nicht ausreicht, sondern der Strom direkt über die PV-Paneele bezogen werden muss. Dies stellt die Schnittstelle zum Wasserversorgungssystem dar und ist in Kapitel 5.1.4 beschrieben.

5.1.3 Biogas und Sanitär

Für die Auslegung bzw. Dimensionierung der Anlage wird unter anderem auf den Leitfaden der Internationalen Agentur für Erneuerbare Energien (Englisch: International Renewable Energy Agency, im Folgenden IRENA abgekürzt) zurückgegriffen, in welchem es um die Kapazität und Produktion von Mikro-Biogasanlagen geht. Wie unter 3.5 erwähnt, führen die lokalen Regierungsbehörden in Feres Bet unter dem Schirm des äthiopischen Ministeriums für Landwirtschaft (MOA) in Kooperation mit der niederländischen Organisation SNV schon seit mehreren Jahren Projekte mit Bezug auf Mikro-Biogasanlagen auf Bauernhöfen durch. In einem Telefonat am 15. Juni 2021 teilte der zuständige Beamte Asaye Girma gesammelte Erfahrungen und Ausschnitte aus dem Projektdatenblatt (siehe Abbildung 13, Details siehe Anhang 3) wurden via E-Mail versandt. Auch diese Informationen fließen in folgenden Betrachtungen mit ein. Die Auslegung der Biogasanlage soll nach folgendem Dimensionierungsgrundsatz erfolgen: Die Biogasanlage soll groß genug sein, um möglichst alle auf einem Hof anfallenden Edukte verwerten zu können und um genug Biogas für das ausschließliche Kochen mit Gas zu produzieren. Eine Überproduktion ist aber zu vermeiden, da bei zu geringer täglicher Gasentnahme Sicherheitsbedenken bestehen⁸⁷. Nach der Vorstellung der verschiedenen Typen von Mikro-Biogasanlagen und deren Vor- und Nachteilen in Kapitel 3.5 soll in diesem Energiekonzept eine Anlage nach dem Fixed Dome Model verwendet werden. Innerhalb dieser Art wird noch unterschieden in verschiedene Bauweisen der Wölbung des Fermenters: halbkugelförmige Designs, das sogenannte Deenbandhu Design oder das chinesische Design⁸⁸.

⁸⁷IRENA, 2016, Seite 13.

⁸⁸IRENA, 2016, Seite 9.

Das Design der folgenden Anlage soll dem der von der Regierung gebauten Anlagen entsprechen, da sich diese nach Auskunft von Asaye Girma im Projektgebiet am besten bewährt haben.

Dementsprechend hat der Fermenter der Anlage eine zylindrische Basis und eine halbkugelförmige Kuppel. In Abbildung 13 ist das Design einer solchen abgewandelten, hemispherischen Fixed Dome Anlage zu erkennen mit einem Mischer und einer Zuleitung links, dem halbkugelförmigen Fermenter mit Gasausgang auf der Kuppelspitze mittig und dem Auslaufbecken rechts.

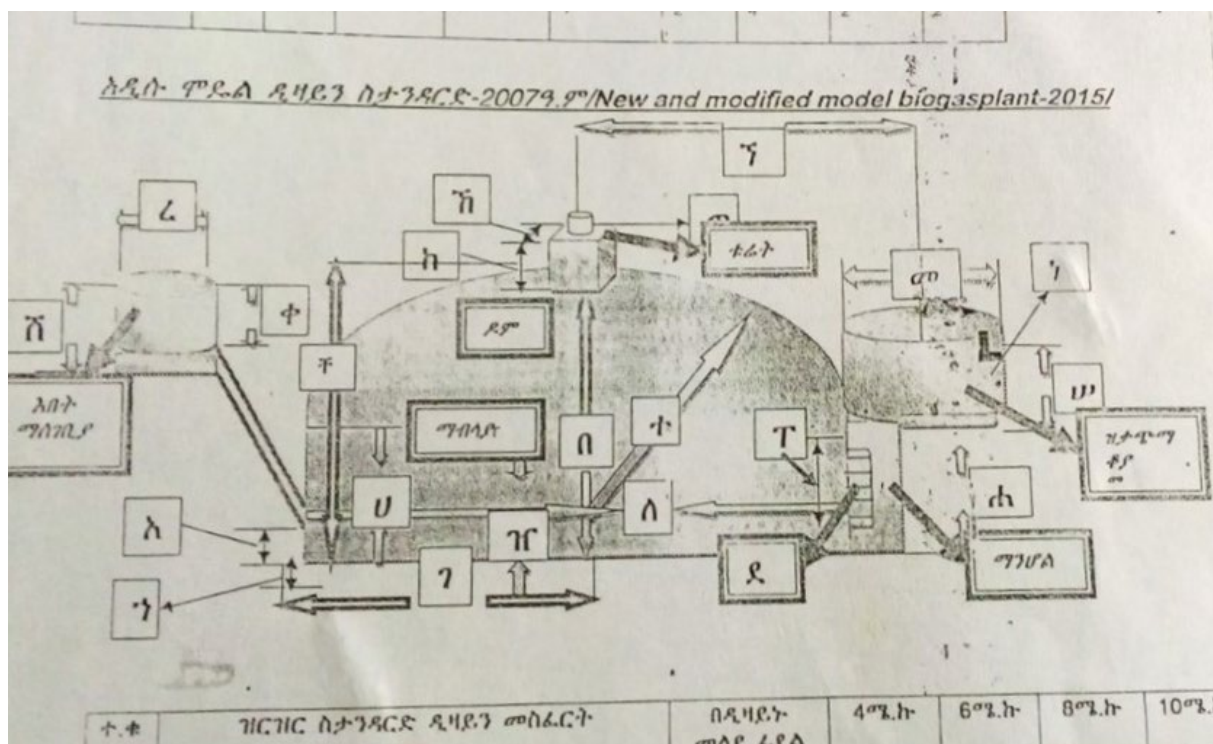


Abbildung 13 Design und Maße einer Biogasanlage von lokalen Behörden gebauten Anlagen
(Quelle: Siehe Anhang 3)

Die wichtigsten Parameter für die Kapazität und Produktion einer solchen Anlage sind folgende:

Die *Menge des Ausgangsmaterials* ist die durchschnittliche Menge an Biomasse (bestehend aus Exkrementen etc. und Wasser), die der Anlage täglich zugeführt wird. Die wichtigsten Größen zur Bestimmung der *Eigenschaften des Ausgangsmaterials* sind der Gehalt an Feststoffen in der zugeführten Biomasse insgesamt und der Gehalt an instabilen Feststoffen. Die Menge der instabilen Feststoffe ist von Bedeutung, da diese im Fermenter reagieren zu Biogas. Die *Verweildauer des Ausgangsmaterials* beschreibt, wie lange das zugeführte Material im Fermenter verbleibt bis es in das Auslaufbecken gelangt. Die *Anlagenkapazität* beschreibt die maximal mögliche Füllmenge an Biomasse und Biogas im Fermenter.

Die letzte wichtige Größe ist die *Temperatur*, die im Fermenter herrscht und entscheidend die Vergärungsprozesse beeinflusst⁸⁹.

Berechnung der Gasproduktion:

Im Folgenden wird nun die mögliche Gasproduktion und die dafür nötige Anlagengröße berechnet auf Basis von Datensätzen zum vorhandenen Ausgangsmaterial. Aus Tabelle 3 sind Daten zur Menge und den Eigenschaften des Ausgangsmaterials zu entnehmen. Die Daten zur durchschnittlichen Anzahl der Tiere auf einem Bauernhof entspringen Feldstudien auf den Bauernhöfen im Projektgebiet. Die Quellen für die Datensätze in Spalte drei und vier sind unter der Tabelle angegeben. Die Ergebnisse in Spalte fünf und sechs entstehen durch entsprechende Berechnungen.

In Tabelle 4 sieht man, dass die durchschnittliche Gesamtmenge an Feststoffen in einem Bauernhaushalt 75 kg pro Tag entspricht. Dies darf gleichgesetzt werden mit 75 Liter Volumen⁹⁰.

Diese werden mit einer ratio von 1:1 mit Wasser homogenisiert. So entsteht eine Gesamtmenge an Ausgangsmaterial von 150 Liter pro Tag, also **M = 0.15 m³/Tag**.

⁸⁹IRENA, 2016, Seite 5.

⁹⁰IRENA, 2016, Seite 16.

Tabelle 4 Menge und Eigenschaften des Ausgangsmaterials für Biogas in einem durchschnittlichen Bauernhaushalt (Quellen für Spalte 3 und 4: Kudravalli (2014); Fulford (2015); Lorimor et al. (2004); SEAI (2012))

Art (Tier)	Anzahl Tiere	Feststoffproduktion gesamt [kg/Tag und Tier]	Instabile Feststoffe [kg/Tag und Tier]	Gesamtmenge = Anzahl Tiere * Feststoffproduktion [kg/Tag]	Gesamtmenge instabile Feststoffe = Instabile Feststoffe * Anzahl Tiere [kg/Tag]
Kuh	5	10	1,42	50	7,1
Schaf	8	2	0,44	4	3,52
Pferd	2	10	2,24	20	4,48
Mensch	5	0,2	0,03	1	0,15
Gesamt	x	x	x	75	15,25

Es wird eine typische, durchschnittliche Verweildauer von **R= 40 Tagen** gewählt⁹¹. Mit $V = R \cdot M = 40 \text{ Tage} \cdot 0,15 \text{ m}^3/\text{Tag} = 6 \text{ m}^3$ kann das Fermentervolumen **V = 6 m³** berechnet werden.

Mit der Gesamtmenge an instabilen Feststoffen pro Tag von $s = 15,25 \text{ kg} / \text{Tag}$ (siehe Tabelle 3) wird nun die Eingangskonzentration von instabilen Feststoffen S berechnet: $S = s / M = (15,25 \text{ kg/Tag}) / 0,15 \text{ m}^3/\text{Tag} = \mathbf{101,67 \text{ kg/m}^3}$.

Als letzte Größe wird der Yield Faktor benötigt, welcher sich aus der Verweildauer, der Temperatur und einer Gaskonstanten zusammensetzt. In einer Tabelle im Leitfaden von IRENA kann man mit der Temperatur und der Verweildauer den richtigen Yield Faktor Y bestimmen. In diesem Fall ist **Y = 4,86**.

Damit sind alle Größen gegeben, um die Gasproduktion G und die Biogasenergie E nach den Formeln von IRENA berechnen zu können⁹²:

$$G = Y \cdot V \cdot S / 1000 = 4,86 \cdot 6 \text{ m}^3 \cdot 101,67 \text{ kg/m}^3 / 1000 = \mathbf{2,96 \text{ m}^3}$$

$$E = G \cdot 8060 = 23\,858 \text{ MJ} / \text{Jahr}$$

⁹¹IRENA, 2016, Seite 17.

⁹²IRENA, 2016, Seite 16.

Validierung der Ergebnisse durch Vergleich:

Das National Domestic Biogas and Manure Programme NDBMP hat in Bangladesh Analysen durchgeführt zur durchschnittlichen Biogasproduktion je nach Anlagenkapazität.

Demnach produziert eine Anlage mit 6 m³ großem Fermenter im Schnitt 2,5 m³ Gas pro Tag⁹³. Dieses Ergebnis entspricht der Größenordnung von oben dimensionierter Anlage mit knapp 3 m³ Gas pro Tag.

Ergebnisauswertung und Zusammenfassung:

Ein Biogasbrenner zum Kochen benötigt im Schnitt 0,5 m³ Gas pro Stunde⁹⁴. Mit oben ausgelegter Biogasanlage kann eine Bauernfamilie also bei einer Produktion von fast 3 m³ Gas pro Tag bis zu **sechs Stunden am Tag** mit einer Platte oder drei Stunden mit zwei Gasbrennern kochen.

Das entspricht etwa dem täglichen Energiebedarf in der Küche. Es ist also davon auszugehen, dass mit dieser Biogasanlage alle Holzkochöfen und offenen Feuerstellen vollständig ersetzt werden können.

Um 1 kg Feuerholz zu ersetzen, werden etwa 0,25 m³ Gas benötigt werden. Dabei ist schon berücksichtigt, dass die Biogasbrenner weitaus effizienter sind als Holzöfen oder offene Feuerstellen⁹⁵.

Eine Produktion von 3 Kubikmeter Gas am Tag erlaubt also eine Einsparung von 12 kg Feuerholz. Bei 1,7 kg CO₂ Emission pro Kilogramm Feuerholz ist das eine CO₂ Reduktion von über 20 kg CO₂ pro Tag.

Zudem entstehen täglich 0.15 m³ Biodünger, was der Menge an der Anlage täglich zugeführtem Ausgangsmaterial entspricht. In Tabelle 5 ist eine Zusammenfassung dieser Ergebnisse dargestellt.

⁹³NDBMP, 2013.

⁹⁴IRENA, 2016, Seite 14, Tabelle 4.

⁹⁵IRENA, 2016, Seite 18.

Tabelle 5 Ergebnispräsentation und Analyse der Biogasanlage

Ergebnis	Wert
Anlagenkapazität	6 m ³
Biogasproduktion	2,96 m ³ pro Tag
Biogasenergie	23 858 MJ im Jahr
Biodüngerproduktion	0.15 m ³ pro Tag
Feuerholzeinsparung	-12 kg
CO ₂ -Reduktion	-20 kg

Integration der Biogasanlage in den Bauernhof

Details zum genauen Bauort der Anlage auf dem Bauernhof und der Integration in das gesamte Energiekonzept sind in Abbildung 11 zu sehen und in Kapitel 5.1.1 beschrieben. Der Mischer der Anlage soll in der Nähe der Güllegrube positioniert sein, um eine Befüllung mit Gülle und Mischung mit Wasser im Verhältnis 1:1 möglichst leicht zu gestalten. Auch Erntereste und Bioabfälle aus der Küche können über den Mischer der Biogasanlage zugeführt werden. In direkter Nähe wird ein Toilettenhaus errichtet, in welchem sich eine betonierte Fallrohrtoilette befindet. Zur Hygiene im Sanitärbereich und für einen einfachen Wasserzugang für das Mischen der Gülle befindet sich hier außerdem ein Wasserhahn des Wasserversorgungssystems. Sowohl von der Toilette als auch aus dem Mischer gehen schräge Abflussleitungen ins Erdreich in den unteren Teil des im Erdboden vergrabenen Fermenters. Hier sammeln sich alle Ausgangsmaterialien und die aktiven Methanbakterien bilden Biogas, das sich in der Kuppel des Fermenters ansammelt. Am obersten Punkt der Kuppel befindet sich ein Gashahn und von dort führt eine Gasleitung in die Küche, wo sie an einen oder zwei Gasbrenner angeschlossen wird. Auf der anderen Seite des Fermenters befindet sich das Auslaufbecken. Durch eine durchlässige Membran im unteren Teil des Auslaufbeckens drückt es bei jeder neuen Befüllung schon verwertete Biogasgülle nach oben in das Becken. Für eine optimale Verwertung der Biogasgülle sollte diese nun noch einige Wochen kompostieren, bevor sie als Biodünger auf die Felder und im Gemüsegarten ausgebracht wird⁹⁶. Daher befinden sich neben dem Becken noch zwei Erdgruben, in denen eine Kompostierung der Biogasgülle stattfinden kann.

⁹⁶Persönliche Mitteilung Asaye Girma von der lokalen Landwirtschaftsbehörde.

