
BACHELORARBEIT

Herr
Yizhang Shen

**Komplementäre Mikronetz-
Energiespeicherkonfiguration
für Wind-, Photovoltaik- und
Wasserkraft**

2021

BACHELORARBEIT

Komplementäre Mikronetz- Energiespeicherkonfiguration für Wind-, Photovoltaik- und Wasserkraft

Autor/in:
Herr Yizhang Shen

Studiengang:
Elektro- und Informationstechnik

Seminargruppe:
EI17sA-BC

Erstprüfer:
Prof. Dr.-Ing. Alexander Lampe

Zweitprüfer:
M. Sc. Jan Roloff

Einreichung:
Mittweida, 25.04.2021

BACHELOR THESIS

Complementary microgrid energy storage configuration for wind, photovoltaic and hydro-power

author:

Mr. Yizhang Shen

course of studies:

Electrical and information technology

seminar group:

E17sA-BC

first examiner:

Prof. Dr.-Ing. Alexander Lampe

second examiner:

M. Sc. Jan Roloff

submission:

Mittweida, 25.04.2021

Bibliografische Angaben

Shen Yizhang:

Komplementäre Mikronetz-Energiespeicherkonfiguration für Wind-, Photovoltaik- und Wasserkraft

Complementary microgrid energy storage configuration for wind, photovoltaic and hydro-power

52 Seiten, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences,
Fakultät Ingenieurwissenschaften, Bachelorarbeit, 2021

Referat

Als erneuerbare und saubere Energie haben Wind, Licht und Wasser die Vorteile der Null-Verschmutzung, der weiten Verbreitung und des großen Inhalts. Das komplementäre Multiquellen-Mikronetz, das durch verteilte Energiequellen wie Wind, Licht und Wasser aufgebaut wird, kann den Nutzungsgrad der Ressourcen effektiv verbessern. Daher konzentriert sich dieses Papier hauptsächlich auf Wind/Licht/Wasser/Speicher-Multi-Source komplementäres Microgrid, um die hybride Energiespeicherkonfiguration des komplementären Microgrids zu untersuchen.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	II
Abkürzungsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
1 Einleitung.....	1
1.1 Motivation	1
1.2 Aufgabenstellung und Vorgehensweise	2
2 Dezentrale Stromerzeugung.....	3
2.1 Dezentrale Stromerzeugung	3
2.2 Windressourcen und Windkraft	5
2.2.1 Windressourcen	5
2.2.2 Grundprinzip	7
2.3 Wasserressource und Wasserkraft	8
2.3.1 Wasserressource	9
2.3.2 Kleinwasserkraft.....	9
2.3.3 Grundprinzip	11
2.4 Sonnenressource und Photovoltaik.....	11
2.4.1 Sonnenressource	12
2.4.2 Grundprinzip	14
3 Mikronetz und Energiespeicher	17
3.1 Mikronetz	17
3.1.1 Inselnetz und Verbundnetz.....	17
3.1.2 Grundkomponenten in Mikronetzen	19
3.1.3 Vorteile und Herausforderungen von Mikronetzen	21
3.2 Energiespeichertechnik.....	23
3.2.1 Energiespeicher System	24
3.2.2 Klassifizierung von Energiespeicherung.....	25
3.2.3 Ermöglichung erneuerbarer Energien	28
4 Energiespeicherkonfiguration.....	30
4.1 Machbarkeitsanalyse des Aufbaus von Wind-, Photovoltaik- und Wasserkraftmikronetzen am Beispiel von Yunnan.....	31
4.1.1 Yunnans Energieressourcen	31
4.1.2 Der Bedarf an ländlicher Elektrifizierung	32

4.1.3	Ergänzende Vorteile von Energieressourcen	33
4.1.4	Notstromversorgung.....	34
4.2	Problem in Microgrids	34
4.2.1	Der Bedarf an Energiespeicherung	35
4.2.2	Hybride Speichersysteme	35
5	Fazit.....	40
5.1	Ausblick	40
Literaturverzeichnis		XIV
Anlagen.....		XV
Eigenständigkeitserklärung		XVI

Abkürzungsverzeichnis

DG	Distributed Generation
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
PV	Photovoltaik
SOC	Super capacitor state of charge
TPES	The total primary energy supply
WASG	Wide area synchronous grid

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1 Dezentralen Stromerzeugung</i>	4
Abbildung 2 Typische Windkraftanlagenkomponenten	7
Abbildung 3 Top 10 Länder nach kumulierter Windkapazität im Jahr 2019.....	9
Abbildung 4 Kleinwasserkraftwerk.....	10
Abbildung 5 Sonnenressource	12
Abbildung 6 Die gesamte Primärenergieversorgung.....	13
Abbildung 7 Solarzelle.....	15
Abbildung 8 Schematische Darstellung eines einfachen Inselnetzes.....	18
Abbildung 9 Die Solarsiedlung, ein nachhaltiges Wohngemeinschaftsprojekt in Freiburg, Deutschland.	20
Abbildung 10 Energiespeicher.....	24
Abbildung 11 Detaillierte Querschnittszeichnung am Beispiel des Raccoon-Mountain-Pumpspeicherwerks	25
Abbildung 12 NASA G2-Schwungrad, Drehzahl 60.000/min, Energiemenge 525 Wh, Leistung 1 kW	26
Abbildung 13 Wärmespeicher im Heizkraftwerk Salzburg Nord.....	28
Abbildung 14 Energieautarke Dörfer	30
Abbildung 15 Superkondensator	36
Abbildung 16 Akkumulator SOC Veränderungsprozess	37
Abbildung 17 Superkondensator Energiespeicherkapazität.....	38

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Benötigte Landflächen	14
---------------------------------------	----

1 Einleitung

Mit der Erschöpfung der traditionellen fossilen Energiequellen und der rasanten wirtschaftlichen Entwicklung wird es immer dringlicher, die Energienutzung zu verbessern und die Energiestruktur zu verändern. In diesem Zusammenhang haben die dezentrale Stromerzeugung und die damit verbundenen Technologien weltweit immer mehr Aufmerksamkeit auf sich gezogen

Wie in [1] angegeben, dezentrale Energiequellen wie Wind, Licht und Wasser haben große Reserven, sind weit verbreitet, sauber und sicher; dezentrale Stromquellen wie Windkraft, Photovoltaik und Kleinwasserkraft sind flexibel und dezentral einsetzbar und können sich an den dezentralen Strombedarf und die Ressourcenverteilung anpassen. Dezentrale Stromerzeugungssysteme und das Netz können als Backup füreinander verwendet werden, was die Zuverlässigkeit und Sicherheit der Stromversorgung des Netzes effektiv verbessern kann.

Wie in [2] angegeben, aufgrund der Nachteile der Eigenschaften der dezentralen Stromversorgung wie Zufälligkeit, Volatilität und Unterbrechung sowie der Existenz vieler Probleme wie hohe Investitionskosten und Unkontrollierbarkeit auf das große Netz werden die Auswirkungen der dezentralen Stromversorgung auf das große Netz jedoch häufig durch Einschränkungen, Isolierung und andere Mittel reduziert. Dies hat in gewissem Maße die Auslastung der verteilten Ressourcen reduziert und ihre weitere Entwicklung eingeschränkt.

Die Kombination aus Energiespeichertechnologie und dezentralem Erzeugungssystem kann die Stromqualität des Systems verbessern, einen schnellen Strompuffer bereitstellen und Übergangstrom liefern, wenn das System an das Netz angeschlossen oder in den unabhängigen Betriebsmodus umgeschaltet wird, was die Zuverlässigkeit der dezentralen Erzeugung effektiv verbessert.

1.1 Motivation

Mit der Entwicklung der modernen Gesellschaft steigen sowohl in den Städten als auch auf dem Land die Anforderungen an die Stromversorgung ständig an, und dieser Anstieg beschränkt sich nicht nur auf den Anstieg des Strombedarfs, sondern auch auf die Stabilität und Zuverlässigkeit des Stromversorgungsprozesses und andere Indikatoren.

In den Industrieländern steigt der Anteil der erneuerbaren Energien. 2019 waren drei Entwicklungsländer unter den Top 5 der Länder mit der höchsten erneuerbaren

Energieerzeugung. In einigen Fällen sind erneuerbare Energien die günstigste Option für Entwicklungsländer. In einigen Ländern/Regionen sind die konventionellen Stromnetze unzuverlässig, so dass neue Wege der Stromnutzung und -bereitstellung notwendig sind. Erneuerbare Energien sind die Antwort auf dieses Problem. Zum Beispiel müssen die Menschen in bestimmten Teilen Palästinas Strom von Israel kaufen, was sie von einem anderen Land für Strom abhängig macht. Abgesehen von der fehlenden Unabhängigkeit kann dieser Prozess teuer und fehlerhaft sein. Durch die Nutzung erneuerbarer Energiequellen könnten die Palästinenser eine zuverlässigere Stromquelle haben, die näher an ihrem Wohnort liegt.

1.2 Aufgabenstellung und Vorgehensweise

Das Ziel dieser Arbeit ist es, komplementäre Multiquellen-Mikronetze aufzubauen, die die komplementären Eigenschaften von Wind, Licht und Wasser berücksichtigen, sowie hybride Energiespeichersysteme, die Batterien mit Superkondensatoren kombinieren. Es kann die Auslastungsrate von verteilten Ressourcen weiter verbessern, die negativen Auswirkungen einer großen Anzahl von intermittierenden Stromquellen auf das Netz reduzieren, das Niveau des koordinierten Betriebs des Netzes verbessern, die Qualität und Zuverlässigkeit des Systems erhöhen und erhebliche wirtschaftliche und ökologische Vorteile generieren.

Die Arbeit ist in drei Teile untergliedert: Einleitung, Hauptteil und das Fazit. In der Einleitung wird die Relevanz der Arbeit, die Herangehensweise, sowie die Ziele der Arbeit erläutert. Im Hauptteil werden dezentrale Energiequellen, Energiespeichersysteme und die damit verbundenen Inhalte kurz vorgestellt. Es wird ein Ansatz für Komplementäre Mikronetz-Energiespeicherkonfiguration für Wind-, Photovoltaik- und Wasserkraft vorgeschlagen. Der letzte Teil stellt den Schlussteil dieser Arbeit dar, indem ein Fazit gezogen und ein Ausblick gegeben wird.

2 Dezentrale Stromerzeugung

Windturbinen, Photovoltaikzellen und Kleinwasserkraftwerke sind die Basis der drei großen dezentralen Erzeugungssysteme. Die Funktionsprinzipien und mathematischen Modelle dieser drei dezentralen Stromquellen werden im Folgenden ausführlich beschrieben.

