

Abschlussbericht

Titel des Projekts:

Analyse des Potentials der Photovoltaikanlage in der
EMN Stand heute, 2030 und 2050

Kurztitel:

PVEMN2030

Themenfeld:

Eine grobe Analyse des Potentials von Photovoltaikanlagen
zur Reduzierung der CO₂-Emissionen

Name : Muhamad Fadhli Bin Zulkifli
Korrekturleser : Tobias Weldi
Studiengang : Maschinenbau (Energietechnik)
Matrikel-Nr. : 2807211
E-Mail : zulkiflimu66038@th-nuernberg.de
Telefonnr. : 0176 45822847
Prüfer : Prof. Dr. –Ing. Matthias Popp

Unterschrift, Ort, Datum

Nürnberg, 01.07.2018

I. Inhaltliche Kurzbeschreibung des Projekts

Die konventionellen Energieträger sind heutzutage aus der Sicht der Umwelt nicht mehr Relevant, da die Kraftwerke durch die Verbrennung der fossilen Brennstoffe Kohlenstoffdioxid (CO₂) freisetzen, welcher maßgeblich für die Globale Erwärmung ist. Eine Alternative zur Verminderung der CO₂-Ausstoß wäre die Einsetzung der regenerativen Energiequellen. Die Europäische Metropolregion Nürnberg (EMN) hat sich das Ziel gesetzt, dass im Jahr 2030 zu 65 % und im Jahr 2050 zu 100 % der Gesamtstromerzeugung aus regenerativen Energiequellen bereitzustellen. Die hauptsächlichen regenerativen Energieerzeugungsmethoden sind Laufwasser, Biomasse, Windkraft und Solaranlage. In diesem Projekt wurde nur das Potential der Photovoltaik in der EMN untersucht. Auf diese Weise wurden der momentane Zustand der Photovoltaik in der EMN, Anteile der Photovoltaik an Gesamtstromerzeugung für das Jahr 2030 und 2050 und der Anlagenflächenbedarf recherchiert. Momentan gibt es in der EMN ca. 120000 Photovoltaikanlage. Diese Anlagen liefern eine installierte Leistung von 2,85 GWp und liefern 2,6 TWh Strom bereit. Daraus folgt, dass sich der Anteil der Photovoltaik auf 10,8% von der Bruttostromerzeugung beläuft, welcher unserem Ziel für das Jahr 2030 mit einem Anteil von 16 bis 21 % und im Jahr 2050 mit einem Anteil von 32 bis 60 % entspricht. Aus der Berechnung ergibt sich die benötigte Fläche von 21,8 bis 28,6 km² für das Jahr 2030 und 43,6 bis 81,8 km² für das Jahr 2050. Interessant wäre, dass diese Fläche mit den gegebenen Dachflächen in der EMN. Zum Schluss hat die Photovoltaik ein großes Potential für eine umweltfreundliche und eine sichere Energiequelle für die Zukunft.

II. Inhaltsverzeichnis

I. INHALTLICHE KÜRZBESCHREIBUNG DES PROJEKTS.....	I
II. INHALTSVERZEICHNIS	II
III. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	III
IV. TABELLENVERZEICHNIS.....	III
V. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	III
1 ALLGEMEIN	1
2 ZIEL UND FORSCHUNGSFRAGEN.....	1
3 STAND DER TECHNIK	3
3.1 Funktionsweise einer Photovoltaikanlagen	3
3.2 Vor- und Nachteile der Photovoltaikanlagen	4
4 ERGEBNISSE	5
4.1 Gesamtstromverbräuche der EMN.....	5
4.2 Stand 2016.....	5
4.3 Stand 2030.....	6
4.3.1 Kurzberechnung	6
4.3.2 Berechnung mit MERRA-2 Datenbank und Excel-tools.....	7
4.4 Stand 2050.....	10
4.5 Prognose aus Energie-Atlas Bayern	11
5 FAZIT.....	12
6 QUELLENANGABEN	12

III. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 : Aufteilung der Stromerzeugung im Jahr 2030.....	2
Abbildung 2 : Die Photovoltaikanlage - Funktionsweise und Aufbau (Wegatech, 2018)	3
Abbildung 3 : How do photovoltaics work? (NASA Science BETA, 2018).....	4
Abbildung 4 : Anzahl der Photovoltaikanlage in der EMN über die Jahre (Energie- Atlas Bayern, 2018).....	6
Abbildung 5 : Die benötigte Anlagenfläche aus Karte (scribble maps, 2018)	8
Abbildung 6 : monatlicher Stromverbrauch der EMN und von Photovoltaik erzeugte Strom.....	9
Abbildung 7 : monatlicher anteil der photovoltaik am stromverbrauch.....	9
Abbildung 8 : Jahresdauerlinie der Erzeugungssumme aus Energiemix zwischen Wind und Solar	11

