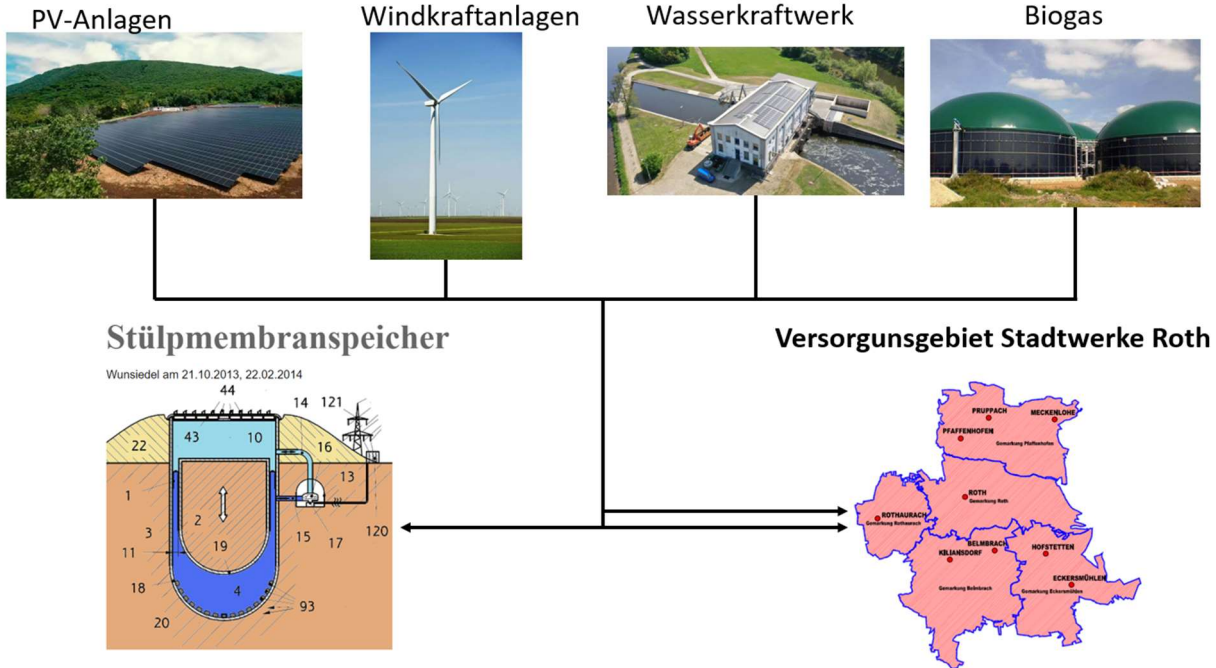


# Bericht – Projekt Versorgungsanalyse Roth



## Photovoltaik

**Autor:**

**Timo Madre**

**E-Mail:**

**Madreti79596@th-nuernberg.de**

**Prüfer:**

**Prof. Dr.-Ing. Matthias Popp**

**Ort, Abgabetermin: Nürnberg, 9. Juni 2022**

## **Eidesstaatliche Erklärung**

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, alle benutzten Quellen und Hilfsmittel angegeben sowie wörtliche und sinngemäße Zitate gekennzeichnet habe.

Nürnberg, 23. Juni 2022

Timo Madre

# Inhaltsverzeichnis

<b>Eidesstaatliche Erklärung .....</b>	<b>I</b>
<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>II</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>4</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>5</b>
<b>1 Inhaltliche Kurzbeschreibung des Projekts .....</b>	<b>6</b>
<b>2 Allgemein.....</b>	<b>6</b>
<b>3 Ziel und Forschungsfragen .....</b>	<b>7</b>
<b>4 Aktueller Stand der Technik von Photovoltaikanlagen .....</b>	<b>9</b>
4.1 Funktionsweise einer PV-Anlage .....	9
4.2 Einstrahlbedingungen .....	10
4.3 Vor- und Nachteile der Photovoltaikanlagen .....	12
<b>5 Ergebnisse .....</b>	<b>13</b>
5.1 Verbrauchsdaten der Stadt Roth.....	13
5.2 Auswertung der Stromerzeugung mit Photovoltaik.....	14
5.3 Benötigte PV-Leistung .....	16
5.4 Vorhandene PV-Leistung .....	17
5.5 Vergleich der Einspeisestochastik mit MERRA-Daten und Verbrauchsdaten .....	18
<b>6 Fazit .....</b>	<b>20</b>
<b>7 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>21</b>

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufteilung Energiequellen bei vollständiger regenerativer Erzeugung .....	8
Abbildung 2: Entwicklung des Anteils Erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch in Deutschland seit 2010 (Wirth, 2022) .....	8
Abbildung 3: Wirkweise eine Photovoltaikzelle (Wesselak, 2012) .....	10
Abbildung 4: jährliche Globalstrahlung in Deutschland (Wirth, 2022) .....	11
Abbildung 5: Stromverbrauch über die Stunden eines Jahres; Beispielhaft 2018.....	13
Abbildung 6: Jahresdauerkennlinien aller Jahre von 2018 bis 2021 .....	14
Abbildung 7: Vergleich der benötigten PV-Fläche mit der Stadt Roth (Scribble maps, 2022) .....	17
Abbildung 8: Einspeiseleistung von PV-Anlagen im Jahr 2021 .....	18
Abbildung 9: Vergleich der Einspeise- und Verbrauchsstochastik.....	19

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufteilung der Energiequellen in Prozent, verglichen mit der mittleren Verbrauchsleistung .....	9
---	---