2.1 Dezentrale Stromerzeugung

Dezentrale Erzeugung (englisch: Distributed Generation, DG), auch bekannt als dezentrale Stromerzeugung, ist eine Technologie und ein System, das eine Vielzahl von kleinen, netzgekoppelten Geräten zur Erzeugung und Speicherung von Energie nutzt. Wie der Name schon sagt, handelt es sich um eine der dezentraleren Formen der Stromerzeugung, im Gegensatz zur dezentralen Erzeugung, die zentralisiert ist.

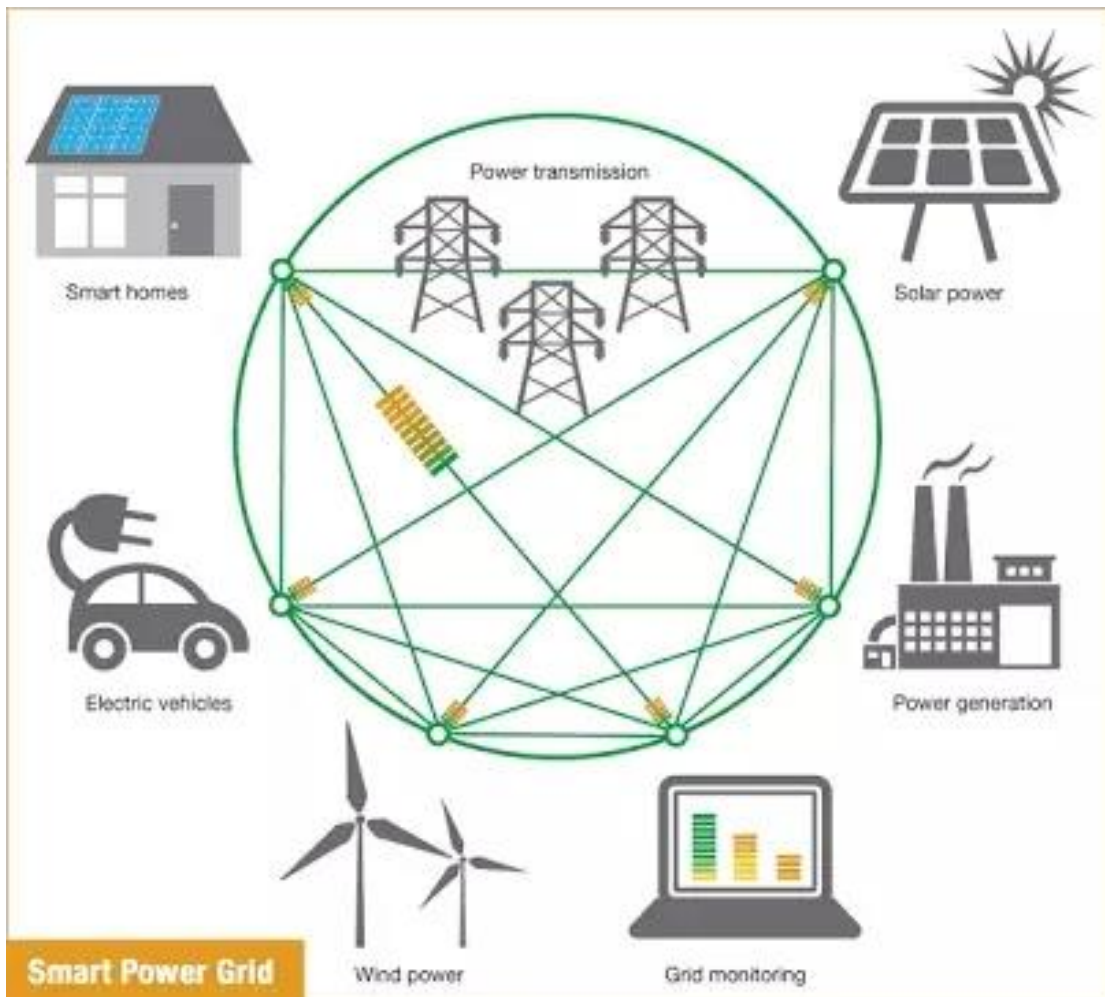


Abbildung 1 Dezentralen Stromerzeugung

Quelle IEEE

Konventionelle Kraftwerke, wie Kohle-, Erdgas- und Kernkraftwerke sowie Staudämme und große Solarkraftwerke, sind zentralisiert und erfordern oft die Übertragung von Strom über große Entfernungen. Im Gegensatz dazu sind dezentrale Erzeugungsanlagen dezentrale, modulare und flexiblere Technologien, d.h. sie befinden sich in der Nähe der Lasten, die sie bedienen, allerdings mit Kapazitäten von nur 10 Megawatt (MW) oder weniger.

2.2 Windressourcen und Windkraft

Wind ist ein natürliches Phänomen auf der Erde, das durch die Wärme der Sonnenstrahlung verursacht wird. Aufgrund der ungleichmäßigen Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonne ist der Druck in der Atmosphäre ungleichmäßig verteilt, was zu Temperaturunterschieden und konvektiver Bewegung der Luft in horizontaler Richtung führt, wodurch Wind entsteht.

Die räumliche und zeitliche Verteilung von Windrichtung und -geschwindigkeit ist komplex. Da die Luftbewegung eine gewisse kinetische Energie hat, ist Wind eine natürliche Energiequelle, die genutzt werden kann, die sogenannte Windenergie. Da die Windenergie nicht durch menschliche Ausbeutung erschöpft wird, ist sie eine erneuerbare Energiequelle.

Windenergie ist die Verwendung von Wind zur Bereitstellung mechanischer Energie durch Windkraftanlagen, um elektrische Generatoren für elektrische Energie zu drehen.

2.2.1 Windressourcen

Windrichtung und Windgeschwindigkeit sind zwei wichtige Parameter, die die Windeigenschaften beschreiben.

Die Windgeschwindigkeit wird normalerweise verwendet, um die Größe des Windes zu messen. Die Windgeschwindigkeit ist die Strecke, die Luft in einer horizontalen Richtung pro Zeiteinheit zurücklegt. Er wird verwendet, um den Weg des Windes pro Zeiteinheit zu berechnen.

Die übliche Windmesshöhe beträgt 10 m. Entsprechend den klimatischen Eigenschaften des Windes werden üblicherweise die drei Jahre mit der höchsten, niedrigsten und mittleren jährlichen Durchschnittswindgeschwindigkeit in den 10-Jahres-Windgeschwindigkeitsdaten als repräsentative Jahre ausgewählt, und die Windeistungsdichte der drei Jahre wird separat berechnet und dann gemittelt, und die Ergebnisse können als lokaler Jahresdurchschnitt verwendet werden.

Die Windgeschwindigkeit ist eine hochgradig stochastische Größe, und aufgrund der sich schnell ändernden Luftströmungen sind die täglichen, saisonalen und jährlichen Schwankungen der Windgeschwindigkeit signifikant, sehr instabil.

Weltweit bietet die bodennahe Windenergie nach einer 2013 im Fachjournal Nature Climate Change erschienenen Arbeit theoretisch Potential für über 400 Terawatt Leistung. Würde zusätzlich die Energie der Höhenwinde genutzt, wären sogar 1.800 Terawatt möglich, etwa das 100-Fache des derzeitigen weltweiten Energiebedarfs. Bei der Nutzung des gesamten Potentials der Windenergie hätte dies ausgeprägte Veränderungen des Klimas zur Folge; bei der Nutzung von nur 18 Terawatt, was dem aktuellen Weltprimärenergiebedarf entspricht, wären keine wesentlichen Einflüsse auf das Klima zu erwarten. Es gilt daher als unwahrscheinlich, dass das geophysikalische Windenergiepotential dem Ausbau der Windstromerzeugung Grenzen setzt.

2.2.2 Grundprinzip

Die Umwandlung von Windenergie in Strom ist eine der grundlegendsten Arten der Windenergienutzung. Die Windkraftanlagenkomponenten sind im Bild dargestellt.

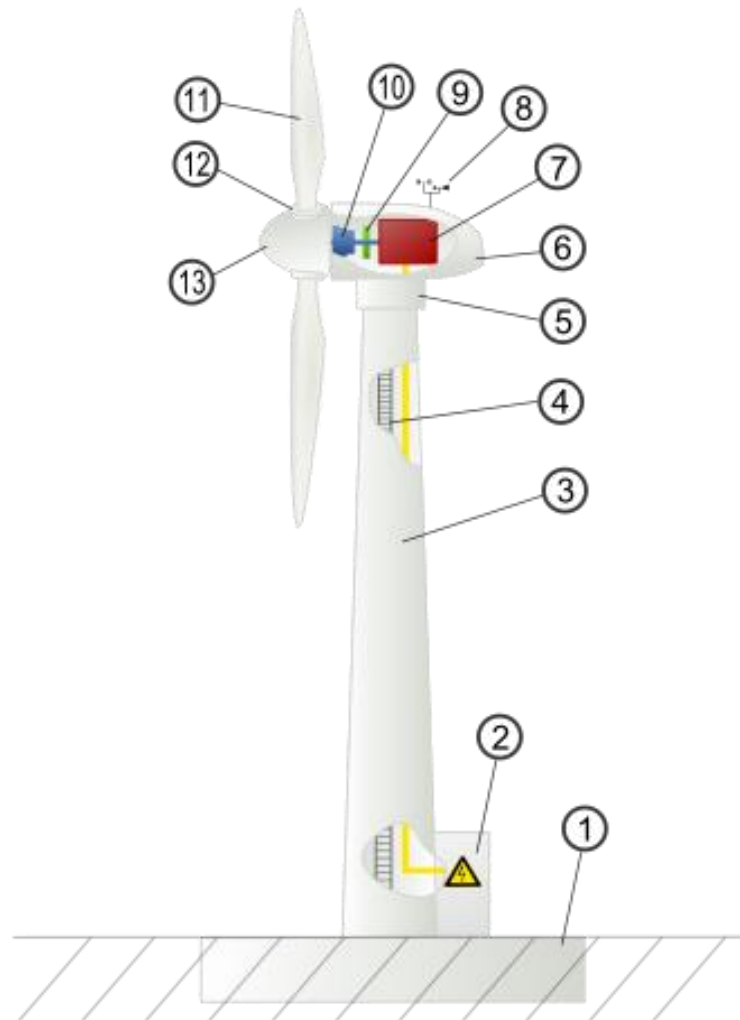


Abbildung 2 Typische Windkraftanlagenkomponenten

Quelle:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/ac/Wind_turbine_int.svg/800px-Wind_turbine_int.svg.png