IV. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 : benötigte Fläche der Solaranlagen unter verschiedenen Umständen.....	10
--	----

V. Abkürzungsverzeichnis

EMN	Europäische Metropolregion Nürnberg
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
EU	Europäische Union
EEG	Erneuerbare -Energien Gesetz
MDN	Main-Donau Netzgesellschaft
TWh	Terrawattstunde
GWh	Gigawattstunde
GW	Gigawatt

GWp	Gigawattpeak
A_{PV}	Photovoltaikanlagenfläche
V_{EMN}	Stromverbrauch in der EMN
SA	Solaranteil an Gesamtstromerzeugung
P_{Nenn}	Nennleistung der Solaranlage
P_{Sol}	Maximale Leistung der Solaranlage
η_{Sol}	Wirkungsgrad der Solaranlage
η_s	Speicherwirkungsgrad
MERRA-2	Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2

1 Allgemein

In dem letzten Jahrhundert ist Strom keine große Herausforderung für die Menschheit. Aber mit der fortgeschrittenen Technik hängen wir immer mehr vom Strom ab. Viele Geräte in unserer Umgebung sollen mit Strom versorgt werden. Der größte Anteil des Stromes wird heutzutage mit konventionellen Energieträgern bereitgestellt. Dadurch entstehen einige Probleme. Diese Kraftwerke verbrennen fossile Brennstoffe, die begrenzt sind, und während des Verbrennungsprozess wird Kohlenstoffdioxid (CO₂) freigesetzt. CO₂ ist ein Treibhausgas, welches maßgeblich für die Klimaerwärmung verantwortlich ist.

In den letzten Jahren ist die globale Temperatur um 1 °C gestiegen (NASA, 2018). Damit diese nicht weiter ansteigt, ist der Ausstoß von CO₂-Emissionen deutlich zu vermindern. Der momentane Anteil an CO₂ in der Luft liegt bei ungefähr 408 ppm (NASA, 2018). Im Gegensatz dazu betrug der CO₂-Anteil im Jahr 2005 nur ca. 380 ppm (NASA, 2018).

Die Europäische Union(EU) hat sich das Ziel gesetzt die CO₂-Emissionen bis 2030 um 40 % im Gegensatz zu 1990 zu senken (Europäische Kommission, 2018). Deutschland ist ein Teil der Europäischen Union und damit ein wichtiger Faktor für die Umsetzung dieses Zieles.

Daraus wird ersichtlich, dass die regenerativen Energieträger hier eine große Rolle für die Zukunft der Welt spielen, weil die erneuerbaren Energiequellen wie z.B. Wind, Sonne und Biomasse unendlich vorhanden sind. Die Nutzung dieser Energiequellen zur Stromerzeugung setzen wenig oder gar kein CO₂ in der Umgebung frei und ergeben das Potential zur Reduzierung des CO₂-Austoßes. Aus diesem Grund werden zukünftig konventionelle Kraftwerke einen wesentlich geringeren Anteil zur Stromversorgung beitragen. Die benötigte Energie wird zunehmend durch dezentrale und regenerative Kraftwerke bereitgestellt.

2 Ziel und Forschungsfragen

Die Europäische Metropolregion Nürnberg (EMN) ist eine Region in Bayern, die aus 23 Landkreisen besteht und eine Einwohneranzahl von 3,5 Mio. hat (Metropolregion Nürnberg, 2018). Damit das Ziel der EU erreicht wird, ist in dieser Region für das Jahr 2030 eine Gesamtenergieerzeugung vorzusehen, welche zu 65 % mithilfe von

regenerativen Energieträgern bereitgestellt wird. Die regenerativen Energieträger bestehen hauptsächlich aus Wasserkraft, Biomasse, Windkraft und Photovoltaik. Weil Windkraft und Photovoltaik mehr Vorteile gegenüber Wasserkraft und Biomasse bringen, werden diese Anlagen verstärkt eingesetzt. In dieser Projektarbeit wird nur der Anteil der Photovoltaik betrachtet. Eine Bedingung für einen optimalen Energiemix aus Wind und Solar ist, dass der Anteil an Solarenergie zwischen 16 % und 21 % liegt. Das folgende Diagramm zeigt uns, wie die Aufteilung der Stromerzeugung im Jahr 2030 realisiert werden soll.