5.1.4 Wasserversorgung

In folgenden Ausführungen wird nach Lösungen gesucht, wie mithilfe von bestehenden Brunnen ein Wasserleitungssystem so aufgebaut werden kann, dass es sowohl fließend Wasser in einem Haushalt zur Verfügung stellt als auch eine effiziente Feldbewässerung zulässt.

Das folgende System beruht auf eigenen Erfahrungen im Projektgebiet und dem Bau eines Wasserleitungssystems für die Mulu Eco Lodge. Kernstück ist eine elektrische Brunnenpumpe, welche das Brunnenwasser in ein höheres Reservoir pumpt, von wo aus ein Wasserleitungssystem verlegt wird. Das elektrische Pumpen des Brunnenwassers geschieht tagsüber bei Sonneneinstrahlung durch die direkte Nutzung der PV-Paneele ohne Zwischenspeicherung in einem chemischen Stromspeicher. Da aber eine Bewässerung von Feldern und Gärten nicht bei direkter Sonneneinstrahlung erfolgen soll, wird die elektrische Energie durch das Pumpen in ein höheres Reservoir in potentielle Energie umgewandelt und kann so kostengünstig gespeichert werden für eine optimale Bewässerung in den Abendstunden. Zusätzlich wird so Leitungswasser für die Arbeiten auf dem Bauernhof zur Verfügung gestellt.

Bei einem eventuellen Ausfall der elektrischen Wasserpumpe oder während Wartungsarbeiten besteht durch die auf dem Brunnen angebrachte Handpumpe weiterhin Zugang zum Grundwasser. Die Auswahl der Wasserpumpe und weiterer Installationen erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Solar Development PLC. Als führendes Unternehmen im Bereich Solartechnik in Addis Abeba werden dort immer wieder Marktrecherchen durchgeführt, um die neuesten und für Äthiopien praktikablen Lösungen anbieten zu können. Die größten Limitierungen sind die vom äthiopischen Staat stark regulierten Importmöglichkeiten und hohen Importzölle auf viele Produkte je nach Herkunftsland. Auf diesen Limitierungen basiert auch die Auswahl der Wasserpumpe und Bewässerungsinstallationen⁹⁷. Das Unternehmen importiert großteils Produkte der Firma SunCulture. Diese ist spezialisiert auf Lösungen für Solarwasserpumpen und Solarbewässerungssysteme, besonders die hoch effiziente Tröpfchenbewässerung⁹⁸. Für die Auswahl eines passenden Systems müssen zuerst die Anforderungen an die Wasserpumpe definiert werden, die sich aus der Anwendung auf einem Bauernhof ergeben. Die wichtigsten Parameter bei der Auswahl einer Wasserpumpe sind die Förderhöhe in Meter, die Leistungsaufnahme in Watt, die maximale Korngröße in Millimeter (maximale der Größe der Schmutzpartikel im Wasser) und die maximale Fördermenge in Liter pro Stunde.

⁹⁷ Persönliche Mitteilung Nabil Ishak, Geschäftsführer von Solar Development.

⁹⁸ SunCulture, o.D.

Bestimmung des nötigen Förderhöhe, bzw. Pumpleistung

Ab einer Brunnentiefe von maximal 20 Meter stößt man bei einem Großteil der Bauernhöfe im Projektgebiet auf Grundwasser⁹⁹. Grundsätzlich gilt, dass je 10 Meter Höhenunterschied der Wasserdruck um 1 bar zunimmt¹⁰⁰.

Für einen optimalen Wasserdruck im Versorgungssystem, welcher auch eine effiziente Bewässerung zulässt, werden etwa 1-2 bar benötigt. Das ergibt eine Mindestpumpleistung der Wasserpumpe von 30-40 Meter, bzw. 3-4 bar.

Weitere Anforderungen

Die Pumpe sollte eine möglichst geringe Leistungsaufnahme haben, da die zur Verfügung gestellte Elektrizität von der Größe der Photovoltaikanlage limitiert wird und eine hohe Leistungsaufnahme der Wasserpumpe somit bei der Anschaffung der PV-Anlage höhere Kosten verursachen würde. Aus diesem Grund wurden Brunnenpumpen entwickelt, die auf den Solarbetrieb ausgelegt sind. Um die Auswahl der Wasserpumpe passend zu oben dimensioniertem PV-System zu treffen, sollte die Leistungsaufnahme 280 Watt nicht überschreiten (siehe Tabelle 1 in Kapitel 5.1.2).

Limitierungen aufgrund der maximalen Korngröße gibt es im Projektgebiet kaum, da die Böden im Projektgebiet felsig sind und somit das Grundwasser in 20 Meter Tiefe gut gefiltert ist und das Brunnenwasser kaum Schmutzpartikel enthält¹⁰¹. Ebenso verhält es sich mit der maximalen Fördermenge in Liter pro Stunde: diese Kenngröße ist für die Anwendung im Projektgebiet nicht entscheidend, da alle auf dem Markt handelsüblichen Brunnenpumpen eine für die Anforderungen auf den Bauernhöfen ausreichende Fördermenge erreichen.

Auswahl der Wasserpumpe

Für die Auswahl entscheidend ist also die möglichst geringe Leistungsaufnahme von maximal 280 Watt und Förderhöhe von mindestens 40 Meter. Gemeinsam mit Experten von Solar Development wurde mithilfe der nun definierten Anforderungen aus der Produktpalette von SunCulture das passende System ausgewählt.

⁹⁹ Persönliche Mitteilung Metadel Asaye, Pionierbauer und Brunnenbauexperte.

¹⁰⁰ RWW, o.D., Seite 2.

¹⁰¹ Persönliche Mitteilung Metadel Asaye, Pionierbauer und Brunnenbauexperte.

Die Rainmaker 2S aus Abbildung 14 ist eine hoch-effiziente Solarwasserpumpe, die entsprechend den speziellen Anforderungen von netzunabhängigen Haushalten unter anderem in Afrika entwickelt wurde. Diese Verdrängerpumpe hat eine maximale Förderhöhe von 70 Meter und eine maximale Fördermenge von 1.2 m³/h bei einer Leistungsaufnahme von 150 Watt¹⁰². Somit erfüllt sie alle Anforderungen und ist über Solar Development in Addis Abeba erhältlich.



Abbildung 14 Solare Brunnenpumpe Rainmaker 2S von SunCulture (Quelle: siehe Anhang 4)

Integration in den Bauernhof

Für die Umsetzung des Wasserversorgungssystems soll das Wasser aus dem bestehenden Brunnen mithilfe der elektrischen Solarwasserpumpe in ein höheres Reservoir von etwa 1000 l Volumen gepumpt werden. Das Reservoir kann je nach Situation auf einem nahen Hügel oder Berghang stehen oder es muss ein stabiler Hochstand gebaut werden.

Von dem Reservoir aus wird ein Leitungssystem verlegt an alle wichtigen Stellen im Haushalt (Küche, Wohnraum) und auf dem Hof (Toilette, Mischer der Biogasanlage) und einer weiteren Leitung, die durch die zu bewässernden Felder verläuft. Bei letzterer ist es von Vorteil, wenn Gemüseärten und Getreidefelder unterschiedlich angesteuert werden, da sich die Bewässerungsansprüche beider unterscheiden. Für den Gemüsearten wird die Bewässerung umgesetzt mit einer punktuellen und hocheffizienten Tröpfchenbewässerung mithilfe von Wasserleitungen, die entlang der Reihen des gepflanzten Gemüses verlaufen, während die Felder durch Sprenkleranlagen großflächig bewässert werden können.

¹⁰²Siehe Anhang 5.

5.1.5 Migration der Lösung

Im Folgenden wird beschrieben, wie eine konkrete Umsetzung des nachhaltigen Energiekonzepts in einem Bauernhaushalt aussehen kann, welche Produkte verwendet werden können und mit welchen Partnern eine Kooperation möglich und sinnvoll ist.

Zusammenfassung der technischen Details

Dafür werden nun noch einmal alle technischen Details der in Kapitel 5.1 erarbeiteten Lösungen zusammengefasst:

Eine Photovoltaikanlage mit einer PV-Leistung von etwa 450 Watt speist über einen Solarladeregler eine Batterie von etwa 350 Wattstunden. 12-Volt-USB-Ausgänge des Ladereglers dienen zum Laden von kleinen Verbrauchern, wie Mobiltelefonen, und zum abendlichen Betrieb von LED-Beleuchtung. Ein 24-Volt-Ausgang betreibt die elektrische Solarbrunnenpumpe Rainmaker 2S mit 150 Watt Leistungsaufnahme. Diese pumpt das Wasser über eine Förderhöhe von etwa 40 Meter in einen höher gelegenen Wassertank, von dem aus ein Leitungssystem mit 2 bar Leitungsdruck für Leitungswasser an wichtigen Stellen im Hof und zur Feldbewässerung verlegt ist. Eine optimale Bewässerung ist gewährleistet durch Tröpfchenbewässerung im Garten, Sprenkleranlagen auf den Feldern und deren Betrieb in den Abendstunden.

Eine Biogasanlage mit 6 m³ Kapazität verwertet anfallende Abfälle und Exkreme zu Biogas und Biogasgülle. Eine hygienische Sanitäranlage entsteht durch die sofortige und sichere Entsorgung der menschlichen Exkreme in den Biogasfermenter und dem Zugang zu fließendem Wasser vor der Toilette. Mit den täglich anfallenden 150 Litern Biogasgülle werden die Felder optimal gedüngt. Mit den täglich produzierten 3 m³ Biogas wird bis zu 6 Stunden gekocht und so die Nutzung von Feuerholz vollständig ersetzt. Dies ergibt eine Einsparung von 12 kg Holz bzw. 20 kg CO₂ täglich.

Eine Trinkwasseraufbereitung findet mithilfe von Solardesinfektion in transparenten Wasserflaschen in gewünschter Menge statt.

Migration: konkrete Auswahl von Produkten und Partnern

Für eine optimale Umsetzung der eben genannten Parameter sollen folgenden Produkte verwendet werden und Kooperationen entstehen: SunCulture hat ein Produkt entwickelt, dass oben genannte Anforderungen an eine PV-Anlage und Stromspeicherung direkt mit der Rainmaker Brunnenpumpe und einem Bewässerungssystem verbindet: der „Rainmaker 2 with Climate Smart Battery“. Ein 310 W Solarpaneel und eine 444 Wh große Batterie versorgen 4 LED-Leuchten und USB-Ladeausgänge mit Strom und betreiben eine Rainmaker 2 Brunnenpumpe mit 65 Meter Förderhöhe. Ein Laderegler ist integriert zum Schutz der Batterie und zur

Regelung der Spannung der verschiedenen Ausgänge auf 12 (Ladestation) bzw. 24 Volt (Wasserpumpe). Die nötigen Stromkabel, 100 Meter Wasserleitung und 4 Sprengkieranlagen sind enthalten¹⁰³.

Von Solar Development PLC in Addis Abeba wurde der Lagerbestand dieses Produkts im Juli 2021 bestätigt¹⁰⁴.

Allerdings deckt es sich nur zum Teil mit den Ansprüchen an das Energiekonzept, das in Kapitel 5.1 entwickelt wurde. Die PV-Paneele sind etwas kleiner dimensioniert (310 statt 450 Watt), was aber ausreichend ist, da die Leistungsaufnahme der Rainmaker Wasserpumpe kleiner ist als in Kapitel 5.1.2 angenommen. Dort wurde vom durchschnittlichen Verbrauch einer Standardpumpe ausgegangen.

Die Installation eines dauerhaften Wasserversorgungssystems mit einem Tank und Leitungen ist aber nicht inkludiert und nicht vorgesehen. Das heißt, die Entwickler dieses Produkts gehen von einer direkten Bewässerung der Felder während des Betriebs der Wasserpumpe aus. Dies ist nicht effizient und kann dem Gedeihen der Pflanzen sogar hinderlich sein (Verbrennen der Blätter wegen Entstehen von Brennpunkten durch Reflexionen des Sonnenlichts in Wassertropfen)¹⁰⁵. Außerdem besteht so auch kein Zugang zu fließendem Wasser auf dem Hof. Ein Zukauf von weiteren 500 Meter Wasserrohrleitung und einem 1000 l Wassertank zum Bau eines wie in Kapitel 5.1.4 definierten Wasserversorgungssystems ist also notwendig.

Eine Biogasanlage kann in Kooperation mit der Landwirtschaftsbehörde der Bezirkshauptstadt Feres Bet und der niederländischen Organisation SNV gebaut werden. Eine Kooperationsbereitschaft wurde von dem zuständigen Beamten Asaye Girma telefonisch bestätigt. Die Behörde hat Erfahrungen mit dem Bau von Anlagen mit Kapazitäten zwischen vier und zehn Kubikmeter¹⁰⁶. Das Projekt sollte durchgeführt werden mit einer Anlagenkapazität von 6 m³ (siehe Ergebnisse aus Kapitel 5.1.3). Der Bau von einer passenden Sanitäreinrichtung kann nach Abstimmung mit der Behörde inkludiert werden.

Die für dieses Energiekonzept ausgewählte Methode zur Trinkwasseraufbereitung mit Solar-desinfektion ist ohne den Zukauf von Materialien umsetzbar. Die dafür nötigen transparenten Wasserflaschen sind auf den Bauernhöfen vorhanden. Eine Aufklärung der Bauern und ein Training über die Methode SODIS kann von den Betreibern der Mulu Eco Lodge umgesetzt werden.

¹⁰³ Siehe Anhang 5, Übersicht SunCulture Produkte.

¹⁰⁴ Siehe Anhang 7, Kostenvoranschlag zu Rainmaker2 with Climate Smart Battery.

¹⁰⁵ Persönliche Mitteilung von Metadel Asaye, Pionier-Bauer.

¹⁰⁶ Siehe Anhang 3.

Die zur Migration notwendige Arbeitskraft wird von der lokalen Bauernkooperative Genet Natural Ressource and Tourism Cooperative Society zur Verfügung gestellt.

Der Erwerb und Transport der aus Addis Abeba notwendigen Produkte und Materialien in das Projektgebiet kann von den Betreibern der Mulu Eco Lodge übernommen werden. Das Projektmanagement und die Überwachung zukünftiger Instandhaltungsarbeiten kann ebenfalls von den Betreibern der Mulu Eco Lodge erfolgen.

Migration: Zusammenfassung

In Tabelle 6 ist eine Zusammenfassung aller notwendigen Schritte zur Migration dieses nachhaltigen Energiekonzepts auf einen Bauernhof veranschaulicht.

Tabelle 6 Schritte zur Migration der Lösung

Aspekt (des Energiekonzepts)	Notwendige Maßnahmen zur Migration
Photovoltaiksystem mit Stromspeicherung	Erwerb des „Rainmaker2 with Climate Smart Battery“ von Solar Development PLC in Addis Abeba
Wasserversorgungssystem mit Brunnenpumpe und Bewässerungssystem	Erwerb des „Rainmaker2 with Climate Smart Battery“ von Solar Development PLC in Addis Abeba (s.o.) + Zukauf von 500 m Leitung und 1000 l Wassertank
Biogasanlage mit Sanitäreinrichtung	Kooperation mit der lokalen Landwirtschaftsbehörde in Feres Bet (Ansprechpartner Asaye Girma) und SNV
Trinkwasseraufbereitung SODIS	Anwendungstraining durch Mulu Eco Lodge, kein Zukauf von Materialien nötig
Arbeitskraft	Bauernkooperative Genet Natural Ressource and Tourism Cooperative Society
Erwerb der Materialien und Transport	Mulu Eco Lodge
Projektmanagement und Überwachung der Instandhaltung	Mulu Eco Lodge

5.2 Realisierung in einem Bauernhaushalt

Metadel Asaye ist ein Bauer der Gemeinde Addis Alem im Projektgebiet und hat eine besonders hohe Motivation, die Lebensumstände von sich und seiner Familie zu verbessern. Metadel ist sehr offen für neue Lösungen und gilt in der Region als Pionier-Bauer. Zudem hat er ein Training absolviert, dass ihn zu einem lokalen Brunnenbauexperten ausgebildet hat.