1. Stiftung
2. Anschluss an das stromnetz

3. Turm
4. Aufstieg
5. Windrichtungsnachstellung
6. Gondel
7. Generator
8. Messinstrumente
9. Bremse
10. Getriebe
11. Rotorblatt
12. Blattverstellung
13. Rotornabe

Ein Windpark ist eine Gruppe von Windkraftanlagen am selben Ort, an dem Strom erzeugt wird. Ein großer Windpark kann aus mehreren hundert einzelnen Windkraftanlagen bestehen, die über ein ausgedehntes Gebiet verteilt sind. Windkraftanlagen verbrauchen etwa 0,3 Hektar Land pro MW, aber das Land zwischen den Turbinen kann für landwirtschaftliche oder andere Zwecke genutzt werden. Zum Beispiel hat der Windpark Gansu, der größte Windpark der Welt, mehrere tausend Turbinen. Ein Windpark kann sich auch vor der Küste befinden. Fast alle großen Windkraftanlagen haben das gleiche Design - eine Windkraftanlage mit horizontaler Achse und einem Aufwindrotor mit drei Blättern, der an einer Gondel auf einem hohen Röhrenturm befestigt ist. In einem Windpark sind einzelne Turbinen mit einem Mittelspannungs-Stromerfassungssystem (häufig 34,5 kV) und einem Kommunikationsnetz verbunden. Im Allgemeinen wird zwischen jeder Turbine in einem voll ausgebauten Windpark ein Abstand von $7D$ (7-facher Rotordurchmesser der Windkraftanlage) eingestellt. In einem Umspannwerk wird dieser elektrische Mittelspannungsstrom mit einem Transformator zum Anschluss an das Hochspannungs-Stromübertragungssystem in der Spannung erhöht.

2.3 Wasserressource und Wasserkraft

Wasserkraft ist die Verwendung von fallendem oder schnell fließendem Wasser zur Stromerzeugung oder zum Antrieb von Maschinen. Dies wird erreicht durch die Umwandlung der kinetischen Energie des Wassers in elektrische oder mechanische Energie. Wasserkraft ist eine Form der grünen Energieerzeugung.



Abbildung 3 Top 10 Länder nach kumulierter Windkapazität im Jahr 2019

Quelle GWEC

2.3.1 Wasserressource

Weltweit werden derzeit durch die Wasserkraft pro Jahr rund 2.300 Milliarden kWh erzeugt. Dies entspricht der Energieproduktion von rd. 400 Kernkraftwerken. Riesige Wasserkraftreserven mit rd. 15.000 Milliarden kWh/a liegen noch brach. Mit diesem Potential von 17.300 Mrd. kWh könnte der Weltstrombedarf gedeckt werden.

2.3.2 Kleinwasserkraft

Kleinwasserkraft bezeichnet die Nutzung der hydraulischen Energie durch dezentrale, kleine Wasserkraftwerke.



Abbildung 4 Kleinwasserkraftwerk

Quelle DW

Die Normen für die Kapazität von Kleinwasserkraftwerken sind von Land zu Land unterschiedlich.

Kleinwasserkraft-Ressourcen in ländlichen Gebieten und abgelegenen Bergregionen sind weit verbreitet und eignen sich für die Entwicklung und Nutzung entsprechend den lokalen Bedingungen. Sie ist nicht nur ein wichtiger Teil der ländlichen Energieversorgung, sondern auch eine leistungsstarke Ergänzung zum großen Stromnetz. Die Kleinwasserkraft leistet nicht nur einen wichtigen Beitrag zur Erhöhung der Energieversorgung, zur Verbesserung der Energiestruktur, zum Schutz der ökologischen Umwelt und zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen, sondern spielt auch eine einzigartige Rolle bei der Notstromversorgung.

Aufgrund der geringen Investition, des geringen Risikos, des stabilen Wirkungsgrads und der niedrigen Betriebskosten sind Kleinwasserkraftwerke in der Region leichter zu bauen.

2.3.3 Grundprinzip

Die Menge der Wasserenergie hängt von zwei Elementen ab: Durchfluss und Gefälle. Im natürlichen Zustand sind die Wasserfälle entlang des Flusses verteilt, der Fluss ist variabel, und die Energie, die sie darstellen, wird in der Strömung verbraucht. Um die im Fluss enthaltenen hydraulischen Ressourcen zu nutzen, ist es notwendig, eine Reihe von technischen Maßnahmen zu ergreifen, um die verstreuten Wasserfälle zu einer nutzbaren Fallhöhe zu konzentrieren und den natürlichen Fluss zu steuern und zu regulieren, damit die Energie des Flusses zur Stromerzeugung genutzt werden kann. Durch das Aufstauen des Flusses, das Anheben des Wasserspiegels flussaufwärts, das Erzeugen eines gewissen Gefälles und das Leiten des Wasserstroms durch das Umleitungsrohr zur Turbine, wodurch die Turbine in Drehung versetzt wird, wird die Energie des Wasserstroms in rotierende mechanische Energie umgewandelt. Die rotierende Turbine treibt den Generator an und wandelt die rotierende mechanische Energie in elektrische Energie um, was das Grundprinzip der Stromerzeugung aus Wasserkraft ist.

Die integrierte technische Anlage zur Umwandlung von Wasserenergie in Elektrizität wird als Wasserkraftwerk bezeichnet, das aus einer Reihe von Wasserkraftwerksgebäuden und verschiedenen Arten von Wasserkraftanlagen besteht, die zur Erzeugung von Elektrizität aus Wasserenergie installiert sind. Diese Gebäude dienen dazu, den natürlichen Wasserfluss zu konzentrieren, um die Fallhöhe zu bilden, den natürlichen Wasserfluss zu sammeln und zu regulieren und ihn an die Turbine weiterzuleiten, die in Kombination mit dem Generator betrieben wird und die konzentrierte Wasserenergie in Strom umwandelt.

2.4 Sonnenressource und Photovoltaik

Solarenergie ist die Umwandlung von Energie aus Sonnenlicht in Elektrizität, entweder direkt mit Photovoltaik (PV), indirekt mit konzentrierter Solarenergie oder einer Kombination. Konzentrierte Solarstromanlagen verwenden Linsen oder Spiegel und Solar-Tracking-Systeme, um einen großen Bereich des Sonnenlichts in einen kleinen Strahl zu fokussieren. Photovoltaikzellen wandeln Licht mithilfe des Photovoltaikeffekts in elektrischen Strom um.

2.4.1 Sonnenressource

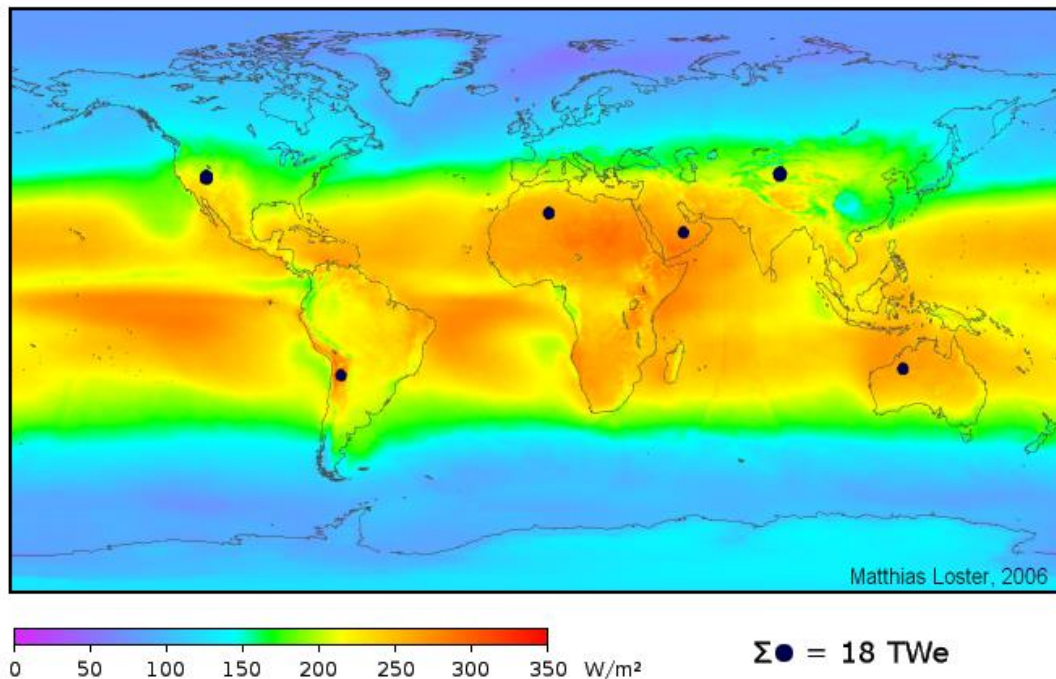


Abbildung 5 Sonnenressource

Quelle https://www.ez2c.de/ml/solar_land_area/

Die Farben auf der Karte zeigen die lokale Bestrahlungsstärke, gemittelt über drei Jahre (von 1991 bis 1993, 24 Stunden pro Tag). Die Abdeckung durch Wolken wurde aufgrund Daten von Wettersatelliten miteinbezogen. Solaranlagen, in Grösse und Form der schwarz markierten Flächen, könnten die 2007 Nachfrage nach Primärenergie mehr als abdecken (bei einer angenommenen Umwandlungseffizienz von nur 8%).

Die gesamte Primärenergieversorgung (TPES) ist die Summe aller Energieressourcen weltweit, wie Kohle, Öl, Gas, Kern- und Wasserkraft. Diese Ressourcen werden in Benzin, Erdgas, Strom und viele andere Energieträger umgewandelt. Im Jahr 2007 betrug die TPES 504 Exajoule (EJ) oder, im Jahresdurchschnitt, 16 Terawatt (TW). Die blaue Linie in der Grafik unten zeigt, wie sich der TPES in den letzten Jahrzehnten entwickelt hat.