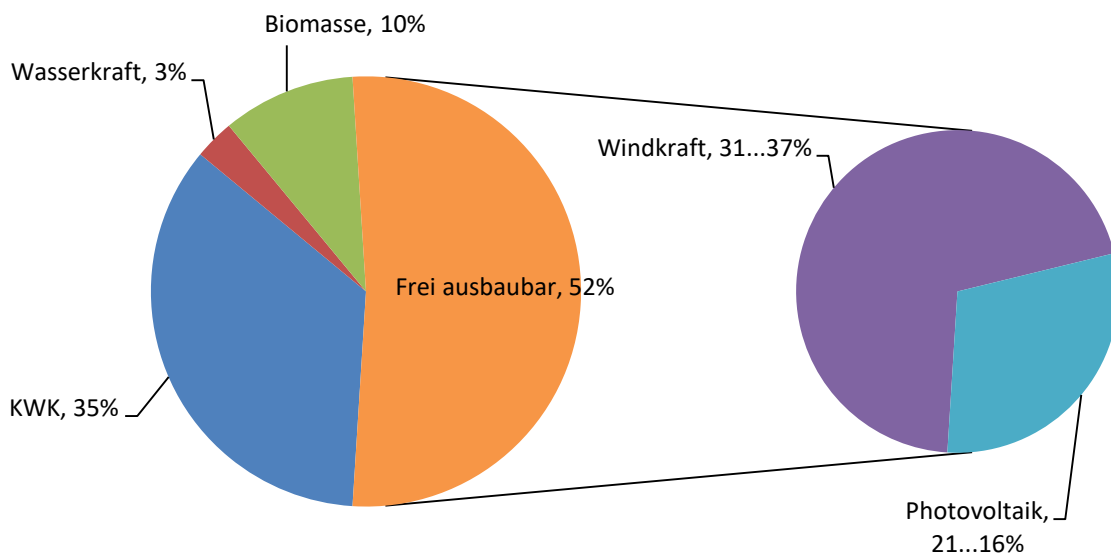


Abbildung 1 : Aufteilung der Stromerzeugung im Jahr 2030

Im Rahmen der Vorlesung Projekt Energietechnik an der TH Nürnberg soll untersucht werden, wie die Entwicklung der Photovoltaik in der EMN aussieht und ob das Ziel bis 2030 erreicht werden kann. In dieser Projektarbeit werden die folgenden vier Forschungsfragen beantwortet:

1. Wie viel Energie wird momentan durch Photovoltaikanlagen in der EMN bereitgestellt?
2. Welchen Einfluss hat der zeitliche Verlauf der Sonneneinstrahlung auf die Stromerzeugung?
3. Wie wird sich der Stromverbrauch bis zum Jahr 2030 verändern?
4. Wie viele Photovoltaikanlagen werden in der EMN benötigt, um eine zuverlässige Energieversorgung sicher zu stellen?

3 Stand der Technik

Im folgenden Kapitel wird die Funktionsweise sowie die Vor- und Nachteile der Photovoltaik vorgestellt.

3.1 Funktionsweise einer Photovoltaikanlagen

Photovoltaik ist ein Gerät, das die Energie der Sonneneinstrahlung durch photoelektrischen Effekt direkt in elektrische Energie umwandelt. Abbildung 2 zeigt eine einfache Darstellung der Funktionsweise einer Solarzelle.

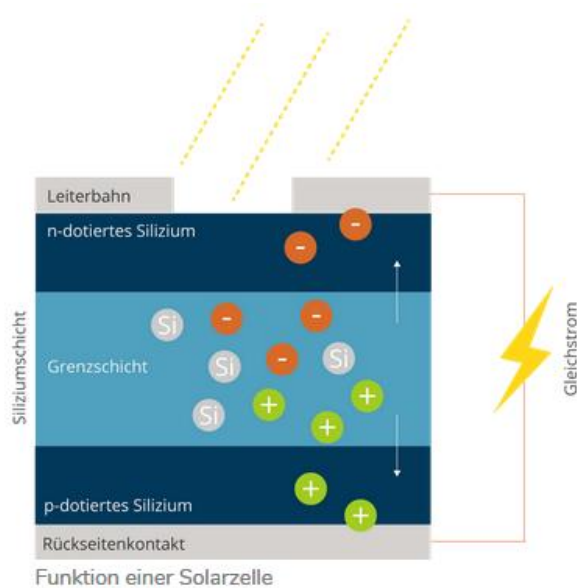


Abbildung 2 : Die Photovoltaikanlage - Funktionsweise und Aufbau (Wegatech, 2018)

Eine Solarzelle besteht aus einer negativen Elektrode oben und einer positiven Elektrode im unteren Bereich der Solarzelle. Zwischen den beiden Elektroden gibt es Halbleitermaterialien, die die Photonen von der Sonne absorbieren, welche die Elektronen in der Zelle anregen. Diese Anregung verursacht eine Bewegung der Elektronen. Dies führt zu einem Stromfluss.

Ein Solarmodul sind verschaltete Solarzellen, die je nach Anwendung in Reihe oder Parallel geschaltet werden. Wenn die Zellen in Reihe geschaltet werden, ergibt sich eine höhere Spannung in der Schaltung, während eine Parallelschaltung einen höheren Strom zur Folge hat. Eine Photovoltaikanlage ist resultierend aus diesen Erkenntnissen eine Kombination von mehreren Solarmodulen. Abbildung 3 veranschaulicht dies.