## **Abkürzungsverzeichnis**

PV

Photovoltaik

## 1 Inhaltliche Kurzbeschreibung des Projekts

In den vergangenen Jahren ist der Wandel der Energiepolitik immer deutlicher geworden und immer mehr Energie wird durch erneuerbare Quellen versorgt. Dazu kommt aktuell die Ukraine Krise als auch die Corona- Krise, die die Nachfrage und die Rentabilität erneuerbarer Energien steigern. In diesem Zusammenhang soll ein Konzept erarbeitet werden, welches eine vollständig erneuerbare energetische Versorgung der Stadt Roth sicherstellt. Hierfür wird vor allem auf Wind- und Solartechnik gesetzt, da hier das größte Ausbaupotential besteht. Ein Problem dieser Techniken ist, dass diese nicht zeitlich planbar sind, sondern stark wetterabhängig sind. Im Sommer ist die eingespeiste Solarenergie deutlich höher als die Verbrauchte. Die Windenergie hingegen ist im Winter stärker als im Sommer. Somit ergänzen sich beide Technologien. In wind- oder sonnenreichen Zeiten ist die überschüssige Energie für Zeiten geringer Stromeinspeisung zu speichern. Hierfür hat Herr Prof. Dr. Ing. Matthias Popp in seinen Forschungsarbeiten ein Speicherkonzept „Stülpmembranspeicher (siehe Abbildung Titelseite) [3] erarbeitet. Hierdurch kann elektrische und thermische Energie gespeichert werden. Für die Versorgung der Stadt Roth sollen Solaranlagen, Windkraftanlagen, Wasserkraftwerke und BHKWs verwendet werden. Mit bereits vorhandenen und potenziellen Anlagen soll anschließend eine Speicherauslegung – und Dimensionierung stattfinden. Hierfür sind diverse Daten auszuwerten und Verluste zu ermitteln.

## 2 Allgemein

In den letzten Jahren ist die Gesellschaft immer abhängiger von Strom geworden. Mit dem Fortschreiten der Entwicklungen werden immer mehr Geräte mit Strom betrieben. Aktuell wird ein Großteil der elektrischen Energie aus konventionellen Energieträgern umgewandelt. Allerdings entstehen hierdurch bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe Treibhausgase wie beispielsweise Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), welche ausschlaggebend für die Klimaerwärmung sind.

Die Europäische Union hat sich das Ziel gesetzt die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2030 um 40% gegenüber 1990 zu senken (Europäische Kommission, 2018). Deutschland ist das Land mit den meisten Einwohnern der Europäischen Union und hat deshalb einen großen Einfluss auf die Umsetzung dieses Ziels.

Durch den Umstieg auf regenerative Energieträger, kann in der Energieerzeugung ein großer Teil der Emissionen eingespart werden. Beispielsweise sind Energiequellen wie Sonnen- und Windenergie beinahe unbegrenzt vorhanden. Zusätzlich wird bei der Benutzung kaum oder kein CO<sub>2</sub> ausgestoßen. Aus diesem Grund wird in Zukunft der Anteil konventioneller Kraftwerke immer weiter zurückgehen und durch regenerative, dezentrale Anlagen ersetzt werden.

### **3 Ziel und Forschungsfragen**

Für dieses Projekt ist die Frage zu klären ob bzw. wie die Stadt Roth ausschließlich mit erneuerbaren Energieträgern versorgt werden kann. In diesem Bericht wird nur die Stromerzeugung, genauer die Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen, betrachtet.

Dafür wird angenommen, dass die Erzeugung durch Wind und Sonne frei ausbaubar sind, während Wasserkraft, Biomasse und BHKWs als konstant angenommen werden. Mit Hilfe, eines von Herrn Professor Popp bereitgestellten Exceltools, wird der optimale Strommix aus Wind, Sonne, Biomasse, Wasserkraft, Speichersystem und Kraft-Wärme-Kopplung ermittelt. Dafür werden Sonneneinstrahlungsdaten, Windgeschwindigkeiten und Wasserleistungen, sowie die Verbrauchsdaten der Stadt Roth für die letzten vier Jahre ermittelt. Des Weiteren werden noch Investitions-, Instandhaltungskosten, sowie weitere Faktoren einbezogen. Ausschlaggebend dafür sind die Stromgestehungskosten, also Euro/kWh.

In Abbildung 1 ist die Verteilung der Energiequellen bei vollständig regenerativer Energieversorgung zu sehen. Die Verteilung ergibt sich aufgrund einer kostenoptimierten Berechnung. Abbildung 2 zeigt den Anteil erneuerbarer Energien in Deutschland in den letzten zwölf Jahren.