Teile des in Kapitel 5 entwickelten Konzepts sind auf seinem Hof schon umgesetzt. In diesem Abschnitt soll es darum gehen, welche Aspekte das sind, welchen Nutzen die Familie aus diesen Verbesserungen zieht und wo bei der Realisierung oder der Nutzung im Alltag Herausforderungen zu meistern sind. Um dies herauszufinden, hat die Verfasserin Metadel und seine Familie auf deren Bauernhof in den Choke Bergen besucht und ein Interview mit Metadel durchgeführt.

5.2.1 Ausgangssituation und Neuinstallationen



Abbildung 15 Lage des Bauernhofs von Metadel Asaye auf einer Bergterrasse umgeben von Weizenfeldern (Quelle: Eigenes Foto)

Ausgangslage

Der Hof von Metadel liegt am Fuße eines Berghangs auf einer Bergterrasse, umgeben von Weizenfeldern und anderen Bauernhöfen (siehe Abb. 15). Er besteht aus einem Wohnhaus und einer Küche. Beide Häuser sind nach der modernen Art gebaut und haben ein Wellblechdach (siehe Abb. 16). Das Wohnhaus ist aufgeteilt in drei Räume: rechts ein Lagerraum, mittig der Wohnraum und links der Tierstall. In der Mauer des Tierstalls ist eine Öffnung, sodass die Gülle direkt in die außen liegende Güllegrube fließen kann.

In der Küche befindet sich eine offene Feuerstelle und hinter einer Abtrennung beherbergt sie mehrere Bienenstöcke. Zusätzlich hat der Hof einen abgetrennten Bereich für Hühner mit einer Hühnerhütte. Die Toilette ist eine Erdgrube hinter dem Wohnhaus, um die herum mit Planen ein Sichtschutz gebaut wurde. Unterhalb der Häuser beginnen der Gemüsegarten und dahinter liegen seine Weizen- und Kartoffelfelder, die sich bis zu der in Abbildung 15 ersichtlichen Bergkante erstrecken.

Vor dem Gemüsegarten ist ein Brunnen, der etwa 15 Meter tief ist und das ganze Jahr über Grundwasser führt. Mit einer Handpumpe hat die Familie Wasser in Eimer und Kanister gepumpt und zum Haus getragen. Auch zum Bewässern des Gemüsegartens hat die Familie die Handpumpe verwendet: „Jeden Tag haben zwei von uns etwa vier Stunden damit verbracht, zu pumpen und das Gemüse zu bewässern.“, erinnert sich Metadel im Interview¹⁰⁷.

Als Trinkwasser dient das Brunnenwasser ohne weitere Aufbereitung. Die Familie besitzt fünf Rinder, ein Pferd, acht Schafe, etwa 10 Hühner und einen Hund. Metadel und seine Frau Unkwaye haben sieben Kinder, von denen noch vier auf dem Hof leben. Zugang zu Strom- oder anderen nationalen Versorgungsnetzen besteht nicht. Metadel besitzt ein Mobiltelefon, dass er im drei Kilometer entfernten Dorf Thame gegen Gebühr aufladen kann.

¹⁰⁷ Siehe Anhang 1.

Implementierte Verbesserungen

Vor etwa einem Jahr hat die Firma Solar Development PLC im Zuge eines fremdfinanzierten Projekts die elektrische Brunnenpumpe von SunCulture, Rainmaker 2S, im Brunnen der Familie installiert. Zwei Photovoltaikpaneele mit insgesamt 310 Watt betreiben die Pumpe direkt ohne Stromspeicher (siehe Abb. 16). Von der Pumpe aus gehen Wasserleitungen direkt in den Garten und die Felder und bewässern diese über vier Sprengler. Eine Auflistung der enthaltenen Installationsteile ist im Anhang 6 zu finden. Mit den Paneelen kann ausschließlich die Wasserpumpe betrieben werden. Lastausgänge für das Laden von Mobiltelefonen oder für LED-Leuchten gibt es keine.



Abbildung 16 Bauernhof von Metadel Asaye mit Wohnhaus, Küche, Solarbrunnenpumpe und Gemüsegarten im Vordergrund (Quelle: Eigenes Foto)

Als Beleuchtungssystem besitzt die Familie ein „Solar Home Lighting System“ (siehe Kapitel 3.4, Abb. 9 und 10) mit drei Leuchten.

Auf Anfrage hin und nach Durchlaufen eines Bewerbungsverfahrens wurde der Hof von Metadel von den lokalen Behörden ausgewählt zur Installation einer Mikro-Biogasanlage. Gemeinsam mit Experten der Regierung wurde die Anlage in 2020 als Fixed Dome Anlage (siehe Abb. 13) mit einer Kapazität von 6 m³ gebaut. Sie liegt hinter dem Haupthaus und ist verbunden mit einem Mischer und einer Sanitäranlage, wie in Kapitel 5.1.3 beschrieben.

In Abbildung 17 sieht man links eine Hütte, in welcher sich der Mischer und eine Fallrohrtoilette befinden (siehe Abb. 18). Von beiden führen Abflüsse im Boden in den Fermenter. In Weiß ist zu sehen der Gashahn auf dem obersten Punkt des unterirdischen Fermenters. Rechts mit einer Betonplatte abgedeckt befindet sich das Auslaufbecken mit zwei Kompostgruben daneben. Momentan ist die Anlage noch nicht vollständig in Betrieb: sie soll erst über einen Zeitraum hinweg befüllt werden. Daraufhin kommen die Experten der lokalen Behörde zur Kontrolle und werden erst dann die nötigen Gasinstallationen, also Leitungen und Gasbrenner, vornehmen.



Abbildung 17 unterirdische Fixed Dome Biogasanlage auf Metadels Hof (Quelle: Eigenes Foto)



Abbildung 18 Zulauf der Biogasanlage: Mischer links und Toilette rechts (Quelle: Eigenes Foto)

5.2.2 Bewertung der Neuinstallation

In diesem Abschnitt werden der Nutzen und die Funktionalität der implementierten Verbesserungen auf dem Hof anhand von Aussagen von Metadel analysiert. Das Interview kann im Detail im Anhang nachgelesen werden. Zudem sollen die Installationen mit den Ergebnissen aus Kapitel 5.1 verglichen und bewertet werden.

Durch die Installation der elektrischen Wasserpumpe ist die Bewässerung sehr viel weniger zeitintensiv: nur eine Person kann die Felder in etwa einer Stunde pro Tag ausreichend bewässern¹⁰⁸. „Wir freuen uns sehr, dass wir nun zwei Gemüseanbauzyklen pro Jahr schaffen.“ betont Metadel im Interview. Mehr Ernte bedeutet ein höheres Einkommen für die Familie, die das Gemüse auf dem lokalen Wochenmarkt verkauft. Allerdings wünscht er sich für eine bessere Effektivität einen Wassertank auf dem nahegelegenen Berghang, um das Gemüse und die Felder in den Abendstunden wässern zu können und um jederzeit Leitungswasser zu haben. Momentan wird das Brauchwasser für den Hof noch mit der Handpumpe gepumpt und zum Haus getragen, da ihm von einem häufigen An- und Ausschalten der Pumpe (mehrmals täglich) abgeraten wurde. Besonders da er nun auch die Biogasanlage in Betrieb nimmt und dort im Mischer das gesamte verwendete Ausgangsmaterial 1:1 mit Wasser versetzen muss, ist das Pumpen von Hand und Tragen der Wasserkanister noch immer mühsam und zeitaufwendig. Außerdem ist es für Metadel unverständlich, dass er als Betreiber einer großen PV-Anlage zum Laden seines kleinen Mobiltelefons noch immer in das nächste Dorf gehen muss (siehe Abb. 19).

¹⁰⁸ Persönliche Mitteilung Metadel Asaye im Interview, siehe Anhang 1.



Abbildung 19 PV-Anlage ohne Möglichkeit zum Handyladen (Quelle: Eigenes Foto)

Außerdem hätte er gerne die Möglichkeit, das Solar Home Lighting System (SHLS) zu ersetzen mit normalen LED-Leuchten, die über eine Batterie von den PV-Paneelen betrieben werden. Die Leuchten des SHLS sind empfindlich, gehen häufig kaputt und können dann nur in der Hauptstadt ersetzt werden. Außerdem liefern sie keine ausreichende Leuchtkraft: so benötigen die Kinder zum abendlichen Studieren zusätzliche Tischlampen, auch wenn eine solche SHLS Lampe an der Decke montiert ist und brennt.

Er erwartet aber aufgeregt die Aussicht, dass die Familie bald mit Biogas in einer rauchfreien Küche kochen kann und so keine Gesundheitsgefahr mehr für seine Frau und die Kinder besteht: „Das wird unseren Alltag enorm verbessern!“ Auch hofft er mit all seinen Anstrengungen ein Vorbild für umliegende Höfe zu sein und so mehr Haushalten Erleichterungen zu verschaffen.

Grundsätzlich sieht er ein Problem darin, dass viele verschiedene Akteure in Äthiopien unstrukturierte Projekte ohne Gesamtkonzept durchführen, diese dann oft nicht oder nur sehr verzögert zu Ende führen und häufig eigene Interessen verfolgen und nicht wirklich die konkreten Probleme der Bauernhaushalte angehen¹⁰⁹.

Alle von Metadel erwähnten noch bestehenden technischen Herausforderungen und Kritikpunkte sind in dem in Kapitel 5.1 entwickelten Energiekonzept umgesetzt und gelöst.

¹⁰⁹ Persönliche Mitteilung Metadel Asaye im Interview, Siehe Anhang 1.

5.3 Nutzenanalyse anhand der Nachhaltigkeitsziele

Eine Bewertung des entwickelten nachhaltigen Energiekonzepts soll nun auch erfolgen durch eine sozialwissenschaftliche Analyse der bei Umsetzung des Konzepts erreichten Verbesserungen im Alltag der Bauernfamilien. Grundsätzlich können die durch die Umsetzung des Energiekonzepts zu erwartenden Verbesserungen klassifiziert werden in drei Bereiche: Gesundheitlicher Nutzen, Entstehung von neuen Chancen und Umweltentlastung.

Diese Zusammenhänge werden erklärt und dabei wird ein Bezug hergestellt zu den UN-Nachhaltigkeitszielen: Es geht um die Fragestellung, welche Ziele das Energiekonzept tangiert und zur Erreichung dieser beiträgt. Die Nachhaltigkeitsziele wurden 2015 von der Weltgemeinschaft im Rahmen der Vereinten Nationen in der Agenda 2030 festgelegt. Oberstes Ziel ist es, allen Menschen ein „menschenwürdiges Leben zu ermöglichen und gleichzeitig die natürlichen Lebensgrundlagen dauerhaft zu bewahren“¹¹⁰. Die 17 Ziele sind durchnummeriert (siehe Abb. 20) und in folgenden Ausführungen wird die entsprechende Nummer immer mit aufgeführt.



Abbildung 20 Beitrag des Energiekonzepts zu den Nachhaltigkeitszielen (Quelle: Die Bundesregierung, adaptiert von der Verfasserin nach den erfüllten Kriterien: Haken zur Veranschaulichung)

Grundsätzlich betreffen die zu erwartenden Verbesserungen hauptsächlich Frauen und Kinder, da diese meist zuständig sind für Haushaltsaufgaben und somit auch von Verbesserungen im Haushalt profitieren. Die Relevanz dieser Gruppe ist auch in Kapitel 2.3 „Fokus auf Frauen und Kinder – EmPOWERING Women“ nachzulesen.

¹¹⁰ Die Bundesregierung, o.D., Seite 1.

5.3.1 Gesundheitlicher Nutzen

In diesem Abschnitt werden die positiven Auswirkungen bei Umsetzung des Energiekonzepts aus Kapitel 5.1 auf die Gesundheit der Frauen und Kinder beschrieben. Durch den Einsatz von Biogas zum Kochen entstehen zahlreiche Verbesserungen hinsichtlich der Situation in Küchen: durch das Vermeiden von rauchigen Innenräumen kann die Gefahr der vielen damit assoziierten Krankheiten, wie Schlaganfälle, Erblindung durch Grauen Star, Lungenkrebs, Lungenentzündung, Herzproblemen oder Hirnschäden bei Kleinkindern, stark gemindert werden¹¹¹. Auch wird das Risiko von starken Verbrennungen bei Kindern durch Fallen in die offene Feuerstelle eliminiert.

Der Rücken der Frauen wird entlastet durch das Kochen auf Gasbrennern in Stehhöhe und durch das Wegfallen des Sammelns und Tragen von Feuerholz und Wasserkanistern. Biogasgülle als biologischer Dünger auf den Feldern ersetzt die bei falschem Einsatz gesundheitsgefährdenden, mineralischen Düngemittel. Es entstehen sichere und hygienische Sanitäreinrichtungen auf den Höfen, die die Gefahr von sexuellen Übergriffen bei Toilettengängen in Wäldern reduzieren und die Entstehung von Krankheiten durch nicht fachgerechte Entsorgung von menschlichen Exkrementen oder mangelnder Hygiene verhindern. Auch der Zugang zu gereinigtem Trinkwasser wird viele Krankheiten, besonders bei Menschen mit geschwächtem Immunsystem, verhindern. Eine gute Ausleuchtung der Wohnräume in den Abendstunden wirkt sich positiv auf die Augengesundheit besonders der studierenden Kinder aus. Die größeren Erntemengen durch effektive Bewässerung erhöhen die Nahrungsmittelsicherheit.

Die Umsetzung des Energiekonzepts steuert also folgenden Nachhaltigkeitszielen bei (siehe Abb. 20): Kein Hunger (2), Gesundheit und Wohlergehen (3), Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen (6) und Bezahlbare und Saubere Energie (7).

5.3.2 Neue Chancen

Durch Vereinfachungen und Beschleunigungen der Arbeiten im Haushalt, beispielsweise durch das Wegfallen von Wasserholen oder -pumpen, Holzsammeln, etc. entstehen zeitliche Ressourcen für die Frauen, was die Chance zur Verringerung der Ungleichheit der Geschlechter bietet. Die Frauen haben so etwa Zeit für Ruhepausen, für Austausch und zur Bildung von Frauengruppen, für das Familienleben, für neue Projekte und Möglichkeiten für finanzielle Verbesserungen wie Hühnerhaltung, Bienenhaltung, u.ä, für Bildung / Weiterbildung z.B. im Bereich Permakultur und nachhaltiger Landwirtschaft, etc.¹¹².

¹¹¹ Kruchem, 2018, Seite 1.

¹¹² USAid, o.D., Seite 1.

Aus dem Zeitgewinn der Frauen profitieren auch die Kinder. So haben die Mütter mehr Zeit für eine kindgerechte Begleitung beim Heranwachsen und eine grundsätzlich gesteigerte Aufmerksamkeit hilft etwa bei Früherkennung und Behandlung von Krankheiten der Kinder.