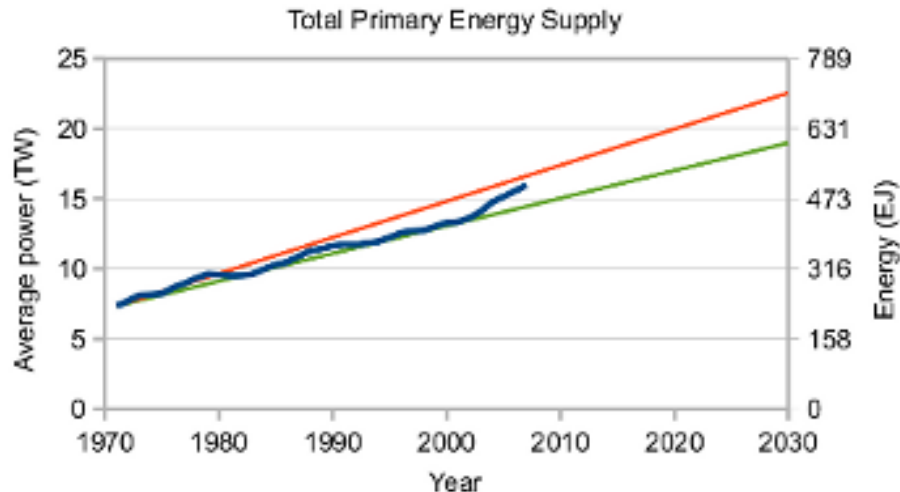


Abbildung 6 Die gesamte Primärenergieversorgung

Quelle https://www.ez2c.de/ml/solar_land_area/

Die Internationale Energieagentur (IEA) schätzt, dass der durchschnittliche TPES bis zum Jahr 2030 auf der Grundlage der aktuellen Politik 23 TW betragen wird (rote Linie) bzw. 19 TW, wenn die derzeit in Erwägung gezogene Politik eingeführt wird (grüne Linie).

Wenn das TPES vollständig aus Sonnenlicht erzeugt werden soll, würde ein bestimmter Anteil der Erdoberfläche für die Erfassung benötigt. Die Größe dieser Fläche hängt weitgehend von der Effizienz der Umwandlungstechnologie ab. Ein Beispiel mit einem Umwandlungswirkungsgrad von 8 % ist in der Abbildung oben auf dieser Seite dargestellt: Sechs Scheiben, jede groß genug, um eine durchschnittliche Leistung von 3 TW zu erzeugen, sind über die Welt verteilt in Wüsten, also in Gebieten mit viel Sonnenlicht und wenig Bevölkerung. Die Wüstenstandorte, ihre Größe, die durchschnittliche Sonnenlichtintensität und die benötigten Flächen sind in der folgenden Tabelle aufgeführt:

Standort / Wüste	Größe der Wüste km²	Benötigte Fläche km²	Bestrahlungsstärke W / m²
Afrika, Sahara	9,064,960	144,231	260
Australia, Great Sandy	388,500	141,509	265
China, Takla Makan	271,950	178,571	210
Middle-East, Arabian	2,589,910	138,889	270
South America, Atacama	139,860	136,364	275
U.S.A., Great Basin	492,100	170,455	220

Tabelle 1 Benötigte Landflächen

Quelle https://www.ez2c.de/ml/solar_land_area/

Während dieses Beispiel die benötigten Landflächen visualisiert, ist es in vielen Fällen besser, Energie näher am Ort des Bedarfs zu erzeugen. Dächer von Gebäuden und kleine Solarparks sind solche Orte, die Übertragungskosten sparen und durch Zusammenschaltung sonnenarme Zeiten ausgleichen.

2.4.2 Grundprinzip

Solarenergie ist die Umwandlung von Energie aus Sonnenlicht in Elektrizität, entweder direkt mit Photovoltaik (PV), indirekt mit konzentrierter Solarenergie oder einer Kombination.

Eine Solarzelle oder Photovoltaikzelle (PV) ist ein Gerät, das mithilfe des Photovoltaikeffekts¹ Licht in elektrischen Strom umwandelt.



Abbildung 7 Solarzelle

Quelle <https://www.pngsucai.com/png/1668349.html>

Eine Photovoltaik Komplettanlage besteht aus den Photovoltaikmodulen, dem Wechselrichter, dem Montagegestell, einem Zähler, Solarkabeln und einigen Kleinteilen. Der wichtigste Bestandteil einer Photovoltaikanlage sind die Solarzellen, welche miteinander zu Solarmodulen verbunden werden. Untereinander werden mehrere Solarmodule dann zu einem Solargenerator zusammengefügt, der die Sonnenenergie in elektrischen Strom umwandelt.

¹ Der photovoltaische Effekt ist die Erzeugung von Spannung und Strom in einem Material bei Belichtung mit Licht.

Vom Generator der Kompletanlage wird Gleichstrom erzeugt. Da die meisten Haushaltsgeräte mit Wechselstrom laufen, muss der erzeugte Strom umgewandelt werden. Dazu wird ein so genannter Wechselrichter eingebaut. Solargenerator und Wechselrichter werden mit speziellen Solarkabeln für Gleichstrom verbunden, der Wechselstrom über einen Zähler gemessen und in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Wird mehr Strom benötigt als die Photovoltaik Anlage erzeugt, wird Strom aus dem öffentlichen Netz genutzt. Bei unabhängigen Inselanlagen wird der erzeugte Strom in einer Batterie gespeichert und kann im Haushalt zeitunabhängig genutzt werden.

3 Mikronetz und Energiespeicher

3.1 Mikronetz

Ein Mikronetz ist eine dezentrale Gruppe von Stromquellen und Lasten, die normalerweise zu und synchron mit dem traditionellen verbunden arbeiten Wide Area synchrone Raster (macrogrid), kann aber auch zu disconnect „Inselbetrieb“ und die Funktion autonom als physikalische oder wirtschaftliche Bedingungen diktieren. [3] Mikronetze werden am besten von lokalen Energiequellen versorgt, bei denen die Übertragung und Verteilung von Strom von einer großen zentralisierten Energiequelle zu weit und zu kostspielig ist, um ausgeführt zu werden. In diesem Fall wird das Mikronetz auch als autonomes, eigenständiges oder isoliertes Mikronetz bezeichnet. [4]

Microgrids unterscheiden sich von allgemeinen dezentralen Erzeugungssystemen und haben typischerweise zwei Betriebsart. Außerdem sollte das Microgrid in der Lage sein, zwischen den beiden Betriebsarten zu wechseln.

3.1.1 Inselnetz und Verbundnetz

Ein Inselnetz ist ein lokal abgegrenztes Stromnetz, das nur aus einem oder einigen wenigen Elektrizitätswerken besteht, ein räumlich enges Gebiet versorgt und keinen direkten elektrischen Anschluss zu anderen Stromnetzen besitzt. Kleinere Inselnetze, die nur Verteilnetzebenen umfassen, werden auch als Microgrid bezeichnet.

Vom Inselnetz ist das Verbundnetz zu unterscheiden. Der Übergang mag jedoch unscharf sein, da in größeren Inselnetzen eine echte Verbundnetzstruktur aufgebaut sein kann. Technisch ist ein Inselnetz vom Verbundnetz darin abgegrenzt, dass in einem Inselnetz die Sekundärregelung nur auf die Konstanthaltung der Netzfrequenz ausgelegt ist. In Verbundnetzen übernimmt die Sekundärregelung zusätzlich auch die Aufgabe, die Übertragungsleistung auf sogenannte Kuppelleitungen, das sind Verbundleitungen zwischen einzelnen Netzsegmenten, in bestimmten Bereichen zu halten.

Bei einem Inselnetz kann es sich um eine wirkliche Insel, bei denen es nicht wirtschaftlich erscheint eine Anbindung an das Stromnetz auf dem Festland herzustellen, oder auch um unabhängige Stromnetze auf dem Festland handeln.

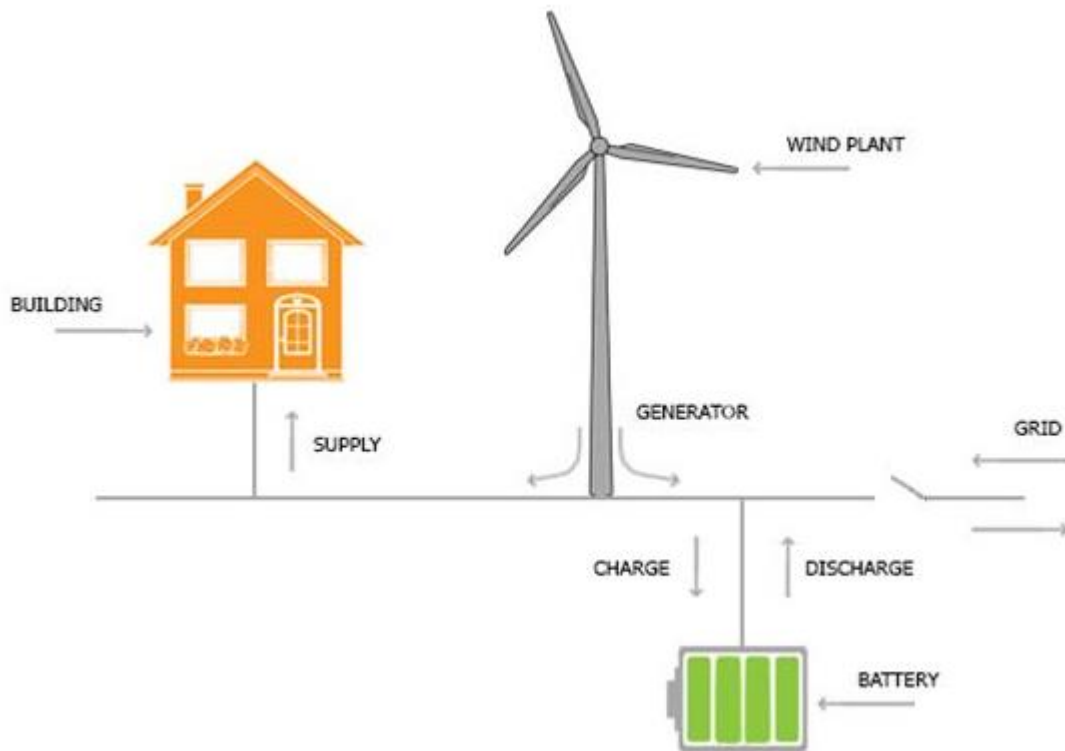


Abbildung 8 Schematische Darstellung eines einfachen Inselnetzes

Quelle Le Anh Dao - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=49622589>

Als Verbundnetz werden große, räumlich benachbarte und elektrisch verbundene Stromnetze bezeichnet, die eine Vielzahl von Kraftwerken und Verbrauchern umfassen. Sie stellen den Gegenpol zu den räumlich getrennten und im Umfang kleineren Inselnetzen dar.

Inselnetze sind eine elektrische Energieversorgungsaufgabe mit einer geringen Anzahl von Stromerzeugungsanlagen und Verbrauchern. Inselnetze haben keine synchrone Anbindung an ein großes Netz und müssen daher alle für einen dauerhaften und sicheren Betrieb notwendigen Aufgaben selbst erbringen können. Microgrids sind ähnlich, haben aber auch die Möglichkeit, sich synchron an ein großes Netz

anzuschließen. Inselnetze sind typischerweise das Ergebnis von geografischen Gegebenheiten, die den Anschluss an ein großes Netz kostspielig oder sogar unmöglich machen. Microgrids hingegen sind darauf ausgelegt, die Versorgungssicherheit zu erhöhen, falls das große Netz ausfällt.