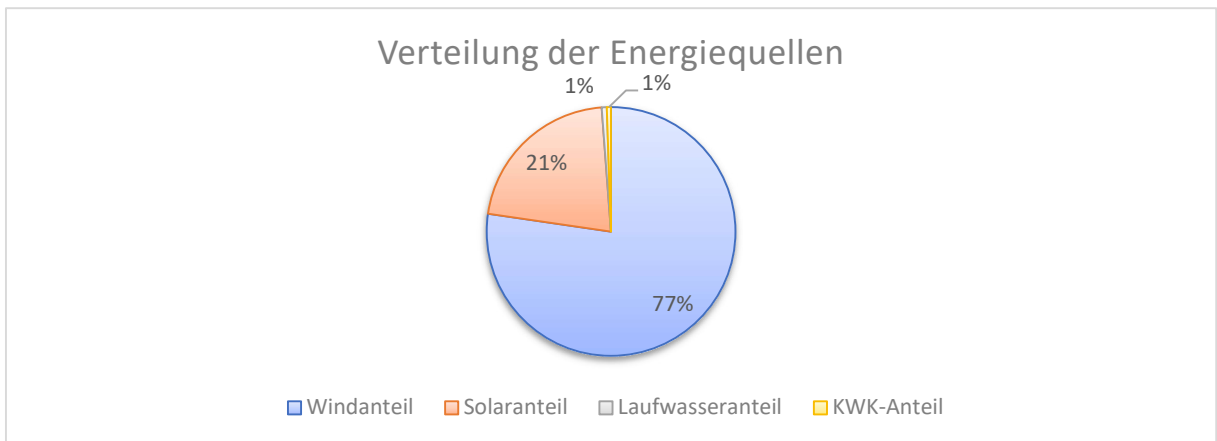


Abbildung 1: Aufteilung Energiequellen bei vollständiger regenerativer Erzeugung

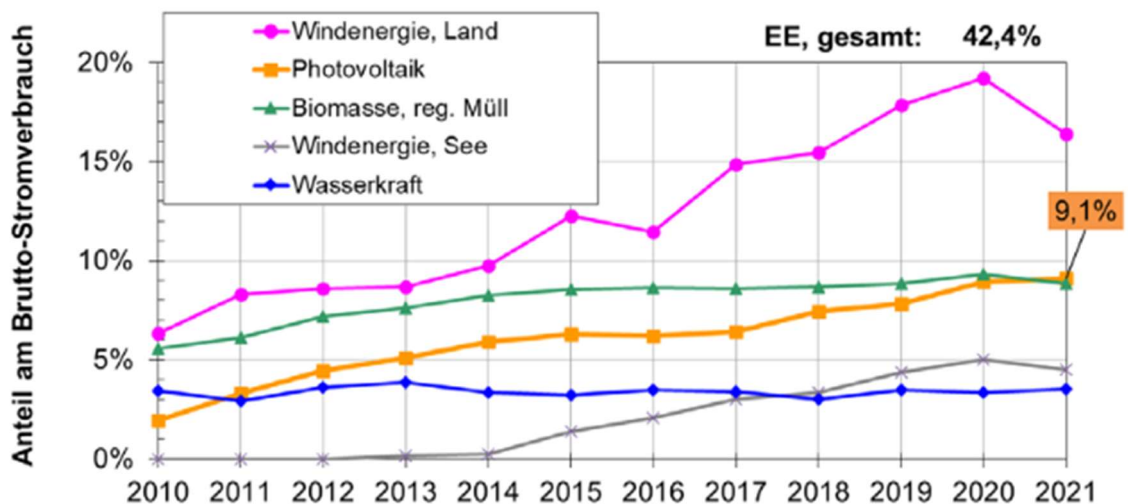


Abbildung 2: Entwicklung des Anteils Erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch in Deutschland seit 2010 (Wirth, 2022)

In Tabelle 1 sind die, aus der Berechnung folgenden, optimalen Nennleistungen von Wind und Photovoltaik aufgetragen. Diese beziehen sich auf die durchschnittliche Verbrauchsleistung der Stadt Roth. Laufwasser und Kraft-Wärme-Kraft sind durch die Gegebenheiten festgelegt und werden nicht ausgebaut.

Tabelle 1: Aufteilung der Energiequellen in Prozent, verglichen mit der mittleren Verbrauchsleistung

Windanteil	Solaranteil	Laufwasseranteil	KWK-Anteil
366,38%	101,87%	3,30%	2,51%

Im Rahmen des Energietechnikprojekts soll ermittelt werden, wie die Entwicklung der Photovoltaikanlagen aussehen könnte, um eine vollständige regenerative Stromversorgung gewährleisten zu können. In dieser Projektarbeit werden die folgenden Forschungsfragen beantwortet:

1. Wie viel Energie wird momentan durch PV-Anlagen bereitgestellt?
2. Welchen Leistungszubau an PV- Anlagen erfordert das kostenminimierend ausgelegte regenerative Versorgungssystem?
3. Wie sind die Kostensätze für PV-Anlagen?
4. Wie hat sich der Verbrauch in den letzten Jahren verhalten?

## 4 Aktueller Stand der Technik von Photovoltaikanlagen

Im Folgenden wird die Funktionsweise, sowie Vor- und Nachteile von Photovoltaikanlagen erklärt.

### 4.1 Funktionsweise einer PV-Anlage

Mit Photovoltaikanlagen wird Sonnenenergie in nutzbare elektrische Energie umgewandelt. Dafür wird der photoelektrische Effekt genutzt. Der Effekt beschreibt die Wechselwirkung von Photonen mit Materie. Ein Elektron kann aus einer Bindung in einem Atom, im Valenzband oder im Leitungsband eines Festkörpers gelöst werden, wenn die Energie des Photons so groß wie die Bindungsenergie des Elektrons ist. (Wesselak, 2012)

Eine Solarzelle besteht aus zwei unterschiedlich dotierten Halbleiterschichten, meist Silizium. Dotierung beschreibt die gezielte Verunreinigung mit Fremdatomen, wodurch eine Schicht mit Überschuss an negativen- und eine Schicht mit Überschuss an

positiven Ladungsträgern entsteht. Bei Lichteinstrahlung fließt zwischen den beiden Schichten Gleichstrom. In Abbildung 3 ist die Funktionsweise nochmal schematisch erklärt.

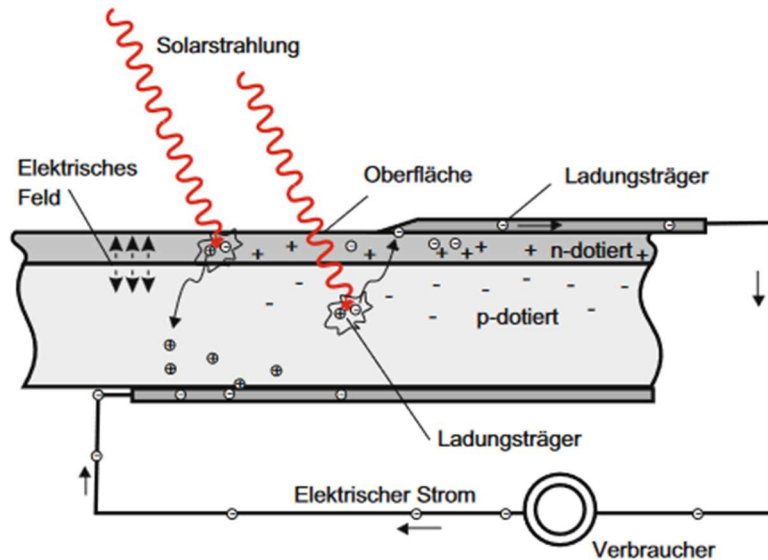


Abbildung 3: Wirkweise eine Photovoltaikzelle (Wesselak, 2012)

## 4.2 Einstrahlbedingungen

Die erzeugte Leistung von PV-Anlagen hängt sehr stark von verschiedenen Faktoren, wie z.B. den Einstrahlbedingungen, ab. Bei 8760 Stunden pro Jahr kann nur etwa die Hälfte zur Stromumwandlung genutzt werden. Zur Beschreibung der Ausnutzung werden der Benutzungsgrad und Vollbenutzungsstunden verwendet. Der Benutzungsgrad beschreibt den Zeitanteil, den die Anlage unter Volllast betrieben werden müsste, um die gleiche Energiemenge umzuwandeln wie unter realen Bedingungen in einem festgelegten Zeitraum.