Dies sind nur einige Beispiele zur Verdeutlichung, welche Chancen die Reduzierung der Zeitarmut der Frauen birgt. Mussten die Kinder zuvor im Haushalt viel beitragen, so profitieren auch sie direkt von der verringerten Arbeitsbelastung und können diese Zeit der eigenen Schulbildung widmen. Bezüglich der Nachhaltigkeitsziele werden die folgenden tangiert (siehe Abb. 20): Keine Armut (1), Hochwertige Bildung (4), Geschlechtergleichheit (5) und Weniger Ungleichheiten (10).

5.3.3 Umweltentlastungen

Bezüglich Umwelt, Natur und Klima verbessert die Umsetzung eines Energiekonzepts viele Aspekte.

Der Austausch des Rohstoffes Holz durch Biogas reduziert die unter 2.1 erwähnten Gefahren für die indigenen Wälder und für die Bodengesundheit durch Plantagenanbau. Die CO₂-Einsparungen durch nicht verbranntes Holz helfen bei der Einbremsung des weltweiten Klimanstands. Auch die grundsätzliche Nutzung von erneuerbaren Energien, wie der PV-Anlage, dient Umwelt und Klima. Die Nutzung von Biogasgülle als Dünger hat nicht nur die oben erwähnten gesundheitlichen Vorteile, sondern trägt auch zur langfristigen Bodenfruchtbarkeit und -gesundheit bei¹¹³.

Problematisch ist allerdings, dass nach Ablauf der Lebensdauer der verwendeten Materialien diese in Äthiopien nicht recycelt oder fachgerecht entsorgt werden können. Dies stellt besonders bei ressourcenintensiven Teilen, wie der Batterie oder dem PV-Generator, eine Herausforderung dar.

Grundsätzlich kann aber von einem positiven Einfluss auf die Ziele Bezahlbare und Saubere Energie (7) und Maßnahmen zum Klimaschutz (13) ausgegangen werden (siehe Abb. 20).

Insgesamt trägt eine Umsetzung des nachhaltigen Energiekonzepts also zu 9 von 17 Nachhaltigkeitszielen positiv bei (siehe Abb. 20).

¹¹³ Biogas Forum Bayern, 2012, Seite 7.

5.4 Wirtschaftlichkeit

Hier soll nun auf die finanziellen Aspekte des oben entwickelten Energiekonzepts eingegangen werden. Es soll nicht um eine traditionelle Wirtschaftlichkeitsbetrachtung gehen aus folgenden Gründen:

Da in den Bauernhaushalten bisher mit einfachen Methoden, wie etwa offenem Feuer zum Kochen, und ganz ohne Zugang zu Elektrizität etc. gearbeitet wurde, entstehen keine finanziellen Ausgaben für jegliche Art von Energie. Andere bisherige Kosten, wie etwa die an der Umwelt oder an der Gesundheit der Menschen entstehenden Schäden, können nicht beziffert und den Anschaffungs- oder Betriebskosten des neuen Energiekonzepts entgegengestellt werden. Gewinne entstehen im Sinne eines verbesserten Lebensstandards bzw. Erfüllung von Grundbedürfnissen, guter Gesundheit oder einer geschützten Umwelt etc., wie es im vorherigen Abschnitt 5.3 beschrieben wurde. Geringe Gewinne können entstehen durch höhere Ernteerträge nach Implementierung des Energiekonzepts, sofern diese Erträge auf dem Markt veräußert werden. Aufgrund des sehr geringen, lokalen Marktniveaus sind diese aber finanziell unbedeutend in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Durch die Umsetzung des Energiekonzepts entstehen den Haushalten also keine finanziellen Gewinne oder Entlastungen. Eine wirtschaftliche Gewinn- und Verlustrechnung oder eine Betrachtung der Amortisationszeit ist daher nicht möglich.

In diesem Abschnitt sollen also die tatsächlich anfallenden Kosten bei der Umsetzung des Energiekonzepts berechnet werden und Finanzierungsmöglichkeiten gefunden werden.

Kostenberechnung

Zu Beginn werden die anfallenden Kosten für die Umsetzung des Energiekonzepts inklusive der Beschaffung aller Materialien, Arbeitszeit und Transport in einer Tabelle dargestellt.

Für eine reelle Bestimmung der Kosten wurden Kostenvoranschläge von Solar Development PLC und Erfahrungswerte der lokalen Landwirtschaftsbehörde eingeholt. Geringe Kostenpunkte basieren auf Schätzwerten der Verfasserin auf Basis der Erfahrungswerte während des Baus der Mulu Eco Lodge. Im Folgenden werden Preise in der äthiopischen Landeswährung Birr (ETB) und dem Equivalent in Euro zum Stand Juli 2021 angegeben (Wechselkurs von 52,09 ETB für 1 Euro¹¹⁴).

¹¹⁴ NBE, 2021, Seite 1.

Tabelle 7 Übersicht zum finanziellen Aufwand bei der Umsetzung des Energiekonzepts

Kostenart	Preis
1. Erwerb des „Rainmaker2 with Climate Smart Battery“ von Solar Development PLC in Addis Abeba	85.000,00 ETB = 1.632,00 € ¹¹⁵
2. Zukauf von 500 m Leitung und 1000 l Wassertank	14.000,00 ETB = 268,77 €
3. Biogasanlage mit Sanitäreinrichtung (incl. Arbeitskraft durch Experten)	30.000,00 ETB = 575,92 € ¹¹⁶
4. Trinkwasseraufbereitung SODIS	Keine Kosten
5. Arbeitskraft zur Erstinstallation des Wasser- und PV-Systems durch Experten von Solar Development PLC (3 Arbeitstage inkl. Anfahrt)	6.000,00 ETB = 115,19 €
6. Arbeitskraft der Bauerngemeinde	6.000,00 ETB = 115,19 €
7. Projektmanagement und Überwachung der Instandhaltung durch Mulu Eco Lodge	10.000,00 ETB = 191,98 €
8. Transport der Materialien aus Addis Abeba in das Projektgebiet	8.000,00 ETB = 153,58 €
GESAMT	3.052,63 €

¹¹⁵ Anhang 7, Kostenvoranschlag Rainmaker2 Climate Smart¹¹⁶ Persönliche Mitteilung Asaye Girma von der lokalen Landwirtschaftsbehörde

In Tabelle 7 ist zu erkennen, dass die Gesamtkosten zur Umsetzung des entwickelten Energiekonzepts etwa 3.000,00 € für einen Bauernhaushalt betragen.

Finanzierung

Da die Bauern im Projektgebiet in Subsistenzwirtschaft leben, haben sie ein sehr geringes oder gar kein monetäres Einkommen. Möglichkeiten zur Eigenfinanzierung bestehen also nicht. Eine Eigenbeteiligung der Bauerngemeinschaft kann erfolgen in Form von Arbeitskraft und Materialien wie Holz, welches von den Bauern selbst angebaut wird. Um das Energiekonzept in einem Bauernhaushalt umzusetzen, muss es also (fast) ausschließlich fremdfinanziert werden.

Zur Umsetzung eines nachhaltigen Energiekonzepts werden pro Haushalt Spenden in einer Höhe von 3.000,00 € benötigt.

6 Fazit und Ausblick

In dieser Arbeit wurde ein nachhaltiges Energiekonzept entwickelt, das auf autarken Bauernhöfen in ländlichen Regionen in Äthiopien die vorhandenen Energie- und Ressourcenprobleme mithilfe der Photovoltaik, einer Biogasanlage und einem Wasserversorgungssystem löst. Im letzten Abschnitt soll dieses Konzept und die Ergebnisse kritisch bewertet werden und ein Ausblick auf mögliche Verbesserungen und Alternativen geboten werden.

6.1 Bewertung der Ergebnisse

Das Energiekonzept wurde nach den zu Beginn der Arbeit definierten Kriterien entwickelt: Menschen - es sollte für die Herausforderungen und Grundbedürfnisse der Bauern in deren Alltag Lösungen anbieten; Umwelt – es sollte umwelt- und klimafreundlich sein, also mindestens keine negativen Auswirkungen besser aber positive Effekte erzielen; Nachhaltigkeit – es sollte nach den in Kapitel 2.2 definierten Kriterien nachhaltig sein. Diese waren Langfristigkeit bezüglich der Wirkung, die ausschließliche Anwendung erneuerbarer Energien, Energie- und Ressourceneffizienz und das Schaffen in sich geschlossener Kreisläufe.

Im Folgenden soll das Erreichen dieser Kriterien erörtert werden.

6.1.1 Kriterium Mensch

Das Energiekonzept sollte den Alltag der Menschen erleichtern und Abhilfe schaffen in folgenden Bereichen:

→ Dem Bereitstellen von Elektrizität für Beleuchtung und Laden elektrischer Geräte: Durch die Installation einer PV-Anlage mit Stromspeicher steht den Bauern nun jederzeit für diese Bedürfnisse ausreichend Strom zur Verfügung.

→ Der Bau hygienischer Sanitäranlagen: Im Rahmen der Biogasanlage wird eine hygienische Sanitäreinrichtung gebaut, welche zudem mit dem Zulauf der Biogasanlage verbunden ist und so eine fachgerechte Entsorgung sicherstellt.

→ Der Aufbau einer Wasserversorgung für Leitungswasser, sauberes Trinkwasser, und Felderbewässerung: Ein Leitungssystem, gespeist mit Brunnenwasser durch eine solare Wasserpumpe, stellt jederzeit ausreichend Leitungswasser zur Verfügung. Bewässerungsinstallationen erlauben das Bewässern der Felder und Gärten in trockenen Zeiten. Trinkwasser wird gewonnen durch Solardesinfektion.

→ Dem gesunden und sicheren Kochen: auf mit Biogas betriebenen Kochern kann nun sicher gekocht werden ohne durch Holzsammeln, offenes Feuer und Rauch die Gesundheit der Frauen und Kinder zu gefährden.

Somit wurden alle eingangs definierten Ansprüche an das Energiekonzept bezüglich der Menschen und ihren Grundbedürfnissen erfüllt.

6.1.2 Kriterium Nachhaltigkeit

Nun folgt eine Erörterung, ob die eingangs definierten Kriterien zur Nachhaltigkeit erfüllt wurden.

→ Das Schaffen geschlossener Kreisläufe im Sinne der Permakultur bedeutet konkret das Vermeiden von Input und Output (Abfällen) (siehe Kapitel 2.2). Das ist größtenteils gelungen: nach der Erstinstallation und abgesehen von der natürlichen Sonneneinstrahlung als Input werden nur im System des Bauernhofs anfallende Ressourcen wiederverwendet, aufgewertet und dem Kreislauf wieder zugeführt. Beispielhaft soll einer der entstandenen Kreisläufe beschrieben werden: Die Menschen und Tiere ernähren sich von den Ernteerträgen. Deren Exkrememente werden in der Biogasanlage entsorgt und zu Biogas zum Kochen und zu biologischem Dünger aufgewertet, welcher wiederum den Feldern zugeführt wird und zur dauerhaften Bodengesundheit beiträgt.

Auch der solare Kreislauf für Elektrizität ist innerhalb der Lebensdauer der PV-Anlage nachhaltig. Allerdings kann eine umfassende Nachhaltigkeit aufgrund fehlender Möglichkeiten in Äthiopien zu fachgerechter Entsorgung oder Recycling der Teile nach Ablauf der Lebensdauer oder bei Austausch einzelner Komponenten nicht garantiert werden. Dies ist besonders problematisch bei den seltenen Rohstoffen und giftigen Substanzen¹¹⁷ in der PV-Anlage und der Batterie. Bei einer zukünftigen Verbesserung der Situation der Abfall- und Recyclingwirtschaft in Äthiopien kann dieses Problem aber voraussichtlich behoben werden.

→ Ein weiteres Kriterium der Nachhaltigkeit ist die Langfristigkeit der Wirkung des Energiekonzepts. Für eine Erfüllung dieser spricht die Möglichkeit zur Durchführung von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten vor Ort: Nach einem Training der Bauern durch die Expert*Innen in den jeweiligen Bereichen, wie Biogas oder Photovoltaik, werden die Bauern für eine fachgerechte Nutzung der Anlagen sorgen können. Sollten Schäden auftreten, die vor Ort nicht lösbar sind, bestehen Kontakte zu Ansprechpartnern (Solartechnikern von Solar Development in Addis Abeba und Biogasexperten in der lokalen Behörde) zur Problembeseitigung. Ein dauerhafter Ausfall aufgrund nicht lösbarer, technischer Probleme ist daher nicht zu erwarten.

¹¹⁷ Wirth, 2021, S. 77.

Die angewandten Technologien sind zudem im Alltag einfach zu bedienen und anzuwenden, wie der Bauer Metadel Asaye im Interview (siehe Anhang 1) bestätigen konnte.

Auch die hohe Lebensdauer aller ausgewählten Technologien wird zu einer langfristigen Wirkung des umgesetzten Energiekonzepts führen. Für die PV-Anlage beispielsweise kann von einer Lebensdauer von etwa 30 Jahren ausgegangen werden¹¹⁸.

→ Auch die Effizienz der eingesetzten Ressourcen und Technologien spielt bei der Nachhaltigkeitsentscheidung eine Rolle. Grundsätzlich wurde das Konzept den Bedürfnissen auf einem Bauernhof genau angepasst und ist dementsprechend sehr effizient.

Bei der Dimensionierung der PV-Anlage wurde der PV-Generator überdimensioniert, was eine geringere Auslastung und damit einhergehend eine geringere Effizienz der Module nach sich zieht. Diese Überdimensionierung erfolgt aber zugunsten der Entscheidung zu einer kleineren Batterie, welche aus Perspektive der Ressourceneffizienz die problematischeren Rohstoffe enthält. Insgesamt begünstigt die Überdimensionierung des PV-Generators daher die Ressourceneffizienz der Gesamtanlage. Zudem konnte durch die den Jahreszeiten angepassten Berechnungsmodelle nochmals eine Reduktion der Größe des PV-Generators erreicht werden, was auch die Effizienz des PV-Generators einzeln betrachtet wieder verbessert.

Für die Umsetzung des Konzepts wurden Produkte ausgewählt, die ebenfalls speziell für eine Anwendung im off-grid Bereich auf Bauernhöfen in Afrika ausgelegt wurden und zudem die verschiedenen Anwendungsbereiche für eine bestmögliche Effizienz kombinieren. So ist die PV-Anlage von SunCulture insbesondere für Beleuchtung, das Laden von Mobiltelefonen und den Betrieb einer effizienten Solarwasserpumpe ausgelegt, welche wiederum für die Bewässerung von den Feldern von Kleinbauern designt wurde. Der Einsatz der Biogasanlage verwertet Ressourcen, die zuvor gar nicht verwendet wurden, und ersetzt damit den Rohstoff Holz zum Kochen, was zu einer CO₂-Einsparung von 20 kg und einer Feuerholzeinsparung von 12 kg täglich führt. Die Biogasanlage ist also sowohl ressourcen- als auch energieeffizient.

Dasselbe gilt für die Methode zu Trinkwasseraufbereitung: Die Solardesinfektion benötigt ausschließlich transparente Flaschen zum Befüllen mit Wasser, während andere Methoden ressourcenintensive Membran-, Kohlefilter oder Osmoseanlagen etc. benötigen. Die Energie zur Aufbereitung wird direkt durch die Sonneneinstrahlung gewonnen. Diese Methode ist also besonders energie- und ressourceneffizient.