Eine Herausforderung von Insel- und Microgrids ist es, das Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch zu halten. Für diese Aufgabe werden häufig noch Dieselgeneratoren eingesetzt. Aufgrund der unvermeidlichen Abhängigkeit von Brennstoffpreis und Liefermöglichkeiten sowie der Umweltbelastung wird nach Alternativen gesucht. Wind- und Solarenergie sind unabhängig von importierten Brennstoffen und umweltfreundlich und daher die logische Wahl für Insel- und Mikronetze. Allerdings sind diese erneuerbaren Energien von der variablen Verfügbarkeit der Ressourcen abhängig; ihre maximale Produktionskapazität unterliegt daher natürlichen Schwankungen. Daher ist es wichtig, Strategien zu entwickeln, wie Erzeugung und Verbrauch bestmöglich aufeinander abgestimmt werden können. Dazu kann eine gezielte Anpassung des Verbrauchs, eine Erhöhung der Produktionskapazitäten oder eine zeitliche Verschiebung der elektrischen Energie durch Speicherung sinnvoll sein.

Erneuerbare Energien werden häufig über wechselrichterbasierte Systeme angeschlossen. Diese haben komplexe Reglerstrukturen, wodurch ihr Verhalten der Systemprogrammierung zugänglicher und weniger von physikalischen Reaktionen abhängig ist. Infolgedessen kann viel Funktionalität implementiert werden, die jedoch auf die spezifische Insel- oder Mikronetzumgebung abgestimmt werden muss. Die statische und dynamische Stabilität kann in Simulationen untersucht werden. Hierfür sind detaillierte Modelle des Netzes, der Lasten, der vorhandenen Generatoren und der Regler notwendig. So kann das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten vor der Integration neuer Systeme auf Kompatibilität und Sicherheit überprüft werden. Insbesondere der Übergang eines Mikronetzes vom Parallelbetrieb in den autarken Betrieb kann hohe Anforderungen an das Regelverhalten stellen.

3.1.2 Grundkomponenten in Mikronetzen

-Lokale Generation

Ein Mikronetz präsentiert verschiedene Arten von Erzeugungsquellen, die dem Benutzer Strom, Heizung und Kühlung zuführen. Diese Quellen sind in zwei

Hauptgruppen unterteilt: Wärmeenergiequellen (z. B. Erdgas- oder Biogaserzeuger oder Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung) und erneuerbare Energiequellen (z. B. Windkraftanlagen und Solarenergie).



Abbildung 9 Die Solarsiedlung, ein nachhaltiges Wohngemeinschaftsprojekt in Freiburg, Deutschland.

Quelle

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b8/SoSie%2BSoSchiff_Ansicht.jpg/1024px-SoSie%2BSoSchiff_Ansicht.jpg

-Verbrauch

In einem Mikronetz bezieht sich der Verbrauch lediglich auf Elemente, die Strom, Wärme und Kühlung verbrauchen. Diese reichen von einzelnen Geräten bis hin zu Beleuchtungs- und Heizsystemen von Gebäuden, Gewerbezentren usw. Bei steuerbaren Lasten kann der Stromverbrauch entsprechend geändert werden auf die Anforderungen des Netzwerks.

-Energiespeicher

In Microgrid kann der Energiespeicher mehrere Funktionen ausführen, z. B. die Sicherstellung der Stromqualität, einschließlich Frequenz- und Spannungsregelung, die Glättung der Leistung erneuerbarer Energiequellen, die Bereitstellung von Notstrom für das System und eine entscheidende Rolle bei der Kostenoptimierung. Es umfasst alle chemischen, elektrischen, Druck-, Gravitations-, Schwungrad- und Wärmespeichertechnologien. Wenn in einem Mikronetz mehrere Energiespeicher mit unterschiedlichen Kapazitäten verfügbar sind, ist es bevorzugt, deren Laden und Entladen so zu koordinieren, dass sich ein kleinerer Energiespeicher nicht schneller entlädt als solche mit größeren Kapazitäten. Ebenso ist es bevorzugt, dass ein kleinerer nicht vollständig aufgeladen wird, bevor er über größere Kapazitäten verfügt. Dies kann unter einer koordinierten Kontrolle der Energiespeicher anhand ihres Ladezustands erreicht werden. Wenn mehrere Energiespeichersysteme (die möglicherweise an unterschiedlichen Technologien arbeiten) verwendet werden und von einer eindeutigen Überwachungseinheit (einem Energiemanagementsystem - EMS) gesteuert werden, kann eine hierarchische Steuerung auf der Grundlage einer Master / Slave-Architektur den besten Betrieb sicherstellen, insbesondere in der Inselmodus.

3.1.3 Vorteile und Herausforderungen von Mikronetzen

-Vorteile

Ein Mikronetz ist in der Lage, im netzgekoppelten und eigenständigen Modus zu arbeiten und den Übergang zwischen beiden zu handhaben. Im netzgekoppelten Modus können Nebendienstleistungen durch Handelsaktivitäten zwischen dem Mikronetz und dem Hauptnetz erbracht werden. Andere mögliche Einnahmequellen bestehen. Im Inselmodus sollte die im Mikronetz erzeugte Wirk- und Blindleistung, einschließlich der vom Energiespeichersystem bereitgestellten, mit dem Bedarf lokaler Lasten im Gleichgewicht sein. Microgrids bieten eine Option, um die Notwendigkeit einer Reduzierung der CO₂-Emissionen auszugleichen und in Zeiten, in denen keine erneuerbaren Energiequellen verfügbar sind, weiterhin zuverlässige elektrische Energie bereitzustellen. Microgrids bieten auch die Sicherheit, vor Unwettern und Naturkatastrophen geschützt zu sein, da sie nicht über große Vermögenswerte und kilometerlange oberirdische Kabel und andere elektrische Infrastruktur verfügen, die nach solchen Ereignissen gewartet oder repariert werden müssen. Ein Mikronetz kann aufgrund geplanter Wartung, verschlechterter Stromqualität oder eines Mangels im

Host-Netz, Fehlern im lokalen Netz oder aus wirtschaftlichen Gründen zwischen diesen beiden Modi wechseln. Durch die Änderung des Energieflusses durch Mikronetzkomponenten erleichtern Mikronetze die Integration erneuerbarer Energien wie Photovoltaik-, Wind- und Brennstoffzellengenerationen, ohne dass das nationale Verteilungssystem neu gestaltet werden muss. Moderne Optimierungsmethoden können auch in das Mikronetz-Energiemanagementsystem integriert werden, um Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Ausfallsicherheit zu verbessern.

-Herausforderungen

Microgrids und die Integration von DER-Einheiten im Allgemeinen bringen eine Reihe von betrieblichen Herausforderungen mit sich, die bei der Entwicklung von Steuerungs- und Schutzsystemen berücksichtigt werden müssen, um sicherzustellen, dass das derzeitige Maß an Zuverlässigkeit und die potenziellen Vorteile nicht wesentlich beeinträchtigt werden der DG-Einheiten (Distributed Generation) sind voll ausgelastet. Einige dieser Herausforderungen ergeben sich aus Annahmen, die typischerweise für herkömmliche Verteilungssysteme gelten und nicht mehr gültig sind, während andere das Ergebnis von Stabilitätsproblemen sind, die früher nur auf Übertragungssystemebene beobachtet wurden. Die wichtigsten Herausforderungen beim Schutz und der Kontrolle von Mikronetzen sind: Bidirektionale Stromflüsse: Das Vorhandensein von DG-Einheiten (Distributed Generation) im Netzwerk bei niedrigen Spannungspegeln kann zu umgekehrten Stromflüssen führen, die zu Komplikationen bei der Schutzkoordination, unerwünschten Stromflussmustern, Fehlerstromverteilung und Spannungssteuerung führen können. Stabilitätsprobleme: Wechselwirkungen zwischen dem Steuerungssystem von DG-Einheiten können lokale Schwingungen erzeugen, die eine gründliche Analyse der Stabilität kleiner Störungen erfordern. Darüber hinaus können Übergangsaktivitäten zwischen den Betriebsarten Netzanschluss und Inselbetrieb (Standalone) in einem Mikronetz zu vorübergehender Instabilität führen. Jüngste Studien haben gezeigt, dass eine Gleichstrom-Mikrogitterschnittstelle bei gleicher Leitungsleistung zu einer deutlich einfacheren Steuerungsstruktur, einer energieeffizienteren Verteilung und einer höheren Stromtragfähigkeit führen kann. Modellierung: Viele Merkmale traditioneller Schemata wie die Prävalenz dreiphasiger symmetrischer Bedingungen, hauptsächlich induktiver Übertragungsleitungen und Lasten mit konstanter Leistung, gelten nicht unbedingt für Mikronetze, weshalb Modelle überarbeitet werden müssen. Geringe Trägheit: Microgrids weisen eine geringe Trägheitscharakteristik auf, die sie von Massenstromversorgungssystemen unterscheidet, bei denen eine große Anzahl von Synchrongeneratoren eine relativ große Trägheit gewährleistet. Dieses Phänomen ist offensichtlicher, wenn im Mikronetz ein erheblicher Anteil von DG-Einheiten mit Leistungselektronik Schnittstelle vorhanden ist. Die geringe Trägheit im System kann zu starken Frequenzabweichungen im Inselbetrieb führen, wenn kein geeigneter

Steuermechanismus implementiert ist. Synchrongeneratoren laufen mit der gleichen Frequenz wie das Netz und sorgen so für einen natürlichen Dämpfungseffekt bei plötzlichen Frequenzschwankungen. Synchronwandler sind Wechselrichter, die Synchrongeneratoren nachahmen, um eine Frequenzsteuerung bereitzustellen. Weitere Optionen sind die Steuerung des Batteriespeichers oder ein Schwungrad, um die Frequenz auszugleichen. Unsicherheit: Der Betrieb von Mikronetzen erfordert die Beseitigung großer Unsicherheiten, auf die sich der wirtschaftliche und zuverlässige Betrieb von Mikronetzen stützt. Lastprofil und Wetter sind zwei Unsicherheiten, die diese Koordination in isolierten Mikronetzen schwieriger machen, wo das kritische Gleichgewicht zwischen Nachfrage und Angebot und typischerweise höhere Ausfallraten von Komponenten die Lösung eines stark gekoppelten Problems über einen längeren Zeithorizont erfordern. Diese Unsicherheit ist aufgrund der verringerten Anzahl von Lasten und der stark korrelierten Schwankungen der verfügbaren Energieressourcen höher als in Massenstromsystemen (der Mittelungseffekt ist viel geringer).