$$\text{Benutzungsgrad} = \frac{\text{reale mittlere Leistung}}{\text{Nennleistung}}$$

$$\text{Vollbenutzungsstunden} = \frac{\text{tatsächlich pro Jahr erzeugte Energie}}{\text{Nennleistung}}$$

Bei PV-Anlagen wird in der Regel mit etwa 900-1000 Vollbenutzungsstunden pro Jahr gerechnet. Das entspricht etwa einem Benutzungsgrad von 10 -11,4%. Im Folgenden wurde mit Hilfe der MERRA-Daten ein gemittelte Benutzungsgrad von etwa 14,3% ermittelt. Dieser ist wesentlich größer, allerdings haben die gegebenen Anlagen auch höhere Benutzungsstunden, mit etwa 1100 h/a. (Bayrisches Staatsministerium für Wirtschaft, 2022) MERRA ist eine Sammlung von Wetterdaten von NASA, über den gesamten Globus seit 1979.

Die Volllaststunden werden stark durch die Ausrichtung beeinflusst. Abhängig von der geografischen Lage, hat die Neigung der Module großen Einfluss auf die Ausnutzung. Zusätzlich spielt die Himmelsrichtung noch eine große Rolle, wobei hier eine Südausrichtung optimal ist. Ausgenommen sind bewegliche Module.

Abhängig vom Standort variiert auch die Globalstrahlung, also die Sonnenenergie, wie in Abbildung 4 zu sehen ist. Die Globalstrahlung setzt sich aus direkter und diffuser Strahlung zusammen, welche auf einer horizontalen Fläche gemessen wird.

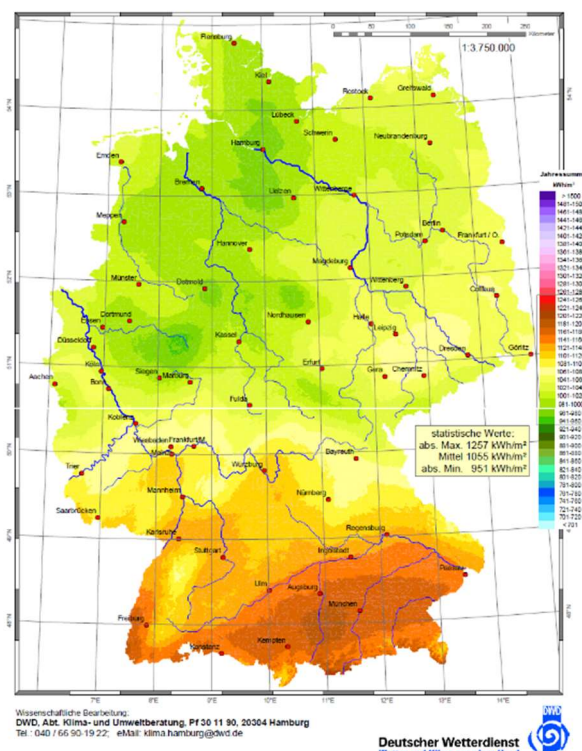


Abbildung 4: jährliche Globalstrahlung in Deutschland (Wirth, 2022)

Ebenfalls ist zu sehen, dass die maximale Globalstrahlung im Süden, mit etwa 1250kWh/a am höchsten ist. Im Norden Deutschlands ist diese mit etwa 950 kWh/a wesentlich kleiner.

### **4.3 Vor- und Nachteile der Photovoltaikanlagen**

Das Verwenden von Photovoltaikanlagen bringt viele Vorteile mit sich. Zum einen wird zur Erzeugung von elektrischer Energie nur die Strahlungsenergie der Sonne benötigt. Diese ist vollkommen umweltverträglich und auf den menschlichen Horizont bezogen unerschöpflich. Es wird kein CO<sub>2</sub> oder andere Emissionen ausgestoßen und ist somit CO<sub>2</sub>-neutral. Des Weiteren sind die Stromgestehungskosten, verglichen mit anderen Stromproduktionsarten, mit Abstand am kleinsten. Die Kosten sind in den letzten Jahren rapide gesunken und werden wohl weiter sinken. Auch bei der Entwicklung der Module sind immer mehr Fortschritte zu erkennen, so sind inzwischen Wirkungsgrade bis über 40% möglich.

Allerdings sind derzeit nur PV-Anlagen mit Wirkungsgraden von etwa 15-20% käuflich zu erwerben. Zudem ist ein Wechselrichter notwendig, um den Gleichstrom in das Wechselstromnetz einzuspeisen und zu verwenden. Außerdem ist Solarstrom durch die Wetterbedingungen stark volatil. Weshalb ein Speicher notwendig ist, um die Schwankungen auszugleichen.

## 5 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Forschungsfragen beantwortet. Dabei wird auf die Rechenwege und Vorgehensweisen des Projekts eingegangen.

### 5.1 Verbrauchsdaten der Stadt Roth

Die Verbrauchsdaten der Stadt Roth wurden von der Stadt Roth, für die Jahre 2018 bis 2021, zur Verfügung gestellt. Für das Jahr 2021 ergibt sich ein Gesamtverbrauch von etwa 84,5 GWh. Im Mittel der vier Jahre beläuft sich der Stromverbrauch auf etwa 80 GWh. Das Jahr 2021 hat deutlich höhere Verbräuche als die anderen Jahre, dies ist allerdings von Vorteil für die Auslegung, da der Speicher für ein Jahr mit wenig Stromeinspeisungen ausgelegt sein muss. In Abbildung 5 ist beispielhaft der stündliche Stromverbrauch der Stadt Roth über das Jahr 2018 aufgezeigt. Dazu ist in rot ein Mittelwert der Leistung aufgetragen.