Diese Beispiele beweisen die Energie- und Ressourceneffizienz des vorliegenden Konzepts.

¹¹⁸ Wirth, 2021, Seite 36.

6.1.3 Kriterium Umwelt

Die Umwelt- und Klimafreundlichkeit ist das letzte der eingangs erwähnten Kriterien. Dieser Punkt soll nur kurz behandelt werden, da er viele Schnittstellen mit schon behandelten Themen unter dem Punkt der Nachhaltigkeit enthält. Positiv erwähnt werden soll der ausschließliche Einsatz erneuerbarer Energien, wie Photovoltaik und Biogas. Eine Umsetzung dieses Konzepts dient außerdem nicht nur der gegenwärtigen Umweltentlastung, beispielsweise durch den Ersatz von Mineraldünger durch Biodünger und anderen unter „Nachhaltigkeit“ beschriebenen Effekten. Es können auch zukünftige Umweltprobleme verhindert werden: Eine großflächige Anwendung dieses Energiekonzepts auf Bauernhöfen würde eine Ausweitung der nationalen Versorgungsnetze in Äthiopien überflüssig machen. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese mit weniger nachhaltigen und umweltfreundlichen Verfahren umgesetzt würden. So können u.a Umweltzerstörungen beim Netzausbau und der Ausbau großer, zentraler und umstrittener Energieversorgungsprojekte verhindert oder verringert werden.

6.1.4 Weitere Kriterien

Während der Bearbeitung des Themas wurden aber Kritikpunkte deutlich, die in keiner der bisher genannten Kategorien aufgeführt werden:

→ Abhängigkeit der Bauern: Die Auswertung der Ergebnisse des Kapitels 5.4 bezüglich der Wirtschaftlichkeit legt nahe, dass eine Fremdfinanzierung aufgrund der finanziellen Situation der Haushalte nötig wird. Auch müssen zur Erstinstallation Experten zu Rate gezogen werden und es wird Hilfe bei der Beschaffung und dem Transport der Materialien benötigt. Es besteht also eine Abhängigkeit der Bauern von den Geldgebern und den weiteren Akteuren. Dies kann zu Problemen, wie etwa zu Verzögerungen bei der Umsetzung führen, wie von Metadel Asaye im Interview (siehe Anhang 1) erwähnt. Das kann beispielsweise an internen Problemen der Akteure bei der Umsetzung liegen oder an bürokratischen Hürden bei Fördergelderanträgen, etc.

→ Schlechte Abstimmung, bzw. Kommunikation der beteiligten Akteure: Die Beteiligung mehrerer Akteure (Nichtregierungsorganisationen, private oder öffentliche Geldgeber, lokale Behörden, etc.) kann auch zu Kommunikations- und Abstimmungsschwierigkeiten, Schnittstellenproblematiken, bzw. einer mangelnden Aufmerksamkeit auf Zusammenhänge führen. So wurde auf dem Hof von Metadel beispielsweise eine PV-Anlage installiert, mit der aber ausschließlich eine Wasserpumpe betrieben werden kann und welche keine Möglichkeit zur Beleuchtung oder dem Handyladen bietet¹¹⁹.

¹¹⁹ Persönliche Mitteilung Metadel Asaye im Interview, siehe Anhang 1.

6.1.5 Zusammenfassung

Es ist gelungen, ein Konzept zu entwickeln, das im Bereich der Projektentwicklung in Äthiopien eine vorhandene Lücke schließt: Anstelle einzelner, getrennter Projekte ein ganzheitliches, nachhaltiges Energiekonzept, das das effiziente Zusammenspiel mehrerer Aspekte und Technologien innerhalb einer in Äthiopien wirtschaftlich extrem relevanten Einheit, nämlich dem Subsistenz-Kleinbauernhof, fördert. Der insgesamt positive Beitrag des Konzepts ist auch in der in Kapitel 5.3 durchgeführten Nutzenanalyse anhand der UN-Nachhaltigkeitsziele deutlich geworden: Demnach trägt eine Umsetzung dieses Energiekonzepts zu 9 von 17 von der Weltgemeinschaft definierten Zielen für ein menschenwürdiges Leben aller bei Erhalt von Natur und Umwelt positiv bei. Verbesserungen sind wirksam und spürbar bei den Zielen „bezahlbare und saubere Energie“, „Maßnahmen zum Klimaschutz“, „keine Armut“, „hochwertige Bildung“, „Geschlechtergleichheit“, „weniger Ungleichheiten“, „kein Hunger“, „Gesundheit und Wohlergehen“ und „sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen“.

Insgesamt wird deutlich, dass eine Umsetzung dieses Energiekonzept für Menschen und Umwelt förderlich und daher notwendig ist.

6.2 Ausblick

Den Abschluss bildet ein Ausblick auf Lösungsvorschläge der in vorherigem Abschnitt beschriebenen, noch bestehenden Herausforderungen und mögliche Weiterentwicklungen und Verbesserungen des Projekts.

Schaffen einer Pilot-Struktur für Management und Umsetzung

Die in der Bewertung erörterten Herausforderungen im Management der Umsetzung des Energiekonzepts, wie die Abhängigkeit der Bauern und Verzögerungen durch Schnittstellenproblematik (z.B. schlechte Kommunikation und Abstimmung zwischen beteiligten Akteuren, u.a.) zeigen die Notwendigkeit einer übergeordneten Koordination auf. Ziel ist es, Probleme, wie etwa die in Kapitel 5.2.2 beschriebene Installation eines PV-Generators für eine Wasserpumpe ohne Bereitstellung von Elektrizität für Licht oder Handyladen, zu vermeiden. Eine solche Koordination kann umgesetzt werden durch einen weiteren Akteur, der zuständig ist für das Management des Energiekonzepts. So können Aufgaben etwa sein das Einwerben von finanziellen Zuschüsse oder Akquise von Geldgebern, die Organisation von Beschaffung und Transport der Materialien in die Projektregion, Überwachen und Sicherstellen der Kommunikation zwischen Bauern und anderen Beteiligten, Sicherstellen der dem Konzept gemäßen Umsetzung, sowie Überwachung der langfristigen Funktion, korrekter Bedienung und sachgemäßer Wartung aller Anlagen bzw. insbesondere als Ansprechpartner zu dienen bei Wartungsproblemen etc.

Diese Rolle kann in vorliegendem Fall übernommen werden von der Mulu Eco Lodge, die eine kompetente, vertrauensvolle Verbindung zur Bauerngemeinschaft, als auch zu anderen Partnern in Addis Abeba und im Ausland pflegt und somit eine gute Basis für diese Rolle hat.

Durch eine solche Zusammenarbeit von Projekt-Akteuren, den Bauern, organisiert in Bauernkooperativen, und beispielsweise der Mulu Eco Lodge als Koordinator kann eine Pilot-Struktur entstehen, die übertragbar ist auf andere Regionen und interessierte Gemeinschaften, denen die Relevanz von ganzheitlichen, nachhaltigen Gesamt-Konzepten bewusst ist.

Schaffen von Öko-Dörfern

Eine Möglichkeit, die Effizienz und Wirtschaftlichkeit des vorliegenden Konzepts noch zu verbessern ist die Gründung von Öko-Dörfern. Der Grundsatz dieser Idee ist eine Änderung der Einheit, in welcher das Energiekonzept umgesetzt wird. Die einzelnen Bauernhöfe oder Haushalte können sich zusammenschließen zu kleineren Strukturen, bzw. Öko-Dörfern. Das Energiekonzept wird dann angewandt auf eine solche größere Einheit anstelle eines einzelnen Hofes, was zu einer höheren Effizienz und besseren Wirtschaftlichkeit führen kann. Wichtig für eine gute Funktion eines solchen Konzepts ist die richtige Größe dieser Einheit, also wie viele Haushalte oder Bauernhöfe sich zusammenschließen: Wird die Struktur zu groß, ergeben sich zu lange Wege zu den zu bewirtschaftenden Feldern und eventuell leidet die Effizienz der Feldwirtschaft.

Ein Zurücklassen der Höfe und ein Umzug in geteilte Wohneinheiten ist für die schon bestehenden Höfe im Normalfall aber keine Option. Ein Fokus auf die Jugend als nächste Generation ist eine weitere Möglichkeit: die erwachsenen Kinder der Bauernfamilien haben nicht genug Landbesitz, um sich und ihre zukünftigen Familien von der Landwirtschaft ernähren zu können. Sie haben häufig studiert und möchten daher den Zugang zu Strom und Wasser, den sie während der Studienzeit in Städten erfahren haben, nicht mehr aufgeben. Sie wandern daher häufig in die Städte ab. Dies ist der Hauptfaktor für die steigende Landflucht in Äthiopien. Diese Jugend kann sich in geteilten Wohneinheiten zusammenschließen, auf welche das Energiekonzept angewandt wird, so dass der Versorgungsstandard häufig sogar über dem der Städte liegen könnte. Mithilfe von Entrepreneurshiptrainings können sie dort gemeinsam verschiedene Arbeitsplätze schaffen, beispielsweise in der Honig- oder Eierproduktion. Weitere Forschung in diesem Bereich ist daher aufgrund der entwicklungspolitischen und gesellschaftlichen Relevanz unabdingbar notwendig.

Literaturverzeichnis

Internetquellen

Abebe, Ashenafi: Design, Simulation and Experimental Test of Solar Assisted Hydraulic RAM Pump, by Institute of Technology, Addis Abeba University, 06.2020, <http://etd.aau.edu.et/bitstream/handle/123456789/23723/Ashenafi%20Abebe.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, abgerufen am 13.06.2021.

Auswaertiges Amt: Äthiopien – politisches Portrait, 26.05.2021, <https://www.auswaertiges-amt.de/de/aussenpolitik/laender/aethiopien-node/politisches-portraet/209758>, abgerufen am 05.07.2021.

Besser, Maria: Analyse der zu bewältigenden Herausforderungen und Optimierung der Erfolgsfaktoren für den Einsatz von Off-Grid Photovoltaiksystemen im ländlichen Raum von Entwicklungsländern mit Schwerpunkt Subsahara-Afrika am Beispiel von Äthiopien, 16.08.2014, Bachelorarbeit an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, https://www.ludwig-boelkow-stiftung.org/wp-content/uploads/2017/02/Rebecca-Maria-Besser_Bachelorarbeit_%c3%84thiopien.pdf, abgerufen am 24.06.2021.

Biogas Forum Bayern: Biogärreste - Einsatz von Gärresten aus der Biogasproduktion als Düngemittel, 03.2012, https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/leitfaden_2012-03_biogasforum.pdf, abgerufen am 26.09.2021.

BMZ: Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, 2010, <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975238/439778/794fd0c40425acd7f46afacbe62600f6/2017-11-14-beschluss-kabinett-umwelt-data.pdf?download=1>, abgerufen 31.03.2021.

BUND Dresden: Was ist Permakultur?, o.D., <https://www.bund-dresden.de/publikationen/vortraege-und-fachbeitraege/was-ist-permakultur/>, abgerufen am 05.07.2021.

CORDIS Europäische Kommission: Water – Sustainable Point-Of-Use Treatment Technologies, 2020, <https://cordis.europa.eu/article/id/415839-using-the-sun-for-water-disinfection-in-africa/de>, abgerufen am 14.06.2021.

Debre Markos University: Choke Mountain Watershed, o.D., <http://www.dmu.edu.et/research-and-community-service/choke-mountain-watershed/>, abgerufen 16.04.2021.

dena Deutsche Energie Agentur: Länderprofil Äthiopien: Informationen zur Nutzung und Förderung erneuerbarer Energien für Unternehmen der deutschen Branche, 2014, https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/3110_Laenderprofil_AEthiopien_REG.pdf, abgerufen am 05.07.2021.

Die Bundesregierung: Die UN-Nachhaltigkeitsziele, o.D., <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/die-un-nachhaltigkeitsziele-1553514>, abgerufen am 13.07.2021.

Duden: Nachhaltigkeit, o.D., <https://www.duden.de/rechtschreibung/Nachhaltigkeit>, abgerufen am 06.07.2021.

DVGW (IFAT): Stand der Membrantechnik in der Trinkwasseraufbereitung in Deutschland, 2008, <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/wasser/aufbereitung/0804lipp.pdf>, abgerufen am 14.06.2021.

e.Ray: e.Ray – Energizing Passions, o.D., <https://www.e-ray.eu/>, abgerufen am 15.07.2021.

Gärtner, Heiko: Methoden zur Outdoor-Wasseraufbereitung und Verkeimung im Vergleich, o.D., <https://lebensabenteurer.de/methoden-wasseraufbereitung/>, abgerufen am 14.06.2021.

Global Business Network (GBN): Partnership Ready: Renewable Energies, 07.2020, https://www.giz.de/en/downloads/GBN_Sector%20Brief_%C3%84thiopien_Energiesektor_E_WEB.pdf, abgerufen am 26.09.2021.

Global Solar Atlas: Welcome to the Global Solar Atlas, o.D., <https://globalsolaratlas.info/map>, abgerufen am 16.07.2021.

Hausjournal: Herd-Leistung: Welche Leistung haben einzelne Herde?, o.D., <https://www.hausjournal.net/herd-leistung>, abgerufen am 07.07.2021.

Hentsch, Anna-Kathrin: Großes Geschäft ? Brennstoff und Biogas aus menschlichen Fäkalien, 03.06.2020, in National Geographic, <https://www.nationalgeographic.de/umwelt/2020/06/grosses-geschaeft-brennstoff-und-biogas-aus-menschlichen-faekalien>, abgerufen am 08.07.2021.

IndexMundi: Bevölkerungsanteil unter Armutsgrenze, 01.2020, <https://www.indexmundi.com/g/g.aspx?c=et&v=69&l=de>, abgerufen am 05.07.2021.

IRENA: Measuring small-scale biogas capacity and production, 2016, von International Renewable Energy Agency (IRENA) in Abu Dhabi, <https://www.irena.org/>

/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Statistics_Measuring_small-scale_biogas_2016.pdf, abgerufen am 08.07.2021.

laenderdaten.info: Äthiopien, o.D.,

<https://www.laenderdaten.info/Afrika/Aethiopien/index.php>, abgerufen am 05.07.2021.

Katadyn Group: SteriPEN, o.D.,

<https://www.katadyngroup.com/int/en/brands/Steripen~b4908/overview>, abgerufen am 14.06.2021.

Katharina Garus: Adama 2 wind power project is on the way, 06.08.2013,

<https://www.sunwindenergy.com/news/adama-2-wind-power-project-way>, abgerufen am 13.06.2021.

Knoema Weltdatenatlas: Äthiopien-Waldfläche, 2018,

<https://knoema.de/atlas/%C3%84thiopien/topics/Landnutzung/FI%C3%A4che/Waldfl%C3%A4che>, abgerufen am 05.07.2021.

Kotchi, Johannes: Bodenlos – Negative Auswirkungen von Mineraldüngern in der tropischen Landwirtschaft, 05.2013, eine Studie des WWF in Kooperation mit der Heinrich-Böll-Stiftung,

https://www.boell.de/sites/default/files/wwf_mineralduenger_web_de_130620.pdf, abgerufen am 06.07.2021.

Krause, A.; Häfner, F.; Augustin, F.; Harlow, E.; Boness, J.: RISIKOANALYSE Zur

Anwendung von Recyclingdüngern aus menschlichen Fäkalien im Gartenbau, 2019, https://www.igzev.de/wp-content/uploads/2019/04/Krause_Risikoanalyse_DE.pdf, abgerufen am 08.07.2021.