3.2 Energiespeichertechnik

Energiespeicherung ist das Auffangen von zu einem Zeitpunkt erzeugter Energie zur Nutzung zu einem späteren Zeitpunkt, um Ungleichgewichte zwischen Energiebedarf und Energieerzeugung zu reduzieren.



Abbildung 10 Energiespeicher

Quelle Clarke-Energy

3.2.1 Energiespeicher System

Energie kann auf verschiedene Arten gespeichert werden. Dies kann z.B. die Speicherung von Strom in Batterien oder Ultrakondensatoren sein.

Alternativ kann die Energie in ein Gas wie Biogas, Biomethan oder Wasserstoff umgewandelt und als Kraftstoff statt als Strom gespeichert werden. Diese gasförmigen Kraftstoffe. Manchmal auch als "E-Fuels" bekannt, können in hocheffizienten, dezentralen Gasmotor-Kolbenkraftwerken eingesetzt werden, um sowohl Strom als auch Wärme am Ort des Verbrauchs zu erzeugen, was dazu beiträgt, Geld zu sparen und unsere Energieversorgung zu dekarbonisieren.

Energiespeichersysteme (ESS) können Energie zeitlich verschieben, indem sie in Zeiten des Überschusses speichern und in Zeiten des Defizits freisetzen und so zur Steigerung der Energieeffizienz beitragen.

Es gibt zahlreiche Anwendungen für Energiespeichertechnologien, einschließlich der Bereitstellung von Unterstützungsdiensten für das Stromnetz oder für einen einzelnen

Verbraucher "hinter dem Zähler". Energiespeichertechnologien können als eigenständige Systeme oder zusammen mit der Stromerzeugung als Teil eines Hybrid- oder Microgrid-Systems eingesetzt werden.

<https://www.clarke-energy.com/energy-storage/>

3.2.2 Klassifizierung von Energiespeicherung

-Pumpspeicherkraftwerk

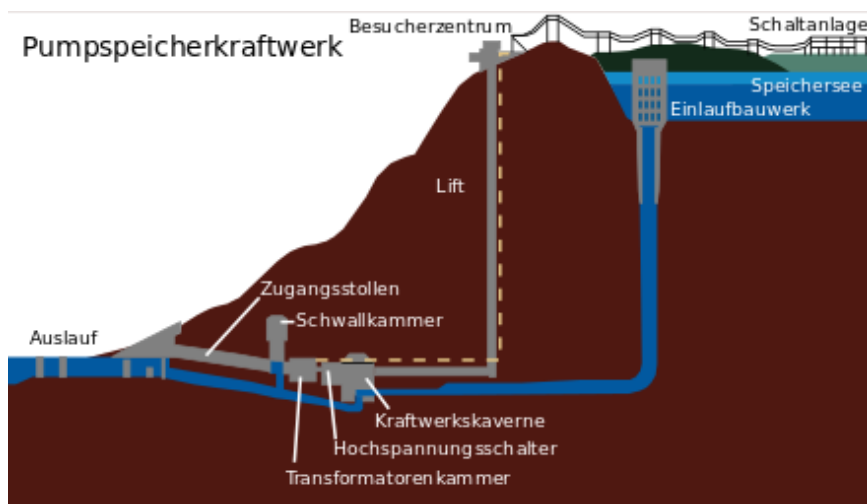


Abbildung 11 Detaillierte Querschnittszeichnung am Beispiel des Raccoon-Mountain-Pumpspeicherkraftwerks

Quelle Von Funkjoker23 - Raccoon Mountain Pumped-Storage Plant.svg, Gemeinfrei,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19334572>

Die Pumpspeicherung wird in der Regel durch ein Pumpspeicherkraftwerk realisiert, das aus einem Ober- und Unterbecken, einem Wassertransportsystem und einem Stromerzeugungssystem besteht. Bei geringer Last wird Wasser aus dem unteren Reservoir in das obere Reservoir gepumpt und in Form von potenzieller Energie gespeichert; bei höherer Last wird das im oberen Reservoir gespeicherte Wasser von oben nach unten zum Generator gedrückt, um Arbeit zu verrichten, und gelangt dann in das untere Reservoir, wo die potenzielle Energie wieder in Strom umgewandelt wird.

-Schwungradspeicherung

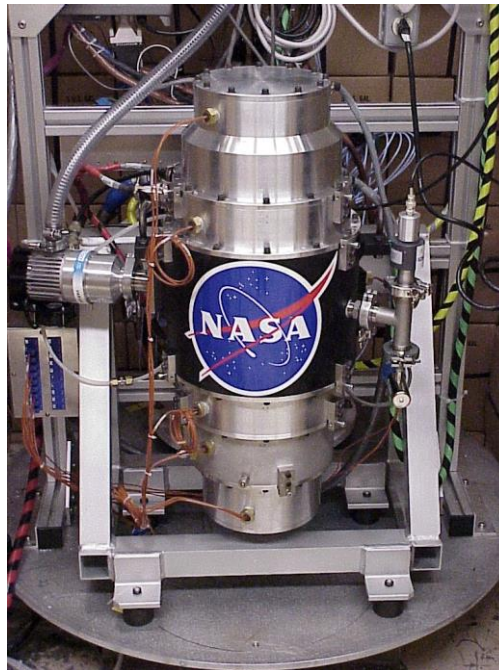


Abbildung 12 NASA G2-Schwungrad, Drehzahl 60.000/min, Energiemenge 525 Wh, Leistung 1 kW

Quelle Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=475478>

Bei der Schwungrad-Energiespeicherung wird überschüssige elektrische Energie zum Antrieb eines Motors verwendet, der den Rotor des Schwungrads zum Drehen und Beschleunigen antreibt, so dass elektrische Energie in Form von kinetischer Energie gespeichert wird; wenn Strom knapp ist, treibt der Schwungradrotor dann den Motor zur Stromerzeugung an.

-Druckluftspeicherwerk

Die Druckluftspeicherung ist eine Technologie, bei der der Kompressor die Luft komprimiert und in ein bestimmtes Speichersystem einspeist, wenn das System reich an Energie ist; wenn das System arm an Energie ist, wird die komprimierte Luft im Speichersystem wieder freigegeben, um Arbeit zu verrichten.

-Chemische Energie

Die elektrochemische Energiespeicherung ist ein Prozess, der chemische Reaktionen nutzt, um elektrische Energie als chemische Energie zu speichern und wieder freizugeben.

-Supraleitender Magnetischer Energiespeicher

Die supraleitende magnetische Energiespeichertechnologie verwendet einen Konverter, um elektrische Energie in einer supraleitenden Spule zu speichern, und gibt dann die gespeicherte elektrische Energie bei Bedarf aus der supraleitenden Spule frei.

-Superkondensator

Die Superkondensator-Energiespeicherung nutzt die positive und negative kapazitive Speicherschicht, die durch Elektrolytpolarisation gebildet wird, um die Energiespeicherung zu realisieren. Diese hat ein schnelles Lade- und Entladeverhalten, eine hohe Leistungsdichte, einen weiten Betriebstemperaturbereich und eine lange Lebensdauer, aber ihre Energiedichte ist relativ gering

-Wärmespeicher



Abbildung 13 Wärmespeicher im Heizkraftwerk Salzburg Nord

Quelle Von Eweht - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=31170503>

Unter thermischer Speicherung versteht man die Speicherung von Energie in Form von Wärme durch ein bestimmtes thermisches Speichermedium und die Freigabe der Wärme zur Stromerzeugung bei Bedarf.

3.2.3 Ermöglichung erneuerbarer Energien

Mit Ausnahme von Biogas sind die meisten erneuerbaren Energiequellen, obwohl sie für die Dekarbonisierung unserer Stromsysteme entscheidend sind, von Natur aus un stetig. In Zeiten mit viel Sonne oder Wind kann das Angebot höher sein als die Nachfrage. Ebenso kann das Angebot die Nachfrage nicht decken, wenn der Wind nachlässt oder eine Wolke über eine Photovoltaikanlage zieht. Die Einführung von Energiespeichersystemen zwischen den erneuerbaren Erzeugern und den Verbrauchern ermöglicht es dem Stromnetz, die elektrische Nachfrage mit dem Angebot der erneuerbaren Erzeuger "auszugleichen". Der Einsatz von ESS ermöglicht die effizienteste Nutzung der erneuerbaren Energiequellen und den geringsten Einsatz von teuren und umweltschädlichen, mit fossilen Brennstoffen betriebenen Anlagen.

Indem sie helfen, das Energieangebot mit der Nachfrage auszugleichen, verbessern ESS die Effizienz der erneuerbaren Energiequellen erheblich und ermöglichen eine maximale Durchdringung der erneuerbaren Energien im nationalen Energiemix.

4 Energiespeicherkonfiguration

In vielen Entwicklungsländern hingegen ist die ländliche Elektrifizierung noch geringer. „Nur acht Prozent der ländlichen Bevölkerung in Togo haben Zugang zu Elektrizität.“ [5]



Abbildung 14 Energieautarke Dörfer

Quelle

https://www.giz.de/static/de/images/images_content_460x160/Solar%20Home%20System_rdax_782x439.jpg

Und da die verfügbaren Stromressourcen von Region zu Region unterschiedlich sind, müssen für jede Region unterschiedliche Elektrifizierungsstrategien entwickelt werden.

4.1 Machbarkeitsanalyse des Aufbaus von Wind-, Photovoltaik- und Wasserkraftmikronetzen am Beispiel von Yunnan

„Derzeit liegt die Strommangelrate in der Provinz Yunnan bei 31,8 % und gehört damit zu den höchsten im Land, und einige Unternehmen waren gezwungen, die Produktion einzuschränken und zu schließen.“ [6]

4.1.1 Yunnans Energieressourcen

Die Provinz Yunnan ist reich an Energieressourcen und hat vor allem bei den erneuerbaren Energien einen einzigartigen Vorteil

-Windressourcen

94% der Landfläche der Provinz Yunnan ist gebirgig und reich an Windenergie-Ressourcen. Auf vielen Berggipfeln, Pässen und Schluchten unterschiedlicher Höhe herrscht im Jahresdurchschnitt eine Windgeschwindigkeit $\geq 3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, und im Winter und Frühjahr gibt es starke und stabile Winde, mit vielen windigen Tagen und stabilen Nachmittagswinden.