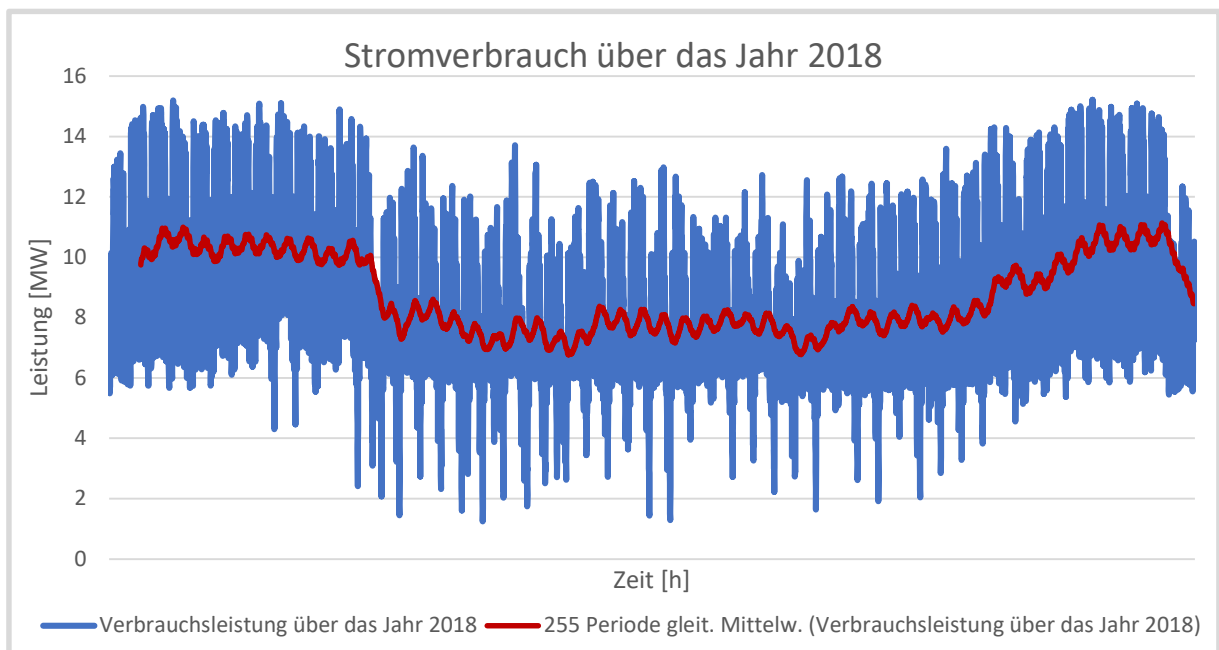


Abbildung 5: Stromverbrauch über die Stunden eines Jahres; Beispielhaft 2018

Wie zu erkennen ist gibt es eine leichte Abnahme des durchschnittlichen Verbrauchs im Sommer. Des Weiteren sind viele Ausschläge des Verbrauchs nach oben und unten zu erkennen. Das sind die täglichen Schwankungen des Verbrauchs.

Abbildung 6 zeigt den Verbrauch der Jahre 2018 bis 2021, nach der durchschnittlichen Leistung pro Stunde sortiert. Anhand dieser Darstellung kann die Verteilung der Verbrauchswerte dargestellt werden. Die maximal benötigte Leistung der vier Jahre beträgt etwa 17,4 MW, die kleinste 0,56 MW. Der Mittelwert des Verbrauchs über die gesamten vier Jahre beträgt etwa 9,2 MW. Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei dem Jahr 2021 um ein Jahr mit hohen Verbräuchen und niedrigen Einspeisewerten.

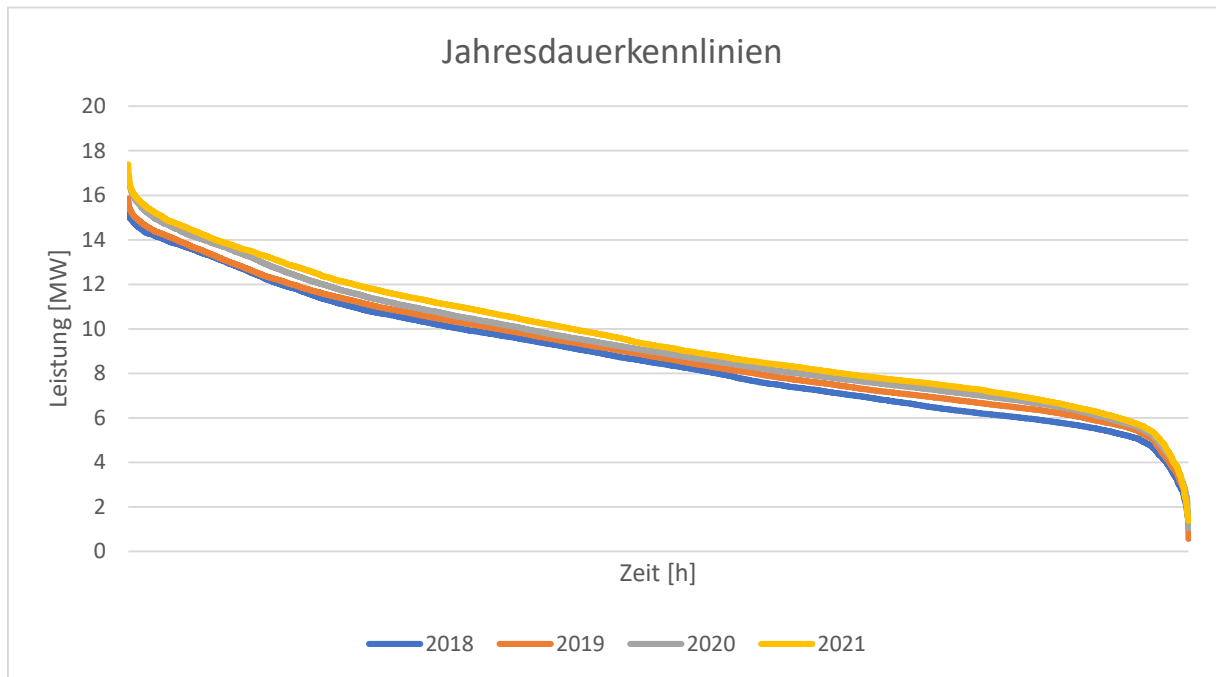


Abbildung 6: Jahresdauerkennlinien aller Jahre von 2018 bis 2021

## 5.2 Auswertung der Stromerzeugung mit Photovoltaik

Zusätzlich zu den Verbrauchsdaten, wurden noch Einspeisedaten von bereits vorhandenen PV-Anlagen der Stadtwerke Roth bereitgestellt. Mit Hilfe dieser Anlagen kann die bereits vorhandene Einspeiseleistung und Stochastik bestimmt werden. Diese können im Anschluss mit MERRA-Daten verglichen werden.