Kruchem, Thomas: Die Killer in der Küche, 07.02.2018, in Deutschlandfunk Kultur,

https://www.deutschlandfunkkultur.de/menschheitsproblem-russ-und-qualm-die-killer-in-der-kueche.979.de.html?dram:article_id=410073, abgerufen am 06.07.2021.

Meier, Ueli: HYDRAM Information package, 1990, von SKAT Schweizerische Kontaktstelle für Angepasste Technik am ILE, <https://www.ircwash.org/sites/default/files/232.5-90HY-8425.pdf>, abgerufen 31.03.2021.

NABU: Unsere Wälder: Angeschlagene Klimahelfer, o.D., <https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/waelder/waldbewirtschaftung/28491.html>, abgerufen am 05.07.2021.

NBE National Bank of Ethiopia: Commercial Banks` Exchange Rate – National Bank, 2021, <https://nbebank.com/commercial-banks-exchange-rate/>, abgerufen am 14.07.2021.

ovSolar: Solar Energy into Life, o.D., <http://ovsolar.com/index.php?m=Page&a=index&id=34>,
abgerufen am 12.06.2021.

Photovoltaik Solarstrom: Dickschicht oder Dünnschicht, o.D.,

<https://photovoltaiksolarstrom.com/photovoltaiklexikon/kristalline-solarzellen/>, abgerufen am
12.06.21.

Remo Nemitz: Klima und Wetter in Äthiopien, o.D.,

<https://www.wetter-atlas.de/klima/afrika/aethiopien.php>, abgerufen 31.03.2021.

RWW: RWW macht Schule – Sachanalyse Wasserdruck, o.D.,

https://www.rww.de/fileadmin/assets/pdf/HRN_Sachanalyse_Wasserdruck.pdf, abgerufen
am 26.09.2021.

Sawyer: Squeeze Water Filtration System, o.D., <https://sawyer.com/products/sawyer-squeeze-filter/>, abgerufen am 14.06.2021.

Schatzl, Peter: Wasseraufbereitung: Eine Kaufberatung, 29.09.2016,

<https://www.bergzeit.de/magazin/wasseraufbereitung-kaufberatung/>, abgerufen am
24.06.2021.

Shore, Rebecca: Water in Crisis – Ethiopia, o.D., <https://thewaterproject.org/water-crisis/water-in-crisis-ethiopia>, abgerufen am 26.09.2021.

Siemens Stiftung: Schema einer Umkehrosmose, 22.09.2017, <https://medienportal.siemensstiftung.org/de/schema-einer-umkehrosmose-104500>, abgerufen am 24.06.2021.

SNV: National Biogas Programme – Ethiopia, o.D., <https://snv.org/project/national-biogas-programme-ethiopia>, abgerufen am 08.07.2021.

Spuder; Meierhofer: Affordable Water Supply – Factsheet SODIS, o.D.,

<https://sswm.info/sswm-solutions-bop-markets/affordable-wash-services-and-products/affordable-water-supply/sodis>, abgerufen am 08.07.2021.

Suhr, Ralf : Holzgasöfen und Rocket Mass Heater, o.D.,

<http://ralfsuhr.de/index.php/selbstversorgung/energie-und-technik/holzgas> , abgerufen
31.03.2021.

SunCulture: SunCulture-About Us, o.D., <https://sunculture.com/index.php/about-us/>,
abgerufen am 12.08.2021.

Technikjournal: Die Sonne kocht, 09.03.2018, <https://technikjournal.de/2018/03/09/die-sonne-kocht/>, abgerufen am 07.07.2021.

The Africa Report: Ethiopia has huge wind energy potential, 19.04.2021, <https://www.theafricareport.com/7287/ethiopia-has-huge-wind-energy-potential/>, abgerufen am 13.06.2021.

USAid: EmPOWERing Women and Girls, o.D., EmPOWERing Women and Girls | Energy | U.S. Agency for International Development (usaid.gov) , abgerufen am 07.07.2021.

Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen: Kleinwindkraftanlagen: das sollten Sie wissen, 18.05.2021, <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/erneuerbare-energien/kleinwindkraftanlagen-das-sollten-sie-wissen-10857>, abgerufen am 13.06.2021.

Walther, Konstanze: Aufgerissene Gräben und verkaufter Boden, 04.05.2018, in Wiener Zeitung, <https://www.wienerzeitung.at/nachrichten/chronik/welt/963016-Aufgerissene-Graeben-und-verkaufter-Boden.html>, abgerufen am 06.07.2021.

Wetter-Atlas: Klima und Wetter in Äthiopien, o.D., Äthiopien Klima: Wetter, beste Reisezeit & Klimatabelle (wetter-atlas.de) , abgerufen am 06.07.2021.

Wirth, Harry: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, Fassung vom 14.05.2021, von Fraunhofer ISE, <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>, abgerufen 02.06.2021.

Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestags: Die Agrarwirtschaft Äthiopiens, Sachstand WD 5 - 3000 – 087/19, 2019, <https://www.bundestag.de/resource/blob/667408/7c6e926062239a84ef944acc7e0f814e/WD-5-087-19-pdf-data.pdf>, abgerufen am 05.07.2021.

Gedruckte Medien

Belay, Simane (2016): Building Community Resilience to Climate Change – Lessons from Choke Mountain Agro-Ecosystems, Abay / the Blue Nile Highlands, Addis Abeba University Press, Addis Abeba, Äthiopien.

Bundesministerium für Naturschutz, Umwelt und Reaktorsicherheit (BMU) (2008): Grundwasser in Deutschland, 1. Auflage

(<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3642.pdf>), Silber Druck OHG, Niestetal.

Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW W 294) (2006): Information zur Sicherung eines regelkonformen Betriebs von UV-Desinfektionsgeräten nach DVGW-Arbeitsblatt W 294. (<https://www.dvgw.de/medien/dvgw/wasser/aufbereitung/dvgw-information-uv-desinfektion.pdf>), Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.

Devarenjan, J.; Joselin Herbert, G.M.; Amutha, D. (2019): Utilization of Bioslurry from Biogas Plant as Fertilizer, im International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) (<https://www.ijrte.org/wp-content/uploads/papers/v8i4/D8144118419.pdf>), von Blue Eyes Intelligence Engineering & Sciences Publication, Indien.

Ermias, Teferi; Uhlenbrook, S.; Woldeamlak, B.; Wenninger, J.; Belay, S. (2010): The use of remote sensing to quantify wetland loss in the Choke Mountain range, Upper Blue Nile Basin, Hydrol. Earth. Syst. Sci. Discuss, 2415-2428, Ethiopia.

Fulford, D. (2015): Small-scale rural biogas programmes: A handbook, Practical Action Publishing, Rugby, zitiert nach IRENA (2016).

Kudaravelli, K. (2014): Education manual, SKG Sangha Foundation, Kolar.

Lipp, P., Baldauf, G. & Kühn, W. (2005): Membranfiltrationsverfahren in der Trinkwasseraufbereitung – Leistung und Grenzen. In: gfw Wasser Abwasser 146 (13).

Lorimor, J. et al. (2004): "Manure characteristics", Manure Management Systems Series MWPS-18 Section 1, Iowa State University, Ames, zitiert nach IRENA (2016).

NABU (2011) : Schutz der letzten Bergnebelwälder Äthiopiens, (https://www.nabu.de/downloads/international/eng/Projektblatt_IKI_%C3%84thiopien_dt_final.pdf) 1. Auflage, Druckhaus Schöneweide GmbH, Berlin.

NDBMP (2013): Biogas audit Bangladesh 2011-2013, National Domestic Biogas and Manure Programme, Dhaka, zitiert nach IRENA (2016).

SEAI (2012): Gas yields table, Sustainable Energy Authority of Ireland, Dublin, zitiert nach IRENA (2016).

Seitz, Valerie (2020): Entwicklung einer Mikro-Biogasanlage für einen Haushalt im ländlichen Äthiopien, Projektarbeit an der Wilhelm Büchner Hochschule, Darmstadt.

Stadler, Ingo (2020): Energiesysteme III – autarke Energiesysteme, Studienheft ESL 03, Wilhelm Büchner Hochschule, Auflage 0520 K04, Darmstadt.

Wisner, Erica und Ernie (2017): the rocket mass heater builder's guide: complete step-by-step construction, maintenance and troubleshooting, 2. Auflage, New Society publishers, Kanada.

Umweltbundesamt (UBA) (2016): Rund um Trinkwasser. 4. Auflage (https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/uba_rund_um_das_trinkwasser_ratgeber_web_0.pdf) , veröffentlicht und gedruckt vom UBA, Deutschland.

Persönliche Mitteilungen

Aklil Asegid, Technical Sales Engineer von Solar Development PLC in Äthiopien, technischer Experte für PV-Anlagen, <https://www.soldev.net/>, mehrmaliger Email-Austausch im Juni 2021.

Asaye Girma, Beamter in Feres Bet in der lokalen Behörde des Ministeriums für Landwirtschaft (MOA), Telefonat am 15.06.2021.

Huda Zuber, Technical and Sales Manager von Solar Development PLC in Äthiopien, technische Expertin für PV-Anlagen, <https://www.soldev.net/> , mehrmaliger Email-Austausch im Juni 2021.

Metadel Asaye, Hofbesitzer in den Choke-Bergen, Äthiopien, Pionier Bauer mit PV- und Biogasanlage und Brunnenbauexperte, Telefonnummer 00251 91846 7307, Interview am 14.06.2021.

Nabil Ishak, Managing Director von Solar Development PLC, Äthiopien, <https://www.soldev.net/>, mehrere persönliche Gespräche im Büro von Solar Development in Bole District, Addis Abeba in 2020 und 2021.

Sebastian Lemke, CEO von e-ray und Experte für Energielösungen in Afrika, <https://www.e-ray.eu/?lang=en>, Telefonat am 14.05.2021.

Unkwaye Girma, Angestellte der Mulu Eco Lodge und ehemalige Bäuerin, Telefonnummer 00251 939023283, Interview am 28.04.2021.

Anhang

Anhang 1: Interview mit Metadel Asaye

This is an interview of Metadel Asaye about his experiences with the implementation of a sustainable energy concept on his farm.

This interview took place on the 16.06.2021 on the farm of Metadel Asaye in Tiame Kebele, Dega Damit Woreda, Amhara Region of Ethiopia. The questions were asked in english by Valerie Seitz, translated by Abiy Alem Mehari to amharic and answered by Metadel Asaye in amharic. It was recorded as an audio (available upon request) and later translated and transcribed by Valerie Seitz.

„What were your main problems on the daily life on the farm?
Which problems did you want to be adressed first?“

„We dont have real knowledge. It is all just done according to old traditions, as our grandparents did it. For example we didnt grow any varieties on the fields. We just had a few grains, maily potato and wheat, that we grew and no proper water supply, no water pumps. We had a lot of problems. Even though weather conditions here would allow up to three or four growing cycles per year we just did one. We also didnt have any electricity or lights for our children to study. We were simple farmers and had a difficult life. „

„Which improvements are implemented in your farm now?“

„Here on my farm now there a few things that we started, that makes things better. There is for example a water pump, but a lot of things are still just started and need to be finished and improved. We also started constructing a greenhouse to grow a wider variety of vegetables. It is all just started and unfinished but once this things work, a lot of things will improve extremely.

I also have a biogas system now, that the government is building for me. I have now a chicken house for building up an egg business and a bee keeping house that can hold about 30 beehives to produce honey.

The problem is that all is unfinished and it all needs money and our budget is small.“

„When was that started?“

„We started last year, 2012 [author's note: Ethiopian calender, equals to 2020 in Gregorian calendar]. We started the chicken house, the bee house, the biogas,...
But for example with the chicken: We were motivated to improve our lifes and try something

new and then we bought the chicken and they got sick and there was not enough supply of medicine available in the area so they died. The vets just don't have enough knowledge and materials.

But we are going to the right direction. If all what we started is done I am very hopeful that we will improve a lot. Since you are here we are getting new ideas and improving a lot. I am so thankful for that.“

„How were each of them implemented (e.g. financial support, support by experts / organisations)?“

„Of course we are supported by Mulu Eco Lodge and Abiy and Valerie, especially with knowledge and ideas.. I already had a lot of guests/tourist coming from Mulu Eco Lodge visiting my farm.

But still I didn't get a lot of help. I am trying to do it by myself. I am doing that because other people copy from me and I am so happy if I see also other farms improving. I know also that guests are happy to see how things are improving and are then more willing to help out. For example in the Mulu Lodge they have a little greenhouse and are growing lots of vegetables: I was amazed when I saw that they can grow even in rainy season and vegetables that usually need warm/hot climates. So I want to try that as well and then also sell some vegetables to the guests.

The biogas system was supported by the local government organisations, financially and also by sending experts and building it together with me. The water pump was sponsored by Solar development and Little Sun. I got three beehives from the government.

The rest is by myself. When I see improvements in Mulu Eco Lodge or other places I understand how helpful they are and how much I could grow from that so I try to save money to be able to implement them. „

„Is all finished? Do all improvements work as expected? Are they addressing the problems properly?“

„As you saw it last year it took minimum two people for three to four hours every day to water the fields and vegetables. But since I got the solar water pump it is much less exhausting and one person can do it easily in less than an hour all alone. That is a good improvement. Especially once the problems of the pump are fixed it will be a big thing for us. I also already started growing everything twice a year what makes me very happy!

But the biogas for example should be done by the government office and is still after half a year not finished. I was happy to dig everything by myself, carry all the sand for mixing the cement from the mainroad to my farm (about 3 km) .

But I get disappointed if it takes so long to finish it and not to be able to use it! „

„What is still missing? Which improvements would you still want to implement? If biogas, pump, greenhouse etc works, what else would be missing?“

„I really want my children not to have to do a lot of muscle work but to go to school instead. Also I want them to get good food, so to feed them also veggies and eggs. They need electric light for studying.

And I don't want our house to be smoky any more from cooking since this is so bad for our eyes and lungs. I think this would improve our life a lot! „

[making the questions clear]

„So after that there are still a lot of things missing in our house! As you can see we don't have a TV, for example. If we would have a TV our children could learn about Ethiopia, about the world.

The water pump also has a problem: It works only with direct sunlight and has no storage [battery]. Watering the plants during strong sunlight is not good. The young plants sometimes even die. If it would have a battery or storage tank we could water when it's cold. That would be great.

There are lots of things to improve. It would be a good example for our children and the whole region or even Ethiopia. I want everybody to see that farmers are not stupid. They should be empowered to improve their lives by themselves, educate their children. That is one of my big dreams. „

„There are a lot of improvements already but all from different organisations and not managed well. You have solar panels but can't charge your phone. What problem do you see here?“

„Now since there is corona and the war/conflict in the north we are having problems. Not only us but everybody in Ethiopia. We don't have enough money to finish or continue projects, personally but also the responsible government offices for my biogas project for example. The government offices are careless and there is no pressure on them to finish projects. I fulfilled my part but they are not coming to keep their promises and finish the gas installations.

The other thing: I finished the house for the beehives but now I don't have budget for the beehives itself.

About the chicken: I finished the house but since a big part of my income was by tourists trough Mulu Eco Lodge I dont have money now to buy enough chicken and also I cant sell the eggs for the guests. I could take a loan for buying them but I am worried that they get sick again since there is not enough medicine.