In einigen Gebieten von Yunnan, wie z. B. in den Bergen Xuanwei, Xiangyun, Malong, Dayao, Lixue und Taihua, übersteigt die durchschnittliche jährliche Windgeschwindigkeit nicht nur $3,5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, sondern erreicht in der Trockenzeit auch $4,5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ oder mehr. Die Windgeschwindigkeit beträgt in der Saison $3,5\text{-}4,4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ in Jinning, Shizong, Xundian, Chongming, Fuyuan, Shuangbai, Lunan, Yanshan, Honghe, Jielao, Nanjian, Lijiang, Yuanyang usw., die östlich des Lailun-Gebirges liegen und sich sehr gut für die Entwicklung kleiner und mittelgroßer Windkraftquellen mit Microgrids eignen.

Die jährliche Durchschnittswindgeschwindigkeit beträgt $\geq 3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, und es gibt starke und stabile Winde im Winter und Frühling, mit vielen böigen Tagen und stabilen Nachmittagswinden.[7]

-Solarressourcen

Yunnan befindet sich auf einer Hochebene mit frischer Luft, niedriger atmosphärischer Dichte, hoher Sonnenlichttransmissionsrate, niedriger Breite und langen

Sonnenstunden und erhält Sonnenenergie, die 73,1 Milliarden Tonnen Standardkohle pro Jahr entspricht

Die durchschnittliche jährliche Sonnenscheindauer in Yunnan beträgt 2200 Stunden, und die jährliche Gesamtsonneneinstrahlung liegt bei $3615.7-6667.1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ pro Jahr. Es gibt 94 Landkreise mit einer durchschnittlichen Sonnenscheindauer von mehr als 2000 Stunden, was 74,6% der gesamten Provinz ausmacht. Die überwiegende Mehrheit der Gebiete (etwa 90% der Wetterstationen) hat eine Sonneneinstrahlung im Bereich von $4500-6000 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ pro Jahr

-Wasserressourcen

Yunnan ist eine der wichtigsten Provinzen mit Wasserkraftressourcen in China, und auch eine der wichtigsten Provinzen mit kleinen und mittleren Wasserkraftressourcen in China, mit 17,4 Millionen KW entwickelbarer kleiner Wasserkraft unter 250.000 KW, was 19,7% der entwickelbaren Menge in China ausmacht und den zweiten Platz in China einnimmt. In der Provinz gibt es 118 Bezirke, in denen Wasserkraftwerke mit mehr als 10.000 KW entwickelt werden können.

Die Menge der kleinen und mittleren Wasserkraftwerke in der Provinz Yunnan ist reichlich vorhanden und stabil, mit einem großen proportionalen Gefälle im Flusskanal und einem konzentrierten Gefälle. Die meisten Flüsse haben führende Stauseen mit guter Regulierung im Mittel- und Oberlauf, so dass die flussabwärts gelegenen Stauseen geringe Überschwemmungsverluste, niedrige Kosten pro Kilowatt, keine größeren Umwelteinschränkungen und ausgezeichnete Entwicklungsbedingungen haben.

4.1.2 Der Bedarf an ländlicher Elektrifizierung

Yunnan liegt in den Hengduan-Bergen, und es gibt viele bergige Gebiete. Die enormen Investitionen und der letztlich geringe Stromverbrauch machen es unpraktisch, große Netze in diesen Dörfern zu bauen.

Heutzutage gewinnt die Microgrid-Technologie, einschließlich verteilter Stromerzeugungssysteme, aufgrund der geringen Anfangsinvestitionen für den Bau, des flexiblen Stromerzeugungsmodus und der geringen Umweltbelastung mehr und mehr an Aufmerksamkeit und wird in der Praxis erfolgreich eingesetzt.

4.1.3 Ergänzende Vorteile von Energieressourcen

Yunnan hat eine ausgeprägte Trocken- und Regenzeit, von Mai bis Oktober für die Regenzeit und von November bis April für die Trockenzeit. Die saisonale Verteilung der Windenergie-Ressourcen in einem Jahr ist gekennzeichnet durch groß während der Trockenzeit und klein während der Regenzeit. Die Windgeschwindigkeit ist in jedem Monat der Trockenzeit hoch, und die effektive Windenergiedichte liegt über $100\text{-}150\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, und die effektiven Nutzungsstunden liegen meist über 500 Stunden. Im Gegensatz dazu liegt die Windgeschwindigkeit in der Regenzeit im Allgemeinen unter $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, und es ist schwierig, die Nennwindgeschwindigkeit für die Stromerzeugung zu erreichen. Die jahreszeitliche Verteilung der Solarenergie-Ressourcen ist durch starke Trockenheit im Winter und Frühling und schwachen Regen im Sommer und Herbst gekennzeichnet, wobei der Frühling die Jahreszeit mit dem geringsten Niederschlag, den längsten Sonnenstunden und der höchsten Sonneneinstrahlung im Jahr ist. Es ist zu erkennen, dass die Sonneneinstrahlung sehr stark ist und die Windressourcen in der niederschlagsarmen Jahreszeit in der Provinz Yunnan am reichlichsten vorhanden sind. Entsprechend dieser klimatischen Charakteristik von Yunnan wird die reichlich vorhandene Wind- und Photovoltaikleistung in der Trockenzeit in der Lage sein, den durch die kleine Wasserkrafterzeugung im Mikronetz, der es an saisonaler Regelungskapazität mangelt, verursachten Strommangel auszugleichen und die ganzjährige Selbstversorgung mit regionaler Energie zu erreichen. Die saisonale Verteilung der verschiedenen Erzeugungsressourcen ist koordiniert und aufeinander abgestimmt, wodurch Yunnan einzigartig positioniert ist, um ergänzende Wind-, Solar- und Wassermikronetze zu implementieren.

Gegenwärtig setzt sich die Stromversorgungsstruktur der Provinz Yunnan hauptsächlich aus Wasserkraft und Wärmekraft zusammen. Aufgrund der reicheren Wasservorkommen und der relativ schlechten Qualität der Kohle wird der gesamte Strommarkt tendenziell von der Wasserkraft dominiert, aber eine solche Struktur leidet zwangsläufig unter den saisonalen Problemen der Wasserkraft. Wenn wir also in allen Teilen der Provinz Mikronetze mit starker Komplementarität einrichten können, können wir die Gebiete vor Stromknappheit bewahren und den ungenutzten Strom an das Netz verkaufen, indem wir die Überlegenheit der Mikronetze nutzen, wodurch die Spannung zwischen Angebot und Nachfrage in der Trockenzeit des Hauptnetzes gemildert werden kann, Es kann auch echten Gewinn für die Region generieren.

4.1.4 Notstromversorgung

Dezentrale Energie- und Mikronetzsysteme sind im Vergleich zu größeren Kraftwerken und Netzen relativ einfach aufgebaut, und ihre Erzeugungs- und Dispatch-Fähigkeiten sind schwach.

Obwohl sie relativ einfach aufgebaut und schwach in der Erzeugungs- und Dispatching-Kapazität sind, sind sie in Bezug auf die Wiederherstellungsfähigkeit nach bestimmten Schäden durch höhere Gewalt viel besser als das bestehende Stromversorgungsnetz. Dadurch werden Katastrophenverluste effektiv reduziert und die Produktion und Lebensgrundlagen so schnell wie möglich wiederhergestellt.

„Wie wichtig Microgrids wirklich sind, zeigte sich Ende 2017, als der Hurrikan Maria die Karibikinsel Puerto Rico verwüstete. Die Stromversorgung auf der Insel war komplett zerstört.

Der deutsche Batteriehersteller Sonnen errichtete daraufhin zehn Microgrids auf der Insel, die Krankenhäuser und andere humanitäre Einrichtungen auch ohne funktionierendes Netz mit Strom versorgen konnten. Alles, was es dafür brauchte waren Solaranlagen und Batteriespeicher.“[8]

Für Yunnan, das eine erdbebengefährdete Region ist, ist eine solche schnelle Wiederherstellung der Stromversorgung von großer praktischer Bedeutung. Da die Provinz Yunnan in einer bergigen Gegend liegt, ist es viel schwieriger, die Stromversorgung zu reparieren, wenn sie einmal beschädigt ist, als in den Provinzen der Küstenebene. Wenn also Mikronetze und verteilte Stromversorgungen in den bergigen Städten und Dörfern Yunnans gefördert werden können, dann kann nach Naturkatastrophen wie Erdbeben und Schlammlawinen ein Teil der Stromversorgung in kurzer Zeit wiederhergestellt werden, um einige medizinische und Rettungsmaschinen zu unterstützen. Dadurch wird der Verlust von Leben und Eigentum minimiert.

4.2 Problem in Microgrids

Energiespeicherung ist eine Hürde, die sich nach der Erhöhung des Anteils der neuen Energiequellen nicht vermeiden lässt.

Da der Anteil des industriellen Stromverbrauchs zunimmt, wird die Differenz zwischen Spitzen- und Talstromverbrauch allmählich ansteigen, und die Energiespeicherung wird benötigt, um das Problem der Spitzenregelung zu diesem Zeitpunkt zu lösen. Pumpspeicherung ist in Yunnan weniger wahrscheinlich, da es sich größtenteils um ökologisch empfindliche Gebiete handelt.

4.2.1 Der Bedarf an Energiespeicherung

„Die installierte Leistung in der Provinz Yunnan hat im Jahr 2020 100 Millionen Kilowatt überschritten und erreicht 100,73 Millionen Kilowatt; der Anteil der installierten sauberen Energie, hauptsächlich Wasserkraft, erreichte 85% und der Anteil der Stromerzeugung überschritt 93%.“[9]

Erneuerbare Energien, repräsentiert durch Windkraft und Photovoltaik, haben schwankende und intermittierende Eigenschaften, und die Netzanbindung in großem Maßstab bringt Herausforderungen für die Stabilität und Zuverlässigkeit des Stromsystems mit sich.

Die Energiespeichertechnologie, die bei der Erzeugung von erneuerbaren Energien eingesetzt wird, kann Spitzenausgleichs- und Talfüllungsdienste bieten sowie Leistungsschwankungen glätten und Prognosekurven verfolgen, was eine der effektiven Möglichkeiten ist, das Problem der Netzanbindung von erneuerbaren Energien zu lösen.

Die steigende Nachfrage nach Elektrizität und die daraus resultierende Zunahme der Lastunterschiede zwischen Spitzen und Tal machen die Energiespeicherung zum Thema Nummer eins, das heute angegangen werden muss

4.2.2 Hybride Speichersysteme

Da PV- und Windkraftanlagen von Faktoren wie Klima und Umwelt beeinflusst werden, ist ihre Leistungsabgabe schwankend, zufällig und intermittierend, so dass es für beide schwierig ist, die Last kontinuierlich und stabil mit Strom zu versorgen, und sie gleichzeitig einen gewissen Einfluss auf das Netz haben. Andererseits kann das Umschalten des Microgrids zwischen netzgekoppelten und netzunabhängigen Betriebsmodi zu Spannungs- und Frequenzschwankungen führen, und in schweren Fällen ziehen sich verteilte Stromquellen aus dem Betrieb zurück, Lasten werden abgeschaltet und das Microgrid bricht zusammen. Um die Schwankungen der Ausgangsleistung des Microgrids effektiv unterdrücken zu können, die Stabilität des Microgrids zu verbessern, die Stromqualität des Microgrids zu gewährleisten und die Auswirkungen auf das Netz zu reduzieren, wird oft eine bestimmte Menge an Energiespeichern in das System eingebaut.