Zudem wird über das Einspeiseverhalten der bereits vorhandenen PV-Anlagen der kostenminimierende Strommix aus regenerativen Energien bestimmt. Hierfür werden die gesamten Einspeisedaten aller regenerativen Energien, Laufwasser, Wind, Sonne und Biomasse der letzten vier Jahre ermittelt. Mit Hilfe, des von Professor Dr. Ing. Matthias Popp zur Verfügung gestellten Exceltools, werden im Anschluss über passende Kalkulationssätze, Abschreibenzeiten, Betriebskosten sowie passenden

Speicherparametern ein kostenoptimierter Strommix errechnet.

Zu den Speicherparametern, -auslegung sowie -bewirtschaftung wird an dieser Stelle auf die Berichte der Teamkollegen verwiesen.

- Windenergie und Speicherbewirtschaftung (Pickelmann, 2022)
- Biomasse und Strompreisanalyse (Nahlik, 2022)
- Wasserkraft und Stülpmembranspeicherauslegung (Lubik, 2022)
- Wärmeversorgung (Dörfler, 2022)

Um die Einspeisedaten der PV-Anlagen optimal zu berechnen, werden über die MERRA-Daten das Einspeiseverhalten ermittelt.

Dafür wurde von folgenden Annahmen ausgegangen:

1. Etwa 25% der Dächer mit Südausrichtung
2. Eine Dachneigung von etwa 35°
3. Ein Modulwirkungsgrad von 20%
4. Sowie einer maximalen Modulleistung von 200 W/m<sup>2</sup>

Daraus ergibt sich, aus der Berechnung des Tools, ein Benutzungsgrad von etwa 14,33%. Der Benutzungsgrad beschreibt die Auslastung der Module.

Für die weitere Auslegung des Versorgungssystems werden folgende Werte angenommen:

1. Kalkulationssatz von etwa 1000 €/kW
2. Abschreibedauer von 25 Jahren
3. Zinssatz von etwa 5%
4. Betriebskostenfaktor von 2,5%



Die Werte werden eher konservativ angenommen, um eine gewisse Sicherheit zu bieten.

Für die anderen Energiequellen wurde ähnlich vorgegangen. Im Anschluss wird der optimale Strommix berechnet. Dabei wird angenommen, dass Sonne- und Windenergie frei ausbaubar sind, während Laufwasser und Biomasse bei ihrem aktuellen Stand bleiben. Des Weiteren werden noch verschiedene Speicherparameter variiert. Das wird im Bericht der Teamkollegen genauer beschrieben.

Das Ergebnis der Berechnung ergibt, dass die niedrigsten Stromgestehungskosten bei einem Mix, des eingespeisten Stroms, aus etwa 92% Windenergie und 8% Sonnenenergie zustande kommen. Hierbei würde die kWh Strom etwa 18 Cent kosten. Unter der Annahme, dass die Anlagen im Voraus bezahlt werden würden und neben den Betriebskosten als Kapitalkosten nur die Abschreibungen aber keine kalkulatorischen Zinsen anfallen würden, ergäben sich Stromgestehungskosten von etwa 10 Cent. Verglichen mit den aktuellen Strompreisen wäre das eine wesentliche Ersparnis.

### 5.3 Benötigte PV-Leistung

Die aktuelle Leistung der PV-Anlagen kann über die gesamt eingespeiste Energiemenge und dem Benutzungsgrad berechnet werden.

Aus der Berechnung folgt eine benötigte Solar Nennleistung von rund 102% der Durchschnittsverbrauchsleistung. Daraus lässt sich die benötigte Peak Leistung der PV-Anlagen (SEA) berechnen:

$$SEA = 1,02 * 9,2 \text{ MW} = 9,4 \text{ MW}$$

Über die maximale Leistung pro Quadratmeter lässt sich die benötigte Fläche berechnen:

$$A_{benötigt} = \frac{SEA}{P_{PV,max}}$$
$$A_{benötigt} = \frac{9,4 \text{ MW}}{200 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 47 \text{ m}^2 = 0,47 \text{ km}^2$$

Aus der Berechnung ergibt sich eine benötigte Fläche von etwa 0,469 km<sup>2</sup> oder 46,9 Hektar. Die Stadt Roth hat eine Fläche von 96,33 km<sup>2</sup>. Die für PV-Anlagen benötigte Fläche wären etwa 0,5% davon. Als Vergleich ist in Abbildung 7 das Gewerbegebiet III mit einer Fläche von etwa 0,47 km<sup>2</sup> markiert.