Another limitation is that it needs my time and muscle work also on my „traditional“ farm, so on the potato fields etc. So all in all there are lots of limitations. The organisations take too much time to come. „

„A problem I see also is that the organisations have „premade“ projects that they implement in the farms. They do not go to the farm and survey the situation and talk to the farmers to find an individual solution. Is that right? „

„That's a main problem! Thats right. They come and implement their own ideas and not the ones of the farmers. They come and do something and then write a nice report. The report is just for them and the sponsors. They sometimes dont even know or see what was done and just write the report.

If they would really come and see they would send us experts to help properly. That is the reason why we farmers are still „behind“ [with technology]. For me it was the Mulu Eco Lodge that inspired me and gave me lots of ideas. That is why I was able to start a lot of things.

When others see what I am doing now I have big hope that it will spread and they will improve aswell.

But that is also the big problem of Ethiopia as a country. It would need people willing to work-together with a concept or a plan. „

Anhang 2: Global Solar Atlas, Bericht Thame

Dieser Anhang besteht aus zwei Seiten und wurde auf der Webseite globalsolaratlas.info am 07.05.2021 als pdf Bericht erzeugt.

GLOBAL SOLAR ATLAS BY WORLD BANK GROUP

Thame

10°46'01", 37°38'52"

Dembecha-Feres Bed road, Thame, Ethiopia

Time zone: UTC+03, Africa/Addis_Ababa [EAT]

Report generated: 7 May 2021

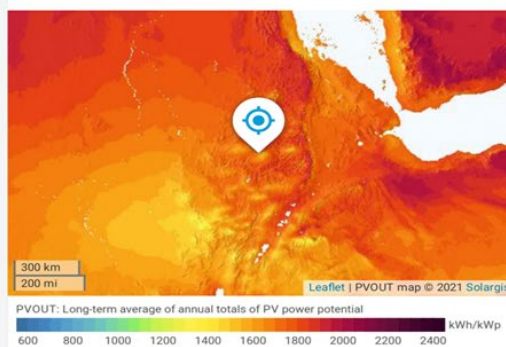
SITE INFO

Map data		Per year
Specific photovoltaic power output	PVOUT specific	1589 kWh/kWp
Direct normal irradiation	DNI	1483 kWh/m ²
Global horizontal irradiation	GHI	1900 kWh/m ²
Diffuse horizontal irradiation	DIF	864 kWh/m ²
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI opta	1961 kWh/m ²
Optimum tilt of PV modules	OPTA	16 / 180 °
Air temperature	TEMP	13.3 °C
Terrain elevation	ELE	2905 m

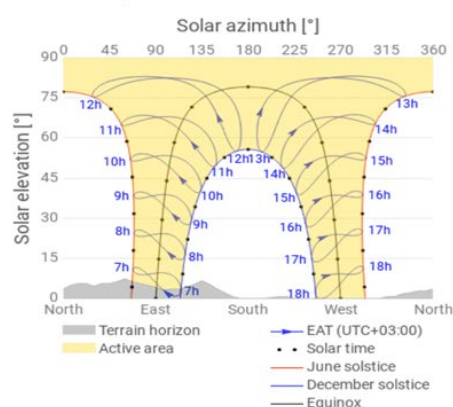
Map



PVOUT map



Horizon and sunpath



GLOBAL SOLAR ATLAS

BY WORLD BANK GROUP

PV ELECTRICITY AND SOLAR RADIATION

Annual averages

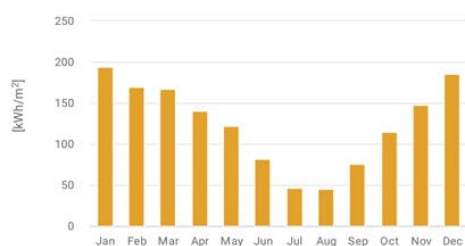
Direct normal irradiation

1490

kWh/m² per year

Monthly averages

Direct normal irradiation



Average hourly profiles

Direct normal irradiation [Wh/m²]



Average hourly profiles

Direct normal irradiation [Wh/m²]

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6												
6 - 7												
7 - 8	170	167	258	292	269	160	63	62	184	309	391	335
8 - 9	598	588	541	513	441	298	137	136	372	537	645	675
9 - 10	759	753	704	655	578	410	236	224	453	619	720	757
10 - 11	830	834	765	659	540	413	232	221	402	543	659	798
11 - 12	814	810	717	589	458	353	209	200	277	402	553	727
12 - 13	752	735	615	487	389	270	162	148	176	290	472	651
13 - 14	666	646	516	419	336	219	116	105	144	238	413	574
14 - 15	584	549	432	355	287	202	106	101	158	226	367	504
15 - 16	486	433	395	291	240	166	97	103	154	204	313	433
16 - 17	380	331	264	234	191	114	71	73	118	195	260	344
17 - 18	223	213	176	158	142	81	54	53	81	108	94	156
18 - 19	7	16	25	15	22	22	14	8	4			
19 - 20												
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	6268	6075	5407	4689	3933	2725	1504	1437	2527	3685	4905	5993

Anhang 4: Datenblatt zur Wasserpumpe Rainmaker 2 von Sun Culture

Dieser Anhang besteht aus fünf Seiten und wurde als pdf von der Webseite sunculture.com heruntergeladen.

Phone: +254(0) 700 327 002
Email: sales@sunculture.com



ClimateSmart Solar Energy System



Description

ClimateSmart is a revolutionary all-in-one battery, charge controller, and IoT-enabled control system for productive use off-grid solar home systems. The design of the device is optimized for off-grid agricultural households in Africa, Asia and Latin America, operating high-efficiency electric water pumps used for irrigation, livestock and household water supply while simultaneously powering lights and DC appliances.

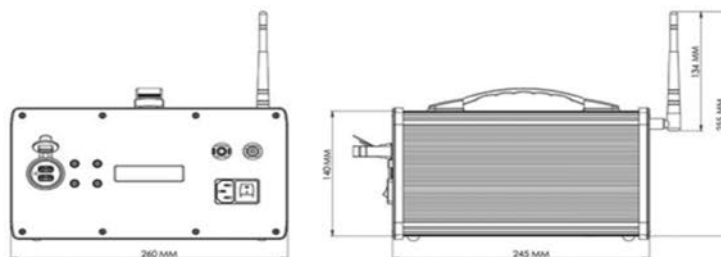
Features

- High capacity lithium-ion battery with 5-year lifespan
- Maximum Power Point Tracking (MPPT) charge controller significantly increases the efficiency of battery charging, particularly on cloudy days
- GSM, Wi-Fi, Bluetooth, and 433 MHz LoRa capability
- Over-the-air (OTA) programming and machine learning enable continuous system improvement and optimization tailored to each user
- 1 24V DC output to power high-efficiency electric water pumps
- 4 12V DC outputs to power lights and DC appliances
- 2 5V DC USB outputs to charge mobile phones, tablets, radios, and similar devices with rechargeable batteries
- Microprocessor-based digital dry run protection detects when water source runs dry, disables pump and sends SMS to customer

Phone: +254(0) 700 327 002
Email: sales@sunculture.com



Technical Specifications



Enclosure	
Material	Aluminum
Physical Dimensions (L x W x H)	260mm x 245mm x 140mm
Weight	8.55 kg (18.85 lb)

Environmental Specifications	
Recommended Operating Temperature (Charging)	0°C - 45°C
Recommended Operating Temperature (Discharging)	-20°C - 60°C
Recommended Storage Temperature	-20°C - 45°C
Protection Rating	IP64*IP64 dust and water resistance rating. ClimateSmart is dust tight and water splashing against the enclosure from any direction has no harmful effects.

Electrical Characteristics	
Configuration	8S6P 29.6V 15Ah
Nominal Voltage	29.6V
Charge Voltage	33.6V
Minimum Discharge End Voltage	22.4V
Nominal Capacity (20°C ± 5°C)	15Ah (0.2C)
Minimum Capacity (20°C ± 5°C)	14.5Ah (0.2C)
Maximum Continuous Charge Current	10A
Maximum Continuous Discharge Current (Total)	15.6A
24V DC C14 Female Port	10A
12V DC 5.5mm Barrel Jacks (x4)	3.5A
5V DC USB Ports (x2)	2.1A
Internal Impedance (20°C ± 5°C)	< 200mΩ (AC Impedance, 1000 Hz)

Solar Panel Specifications	
Maximum Input Power	300 Watts
Maximum Input Voltage	44 Voc

Handling Precautions

- Do not heat or throw ClimateSmart into a fire.
- Do not use or leave ClimateSmart near a heat source or fire.
- Do not leave ClimateSmart in a storage environment or inside of a car where the temperature may be above 60°C. Also do not charge/discharge in such conditions.

Certificates & Compliance with Standards

- IEC60950
- IEC61730
- ISO 9001:2015 Certified



Warranty

- Warranty of 3 years from delivery date

Phone: +254(0) 700 327 002
Email: sales@sunculture.com



RainMaker 2 – Solar Water Pump for Off-Grid Households



Description

RainMaker 2 is a high-efficiency submersible solar water pump designed for off-grid households in Africa, Asia, and Latin America as a near zero recurring cost replacement for diesel, electric and manual water pumps used for irrigation, livestock and household water supply. The pump is available in 2 versions – RM2C is a centrifugal axial flow pump with a maximum total dynamic head of 20 meters, and RM2S is a positive displacement screw pump with a maximum total dynamic head of 70 meters.

Features

- Submersible pump with 70 meter (230 feet) maximum pumping head
- 50% peak wire-to-water efficiency
- Suitable for direct pumping to sprinkler or drip irrigation systems
- Up to 3,000 liters per hour with recommended SunCulture ClimateSmart™ Solar Energy System
- 24V Brushless DC motor with 10-year lifetime

Phone: +254(0) 700 327 002
Email: sales@sunculture.com



Technical Specifications

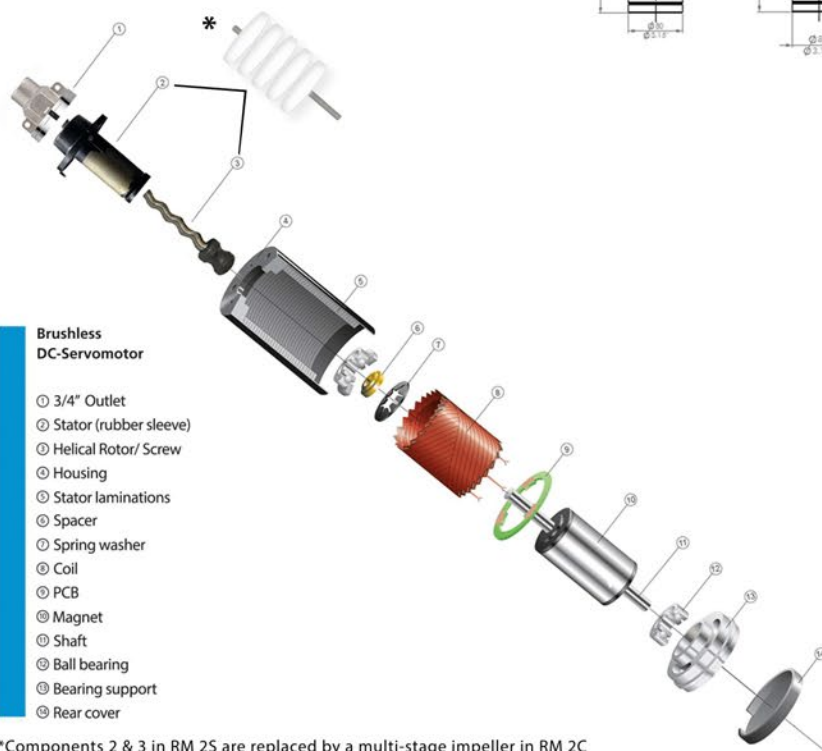
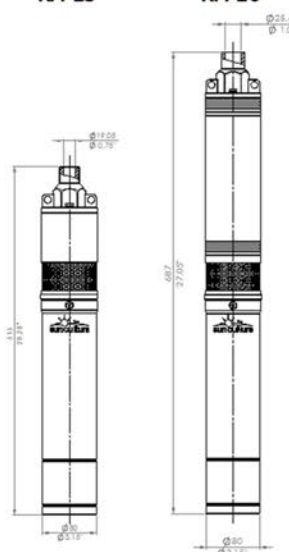
General Information & Dimensions		
	RainMaker 2S	RainMaker 2C
Casing Material	SS 304	SS 304
Pump Classification	Positive Displacement Screw	Centrifugal Axial Flow
Pump Height	515mm (20.28")	687mm (27.05")
Pump Diameter	80mm (3.15")	80mm (3.15")
Weight	8.5 kg (18.74 lb)	6.75 kg (14.88 lb)
Outlet Size	19.05mm (0.75")	25.4mm (1")

Environmental	
Operating Temperature Range	-40°C - 60°C
Storage Temperature	-40°C - 80°C
Humidity	100% non-condensing
Protection Rating	IP68 *Protected from total dust ingress and long term submersion in water beyond 1m depth

Electrical		
	RainMaker 2S	RainMaker 2C
Nominal Pump Power	150 Watts	150 Watts
Nominal Pump Voltage	24 Volts DC	24 Volts DC
Nominal Pump Current	6.25 Amps	6.25 Amps
Max. Pump Power	150 Watts	200 Watts
Max. Pump Voltage	34 Volts DC	34 Volts DC
Max. Pump Current	6.25 Amps	8 Amps

RM 2S

RM 2C



*Components 2 & 3 in RM 2S are replaced by a multi-stage impeller in RM 2C

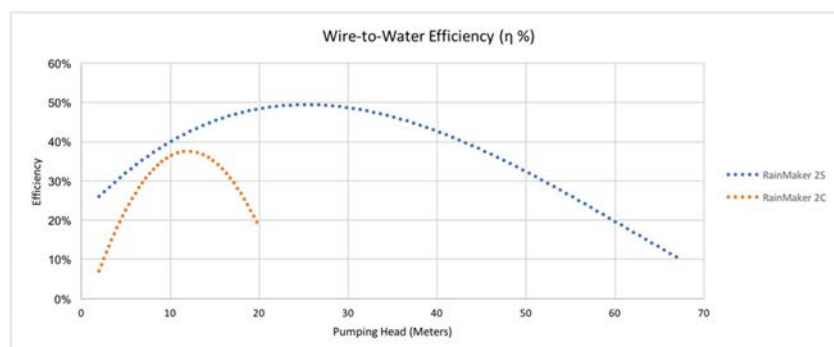
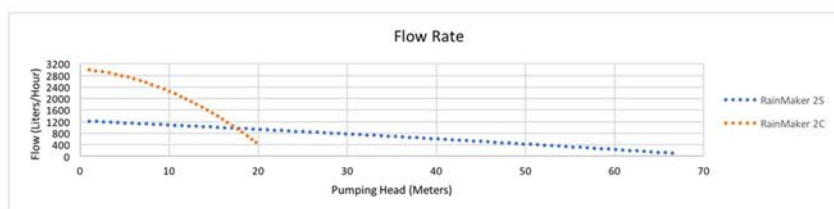
Phone: +254(0) 700 327 002
Email: sales@sunculture.com



Technical Specifications

Mechanical	RainMaker 2S	RainMaker 2C
Max. Head	70 meters (230 feet)	20 meters (65.5 feet)
Max. Flow	1.2 m3/h	3.0 m3/h
Peak Wire-to-Water Efficiency	50%	38%

Pump Flow & Efficiency Curves



Certificates & Compliance with Standards

- IEC 60335-1
- IEC 60335-2-41
- ISO 9001:2015 Certified



Warranty

- Warranty of 3 years from delivery date

Anhang 5: Produktübersicht von SunCulture

Dieser Anhang besteht aus zwei Seiten und wurde als pdf von der Webseite sunculture.com heruntergeladen.