Die Konfiguration von Energiespeichern ist eine effektive Maßnahme, die vorgeschlagen wird, um Schwankungen in der Ausgangsleistung des Microgrids auszugleichen.

Gegenwärtig ist der Akkumulator ein häufig verwendeter Energiespeicher, der sich für die Speicherung großer Mengen elektrischer Energie eignet. Superkondensatoren hingegen zeichnen sich durch hohe Leistungsdichte, kurze Lade- und Entladezeit und lange Zyklenlebensdauer aus. Wenn beide in Kombination verwendet werden, kann sich die vorteilhafte Leistung ergänzen.



Abbildung 15 Superkondensator

Quelle VINATECH

Daher verwendet der Energiespeicher in dieser Arbeit einen Akkumulator-Superkondensator-Hybrid-Energiespeicher.

Durch den Aufbau eines hybriden Energiespeichersystems, bestehend aus einem Akkumulator und einem Superkondensator, in einem komplementären Mikronetz für Wind/Licht/Wasser, können die Vorteile beider Energiespeicher voll genutzt werden.

Ein Simulationsversuch mit einem hybriden Energiespeicher für ein Mikronetz zeigt, dass die Spannung, der Strom und die Leistung des Systems weniger schwanken, wenn der hybride Energiespeicher unter normalen Bedingungen arbeitet und wenn es eine Stoßlast im System gibt, was die Sicherheit und Stabilität des Mikronetzes gewährleistet.

Die Batterielade- und Entladesteuerung wird durch eine Echtzeit-SOC-Prüfung erreicht, und der Batterieladezustand

Der Änderungsprozess des SOC² ist in Abbildung 16 dargestellt

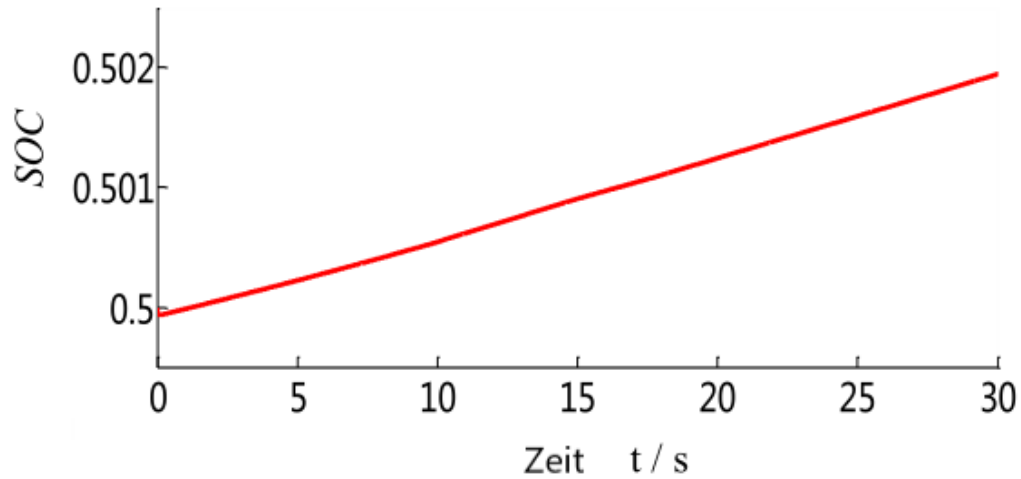


Abbildung 16 Akkumulator SOC Veränderungsprozess³

Die Variationskurve der Energiespeicherkapazität von Superkondensatoren ist in Abbildung 17 dargestellt

² super capacitor state of charge

³ Hongjian, Wu (2017): Wind_light_water complementary microgrid energy storage configuration and comprehensive benefits study, S. 34

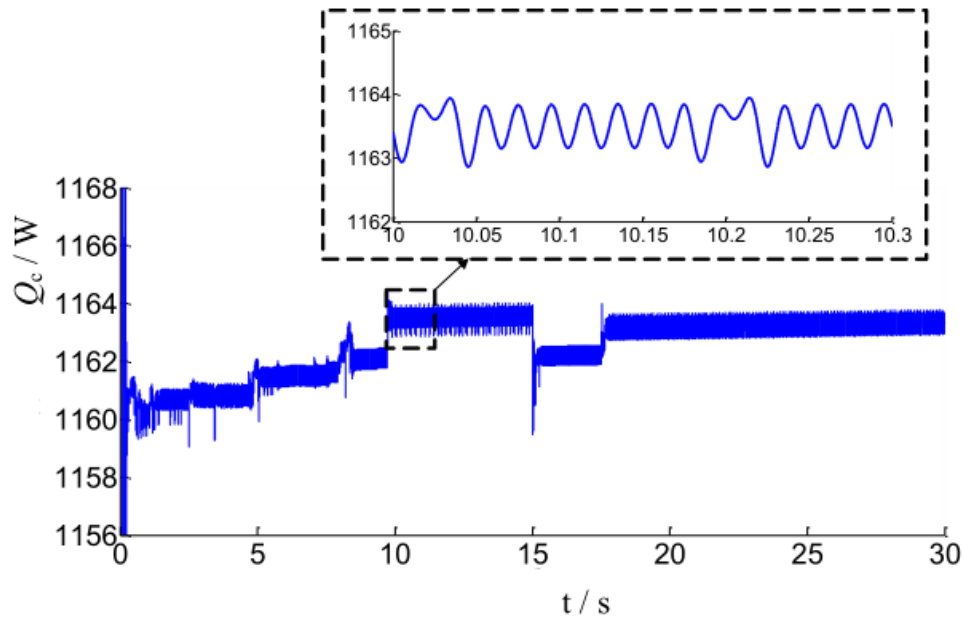


Abbildung 17 Superkondensator Energiespeicherkapazität⁴

Vergleicht man Abb. 16 mit Abb. 17, so ist zu erkennen, dass die Lade- und Entladegeschwindigkeit des Superkondensators schneller ist als die der Batterie und das dynamische Verhalten stärker ist. Aus Abb. 17 ist ersichtlich, dass bei einer Stoßbelastung des Systems der interne Energiespeicher des Superkondensators schlagartig reduziert wird, um das Microgrid schnell mit Energie zu versorgen und die netzseitigen Leistungsschwankungen zu reduzieren.

Wenn sich der hybride Energiespeicher unter normalen Bedingungen befindet und eine Schocklast im System vorhanden ist, schwanken Spannung, Strom und Leistung des Systems weniger, wodurch die Sicherheit und Stabilität des Mikronetzes gewährleistet wird.

Es reduziert nicht nur den Mehraufwand, der bei einem einzelnen Batteriesystem mit gleicher Energiespeicherkapazität entsteht, sondern auch die regelmäßigen Wartungskosten des Speichersystems.

⁴ Hongjian, Wu (2017): Wind_light_water complementary microgrid energy storage configuration and comprehensive benefits study, S. 34

Dies verbessert effektiv die Wirtschaftlichkeit und Praktikabilität von Wind/Licht/Wasser komplementären Microgrids.

Wenn die installierten Kapazitäten von Wind, PV und Kleinwasserkraft 21,66 %, 28,51 % bzw. 50,32 % der Gesamtkapazität ausmachen, zeigen die Leistungsmerkmale dieser drei dezentralen Stromquellen eine gute Komplementarität. Zu diesem Zeitpunkt ist die Energiespeicherkapazität des ergänzenden Mikronetzsystems kleiner, aber sein umfassender Nutzen erreicht das Optimum.

5 Fazit

Ziel dieser Arbeit war es, komplementäre Multiquellen-Mikronetze aufzubauen, die die komplementären Eigenschaften von Wind, Licht und Wasser berücksichtigen, sowie hybride Energiespeichersysteme, die Batterien mit Superkondensatoren kombinieren. In dieser Arbeit wurde die Machbarkeitsanalyse des Aufbaus eines Microgrid am Beispiel der Provinz Yunnan durchgeführt. Hybride Energiespeicher werden eingesetzt, um die Stabilität und Wirtschaftlichkeit von Mikronetz zu verbessern. Durch die Untersuchung der saisonalen Leistungsabgabe von Wind, Licht und Wasser wird eine Methode zur Konfiguration eines Mikronetz-Energiespeichersystems vorgeschlagen.

5.1 Ausblick

1. Die vorgeschlagene Methode ist nur auf theoretischer Ebene und wird nicht durch realistische Experimente unterstützt und validiert und muss weiter verbessert werden.
2. Für die Methode wird die Konfiguration der Energiespeicher im Inselnetz betrachtet, und das System im Verbundnetz wird nicht analysiert.
3. Es gibt viele verschiedene Einflussfaktoren, die komplementäre Microgrids betreffen, und der in dieser Arbeit vorgeschlagene Ansatz ist nicht perfekt.

Literaturverzeichnis

- [1] Zongxiang, Lu et al. (2007): Review of microgrid research. Power system automation, 2007, 31(19), S. 100-107.
- [2] Haitao, Chi. (2010): Control and improvement of distributed power supplies and high-power power electronics in microgrids. Shanghai Jiao Tong University.
- [3] Hu, J et al. (2020). "A consensus-based robust secondary voltage and frequency control scheme for islanded microgrids". International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 116: 105575.
- [4] Hu, J et al. (2019). "Distributed finite-time consensus control for heterogeneous battery energy storage systems in droop-controlled microgrids". IEEE Transactions on Smart Grid. 10 (5): 4751–4761.
- [5] Florian Paffenholz (2020): Ländliche Elektrifizierung in Togo, S. 1
- [6] Jian, Han (2010): Spring City Evening News, S. 1
- [7] Xiaofan, Li et al. (2012): Feasibility study on construction of the wind-solar-hydro hybrid microgrid in Yunnan Province, S.213
- [8] Kathrin Witsch (2019): Warum das Netz im Netz für die Energiewende immer wichtiger wird. Handelsblatt.
- [9] Qiu, Cai (2020): Rapid increase in new energy installations: Yunnan may launch large-scale energy storage, S.2

Anlagen

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Chemnitz 25.04.2021

Shen Yizhang

Ort, Datum

Vorname Nachname