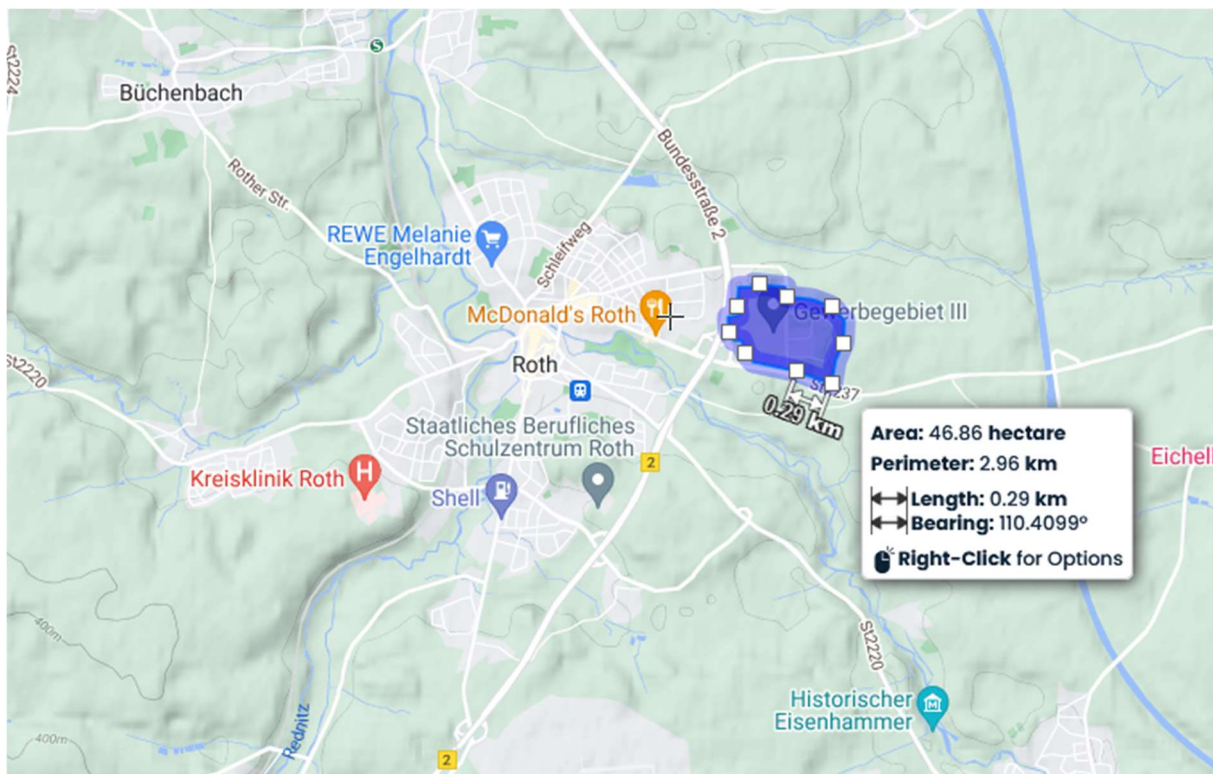


Abbildung 7: Vergleich der benötigten PV-Fläche mit der Stadt Roth (Scribble maps, 2022)

## 5.4 Vorhandene PV-Leistung

Die vorhandene PV-Anlagenleistung kann aus dem Energieatlas Bayern entnommen werden. Dabei handelt es sich um ein Internetportal, welches Informationen zu Erneuerbaren Energien im Bundesland Bayern bietet. (Bayrisches Staatsministerium für Wirtschaft, 2022) Hier können alle EEG-Anlagen, also alle Anlagen, die eine EEG-Vergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz bekommen, eingesehen werden.

Laut dem Energieatlas sind in der Stadt Roth PV-Anlagen mit einer Leistung von etwa 6 MWp installiert. Diese haben im Jahr 2020 etwa 4,6 GWh Strom in das Netz eingespeist. (Bayrisches Staatsministerium für Wirtschaft, 2022) Also ist der Ausbaustand bei den PV-Anlagen bereits bei über 50%. Abbildung 8 zeigt beispielhaft die Einspeisestochastik der Photovoltaikanlagen der Stadtwerke Roth.

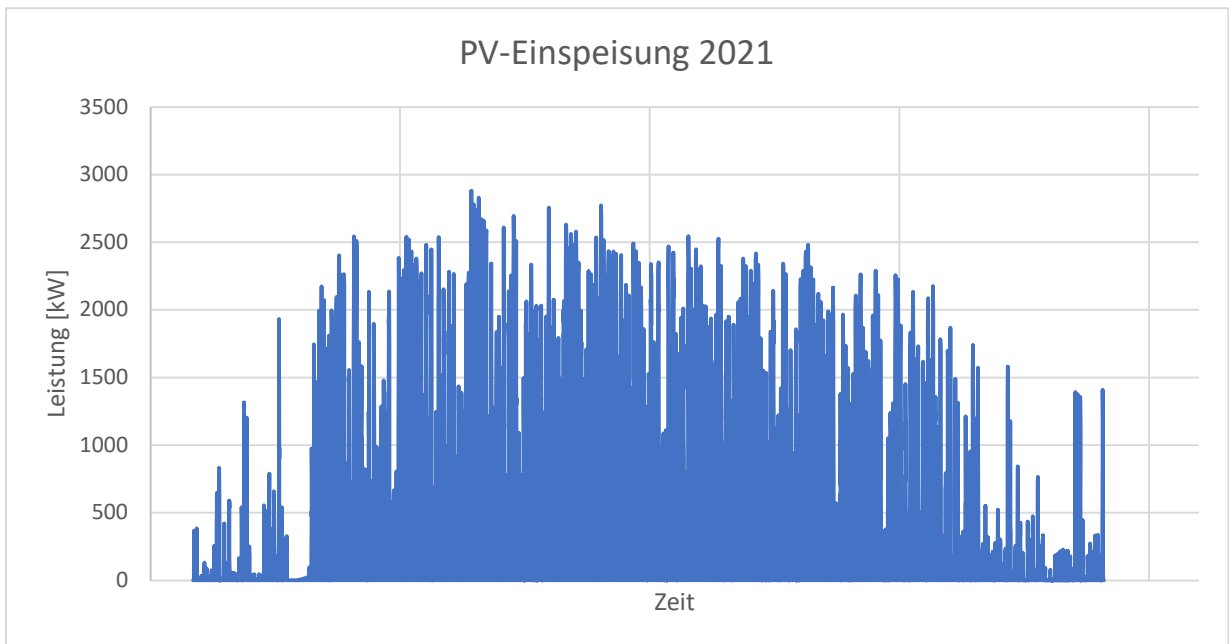


Abbildung 8: Einspeiseleistung von PV-Anlagen im Jahr 2021

## 5.5 Vergleich der Einspeisestochastik mit MERRA-Daten und Verbrauchsdaten

Um die Einspeisestochastik der aktuell vorhandenen PV-Anlagen und der gewünschten Anlagenleistung (MERRA-Daten) werden die Globalstrahlung über das Jahr 2021, mit Hilfe der MERRA-Daten, ermittelt. Es wird angenommen, dass die Dächer etwa gleichmäßig ausgerichtet sind, also eine Hälfte Nord-Süd-Ausrichtung und eine Hälfte Ost-West-Ausrichtung. Für jede Ausrichtung werden die Strahlungsdaten ermittelt und daraus ein Mittelwert gebildet.