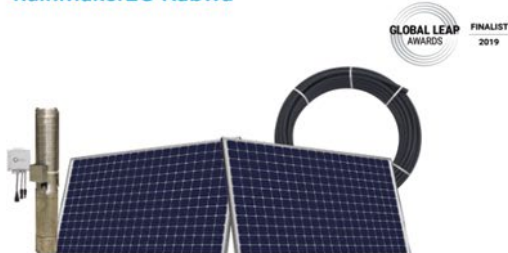
ClimateSmart™ Battery + TV



Features: 444Wh ClimateSmart™ Battery equivalent to 100Ah lead acid battery with 3 times capacity of competitor system- enabling TV runtime of 20+ hours.

Includes: 310W solar panel (5x power output of competing systems), 32" Digital LED TV with integrated sound system, and 4 high-brightness 600 lumen LED bulbs (6x brightness of competition.)

RainMaker2C Kubwa



Features: Maximum head is 30M / 100feet, maximum flow rate of 2,750 Litres per hour, Optimized irrigation solution for up to 2 acre farm.

Includes: Submersible pump, 50M electric cable, controller, 2 x 310W solar panel, 50M (40MM) HDPE Pipe and necessary fittings.

ClimateSmart™ Direct



Features: Maximum head is 30M / 100feet, maximum flow rate of 1,100 Litres per hour, Optimized irrigation solution for up to 1 acre farm.

Includes: Submersible pump, 50M electric cable, controller, 310W solar panel, 50M (25MM) HDPE Pipe and necessary fittings.

RainMaker2 with ClimateSmart™ Battery



Features: Maximum head is 65M / 215feet, maximum flow rate of 3,000 Litres per hour, Optimized irrigation solution for up to 2 acre farm.

Includes: Submersible pump, 50M electric cable, ClimateSmart Battery, 310W solar panel, 100M (25MM) HDPE Pipe, 4 sprinklers, necessary fittings, 4 LED Light Bulbs and USB charging ports.

Option: 160W portable panel.

Add-ons: 32" TV and/or Direct Drip Irrigation system (Sold separately).

Add on: Direct Drip Irrigation**NEW**

Features: 500M2 (1/8 acre) drip irrigation system, emitter flow rate of 0.5 Litres per hour.

Includes: 1,000M of 20cm or 30cm drip irrigation tape, 50M (25MM) HDPE Pipe, Pressure regulator valve, Filtration system, Connectors, valves and necessary fittings.

Option: Customized Drip Irrigation System.

Add on: 32" TV

Includes: 32" Solar powered TV with 150 episode of Shamba shape up.

ClimateSmart™ Flow Rate (Liters / Hour)

Total Head	ClimateSmart™ Direct	RainMaker2C Kubwa	RainMaker2 with ClimateSmart™ Battery
15ft / 4.5m	1,000	2500	2500
30ft / 9m	900	2200	2200
60ft / 18m	800	1500	850
90ft / 27m	700	900	700
130ft / 40m	n/a	n/a	500
200ft / 61m	n/a	n/a	100

Product Pricing

Product	Cash (Ksh.)	Deposit (Ksh.)	Tenor (Months)	Monthly (Ksh.)	Total (Ksh.)
ClimateSmart™ Direct	55,000	5,999	24	2,850	74,399
Rainmaker 2C Kubwa	83,000	7,999	24	4,000	103,999
ClimateSmart™ Battery + TV	99,999	10,999	24	4,699	123,775
Rainmaker2 with ClimateSmart™ Battery	103,000	9,999	30	4,300	138,999
RainMaker2 with ClimateSmart™ Battery + Direct Drip	122,000	10,999	36	4,300	165,799
RainMaker2 with ClimateSmart™ Battery + TV	123,000	11,999	36	4,300	166,799
RainMaker2 with ClimateSmart™ Battery + Direct Drip + TV	142,000	30,999	36	4,300	185,799

Free Services

- ✓ FREE delivery to nearest Fargo Courier
- ✓ Installation and Training
- ✓ After Sales Support
- ✓ 3 year warranty for Pump System
- ✓ 2 year warranty for Drip Irrigation System
- ✓ 2 year warranty for ClimateSmart™ battery + TV

Payment Instructions**Bank Transfer**

Bank name: I&M Bank Ltd., Acc. Name: SunCulture Kenya Ltd., Acc. No.: 0190 0743 9812 10, Bank Code: 57, Branch: Riverside, Branch Code: 019, Swift Code: IMBLKENA.

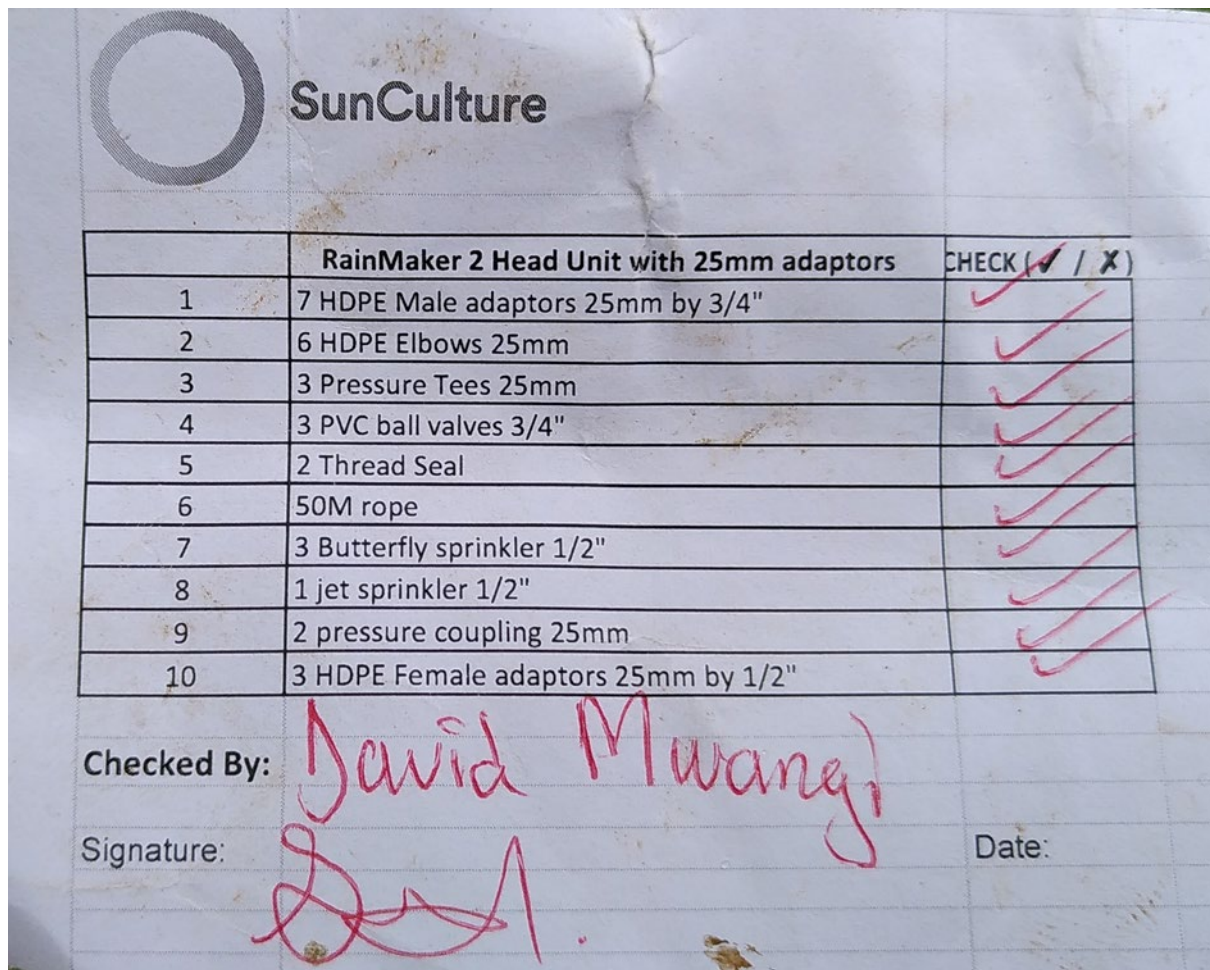
M-PESA Options

Cash Payment only Paybill No.: 921162, Acc. No.: Your National ID

Lipa Polepole Paybill No.: 862451, Acc. No.: Your National ID

Anhang 6: Liste an Bewässerungszubehör von Rainmaker 2

Dieser Anhang ist eine Fotografie, die von der Verfasserin im Projektgebiet, auf dem Hof von Metadel Asaye, am 14.06.2021 aufgenommen wurde. Sie zeigt eine Liste aller Materialien, die zur Wasserversorgung auf Metadels Hof installiert wurden und Teil der Rainmaker2 Wasserpumpe sind.



SunCulture

	RainMaker 2 Head Unit with 25mm adaptors	CHECK (✓ / ✗)
1	7 HDPE Male adaptors 25mm by 3/4"	✓
2	6 HDPE Elbows 25mm	✓
3	3 Pressure Tees 25mm	✓
4	3 PVC ball valves 3/4"	✓
5	2 Thread Seal	✓
6	50M rope	✓
7	3 Butterfly sprinkler 1/2"	✓
8	1 jet sprinkler 1/2"	✓
9	2 pressure coupling 25mm	✓
10	3 HDPE Female adaptors 25mm by 1/2"	✓

Checked By: *David Mwangi*

Signature: *[Signature]* Date:

Anhang 7: Kostenvoranschlag zur Rainmaker2 Climate Smart Battery

Dieser Anhang besteht aus einer Seite. Es ist ein Kostenvoranschlag der Firma Solar Development PLC aus Addis Abeba, Äthiopien, zu dem Produkt 'Rainmaker2 Climate Smart Battery'.

PROFORMA INVOICE**To:** Valerie**Date:** 13/07/2021**Ref. No.:** SO.Q/053/21

Project Name: Supply of Solar Water Pump

No.	Item Description	Qty	Unit Price ex. VAT	Total Price ex. VAT
1	RainMaker 2 ClimateSmart Battery	1	73,913.04	73,913.04
Sub Total				73,913.04
15% VAT				11,086.96
Total Including VAT				85,000.00

Selling Conditions

1. Delivery Time: Direct from stock.
2. Validity of Quote: 2 weeks.
3. Payment Terms: 100% when stock is received.
4. Attachment: Datasheet
5. Warranty: 1 year

Prepared by: Aklil Asregid

Anhang 8: Kostenvoranschlag und Dimensionierung eines PV-Systems

Dieser Anhang besteht aus einer Seite und ist ein Kostenvoranschlag der Firma Solar Development PLC aus Addis Abeba, Äthiopien, zu einem PV-System. Gleichzeitig ist daraus die von der Firma durchgeführte Dimensionierung des Systems abzulesen.



PROFORMA INVOICE

To: Mulu Ecolodge Cop.
Email : muluecolodge@gmail.com

Date: 24/08/2021
Ref. No.: SO.Q/044/21

Project Name: Supply of Solar System Components

No.	Item Description	Qty	Unit Price ex. VAT	Total Price ex. VAT
1	SOLAR23 SM150, 150Wp Poly Solar Module	1	6,913.04	6,913.04
2	Luminous 150Ah,12V Solar Battery	1	20,786.09	20,786.09
3	Steca PR1515, 15A, 12/24V Charge Controller	1	5,391.30	5,391.30
			Sub Total	33,090.43
			15% VAT	4,963.57
			Total Including VAT	38,054.00

Selling Conditions:

1. Delivery Time: Direct from stock.
2. Validity of Quote: 2 weeks.
3. Payment Terms: 100% when stock is received.
4. Attachment: Datasheet
5. Warranty: 1 year
6. Installation cost and accessories are not included.

Prepared by: Aklil Asreged

Bole Sub City, Woreda 03, House No. 2144 - 3rd Floor

E-mail: info@soldev.net

I

Tel: +251-113-712-377

I

Fax: +251-113-712-378

Autor:innen



Valerie Seitz, geboren am 17.04.1996 in München, studiert von 2016 bis 2021 Energieverfahrenstechnik als Fernstudium an der Wilhelm-Büchner-Hochschule in Darmstadt. Während dieser Zeit lebt und arbeitet sie in Äthiopien auf dem Land in der Mulu Eco Lodge, einem Start-Up, das sie gemeinsam mit ihrem Mann Abiy Alem gründete. Die Mulu Eco Lodge (siehe mululodge.com) ist ein Ort für Ökotourismus mit Gästen aus aller Welt und für Sozialprojekte mit und für die lokale Bauerngemeinschaft. Seit Oktober 2021 arbeitet sie zusätzlich als externe Lehrbeauftragte für die Wilhelm Büchner Hochschule und beginnt einen Masterstudiengang in Nachhaltigkeitsmanagement.



Seit 2015 lehrt Prof. Dr. rer. nat. Birgit Zimmermann an der Wilhelm Büchner Hochschule. Nach ihrem Studium der Oecotrophologie an der Justus-Liebig-Universität Gießen promovierte sie an der Fakultät „Allgemeine und Angewandte Naturwissenschaften“ der Universität Hohenheim im interdisziplinären Bereich der Ernährung. Im Anschluss an ihre wissenschaftliche Tätigkeit an der Universität Hohenheim arbeitete Prof. Zimmermann in der Gesundheitskommunikation. Seit 2021 ist sie zugleich Prodekanin des Fachbereichs Energie-, Umwelt- und Verfahrenstechnik.

Ansprechpartner:innen

Prof. Dr. Birgit Zimmermann

Wilhelm Büchner Hochschule, Hilpertstrasse 31, D-64295 Darmstadt, Germany,

E-Mail: Birgit.Zimmermann@wb-fernstudium.de

Überblick über die Bände der Schriftenreihe

- Band 1 / 2022: **Christoph Sternberg, Ralf Isenmann**
Untersuchung regionaler Besonderheiten im
Individualverkehr bei ausgewählten deutschen
Smart-City-Projekten
- Band 2 / 2022: **Fabian Fries, Manfred Hahn**
Dynamik von Doppelstern-Systemen
- Band 3 / 2022: **Stefan Kaden, Ralf Isenmann**
IT based Framework facilitating Technology
Roadmapping striving for Sustainability
- Band 4 / 2022: **Hannah Seibel, Manfred Hahn**
Von der Raupe zur Drohne –
Leichtbau in Anlehnung an die Natur
- Band 5 / 2022: **Thomas König, Manfred Hahn**
Statische Festigkeitsberechnung einer
5-Speichen Fahrradfelge aus
Faserverbundkunststoff
- Band 6 / 2022: **Alrik Selle, Manfred Hahn**
Ertüchtigung der automatisierten
Wetterbeobachtung unter extremen
Vereisungen



INFORMATIK



INGENIEUR-
WISSENSCHAFTEN



ENERGIE-,
UMWELT- UND
VERFAHRENSTECHNIK



WIRTSCHAFTS-
INGENIEURWESEN
UND TECHNOLOGIE-
MANAGEMENT



**WILHELM BÜCHNER
HOCHSCHULE**
Mobile University of Technology

EINE HOCHSCHULE DER KLETT GRUPPE.

www.wb-fernstudium.de

www.wb-online-campus.de

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck – auch auszugsweise – nicht gestattet.