Mit diesem Mittelwert der Globalstrahlung werden über folgende Werte die Einspeisewerte der einzelnen Stunden ermittelt und daraus die durchschnittliche monatliche Leistung.

1. Dachneigung etwa  $35^\circ$
2. Ausrichtung der Dächer wurde 50% Nord-Süd-Ausrichtung, 50% Ost-West-Ausrichtung gewählt (Institut für Energietechnik (IfE) GmbH, 2012)
3. Wirkungsgrad von 20% und maximale Leistung von  $200 \text{ W/m}^2$
4. Einer Solarnennleistung von etwa 9400 kW

Daraus ergibt sich folgende Stochastik. In Abbildung 9 sind die monatlichen Einspeisewerte der aktuell vorhandenen PV-Anlagen eingetragen, die gewünschte PV-Einspeisung sowie die Verbrauchsenergiemengen pro Monat. Wie zu erkennen ist, ist die Stochastik der Verbrauchsdaten im Sommer niedriger und im Winter höher, während die PV-Anlagen im Sommer wesentlich mehr einspeisen als im Winter. Aus diesem Grund ist der Anteil der PV-Anlagen im Vergleich zu den Windanlagen wesentlich niedriger, da die Einspeisestochastik wesentlich ungünstiger ist.

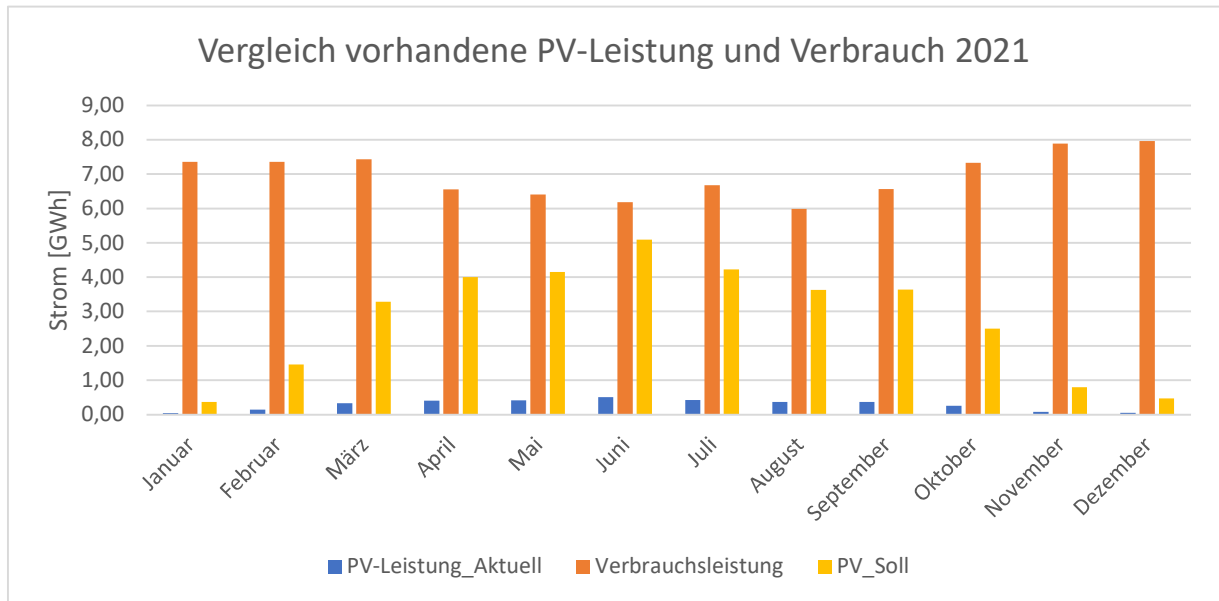


Abbildung 9: Vergleich der Einspeise- und Verbrauchsstochastik

## 6 Fazit

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass die benötigte Fläche für die PV-Anlagen nur knapp 0,5% der Gesamtfläche der Stadt Roth betragen würde. Dabei ist zu erwähnen, dass Photovoltaikanlagen weiterentwickelt werden und die Wirkungsgrade immer weiter steigen werden. Bei diesen Berechnungen wurde mit einem Wirkungsgrad von etwa 20% gerechnet. Dabei werden unter Laborbedingungen bereits Wirkungsgrad bis über 40% erreicht. (Fraunhofer Institut, 2022) Durch Weiterentwicklungen, mit sinkenden Preisen und steigenden Wirkungsgraden würden die Stromgestehungskosten weiter abnehmen, wie auch der Flächenbedarf. Photovoltaikanlagen sind einfach zu installieren, kostengünstig und wartungsarm. PV-Anlagen haben ein großes Potential als regenerative Energiequelle, konventionelle Energiequellen abzulösen.

## 7 Literaturverzeichnis

Bayrisches Staatsministerium für Wirtschaft. (07. 06 2022). *Energieatlas.Bayern*. Von <https://www.energieatlas.bayern.de/energieatlas.html> abgerufen

Dörfler, M. (2022). *Energieversorgung der Stadt Roth, Schwerpunkt Wärmeversorgung mit Speicherauslegung*.

Fraunhofer Institut. (2022). *Photovoltaics Report*. Freiburg: Fraunhofer.

Institut für Energietechnik (IfE) GmbH. (2012). *Integriertes Klimaschutzkonzept für den Landkreis Roth*. Amberg-Weiden.

Lubik, J. (2022). *Energieversorgung der Stadt Roth, Wasserkraft - Speicherauslegung*. Von urn:nbn:de:bvb:92-opus4-9015 abgerufen

Nahlik, A. (2022). *Energieversorgung der Stadt Roth, Schwerpunkt Biomasse und Strommarktanalyse*. Von urn:nbn:de:bvb:92-opus4-8937 abgerufen

Pickelmann, P. (2022). *Energieversorgung der Stadtwerke roth*. Von urn:nbn:de:bvb:92-opus4-8876 abgerufen

Wesselak, V. (2012). *Photovoltaik, wie Sonne zu Strom wird*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Wirth, D. H. (01. 05 2022). *fraunhofer*. Von <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf> abgerufen