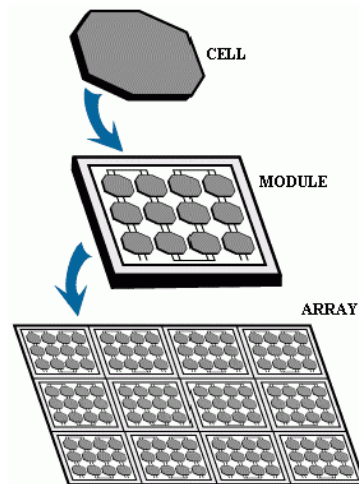


Abbildung 3 : How do Photovoltaics Work? (NASA Science Beta, 2018)

Der erzeugte Strom ist allerdings im Gleichstrom und die im Haushalt oder im Stromnetz nutzbare Energie ist im Wechselstrom. Um den Gleichstrom in Wechselstrom zu wandeln, wird zwischen diesen Elementen ein Umrichter benötigt.

3.2 Vor- und Nachteile der Photovoltaikanlagen

Die Einsetzung der Photovoltaikanlagen als einer der wichtigsten Energieversorger bringt viele Vorteile mit sich. Die Photovoltaikanlage braucht für die Stromerzeugung nur die Strahlungsenergie der Sonne als Energiequelle, die zukunftsfähig, nahezu unerschöpflich und umweltverträglich ist. Während des Energieumwandlungsprozesses wird kein CO₂ oder andere Schadstoffe freigesetzt. Somit hilft es zur Reduzierung der CO₂-Emissionen. Eine Photovoltaikanlage ist heutzutage kostengünstig im Vergleich zu den anderen erneuerbaren Energiequellen. Im Zeitraum zwischen 2005 bis 2015 konnten die Stromgestehungskosten der Photovoltaikanlagen um 80 % reduziert werden und Solarenergie wird in der Zukunft der billigste Strom in vielen Ländern sein (Fraunhofer, 2015, S. 6). Des Weiteren gibt es Förderprogramme nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Wer Photovoltaikanlagen installiert und den erzeugten Strom ins Netz einspeist, erhält eine Vergütung, jedoch nur wenn er die gegebenen Bedingungen erfüllt (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2017).

Außerdem hat die Photovoltaikanlage den Nachteil, dass der Umwandlungsprozess solcher Anlagen eine geringere Effizienz bezüglich anderer regenerativer Energieträger hat. Der durchschnittliche Wirkungsgrad beträgt 15 %. Weiterhin ist ein Umrichter für die Umwandlung des erzeugten Gleichstroms in Wechselstrom notwendig, wel-

cher ebenfalls verlustbehaftet ist. Auch ein Energiespeicherungssystem ist erforderlich, um den Strom kontinuierlich in das Stromnetz zu speisen. Aus diesem Grund resultiert eine Zunahme der Investitionskosten der Photovoltaikanlage.

4 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Forschungsfragen beantwortet. Somit werden die Rechenwege und die Ergebnisse dieses Projekts angezeigt und ausgewertet.

4.1 Gesamtstromverbräuche der EMN

Der genaue Betrag des Stromverbrauchs in der EMN ist nicht festgelegt, da die Informationen hierzu von vielen Energieversorgern nicht übermittelt und veröffentlicht wurden. Deshalb wird der Endenergieverbrauch der EMN mit Hilfe des von der Main-Donau Netzgesellschaft (MDN) gegebenen Stromverbrauchs mit der Gleichung 1 kalkuliert. Daraus ergibt sich einen Gesamtenergieverbrauch in der EMN von 24TWh bzw. 2,7GW für das Jahr 2016 (Main-Donau Netzgesellschaft, 2018).

$$\text{Stromverbrauch EMN} = \frac{\text{Stromverbrauch MDN}}{\text{Einwohnerzahl im Netzgebiet}} \cdot \text{Einwohnerzahl der EMN} \quad [1]$$

Obwohl einerseits der Stromverbrauch pro Einwohner immer mehr steigt, ist andererseits eine Einwohnerentwicklung von -1,6 % in der EMN vorhanden. Deshalb wurde der Stromverbrauch für die nächsten Jahre mit demselben Betrag wie für das Jahr 2016 abgeschätzt.

4.2 Stand 2016

Aufgrund des steigenden Wirkungsgrades der Solarmodule, abnehmender Kosten und verstärktem Umweltbewusstsein hat sich die Anzahl der installierten Photovoltaikanlagen in den letzten 10 Jahren drastisch erhöht. Abbildung 2 visualisiert den Anstieg von Photovoltaikanlagen zwischen 2002 und 2016 in der EMN.

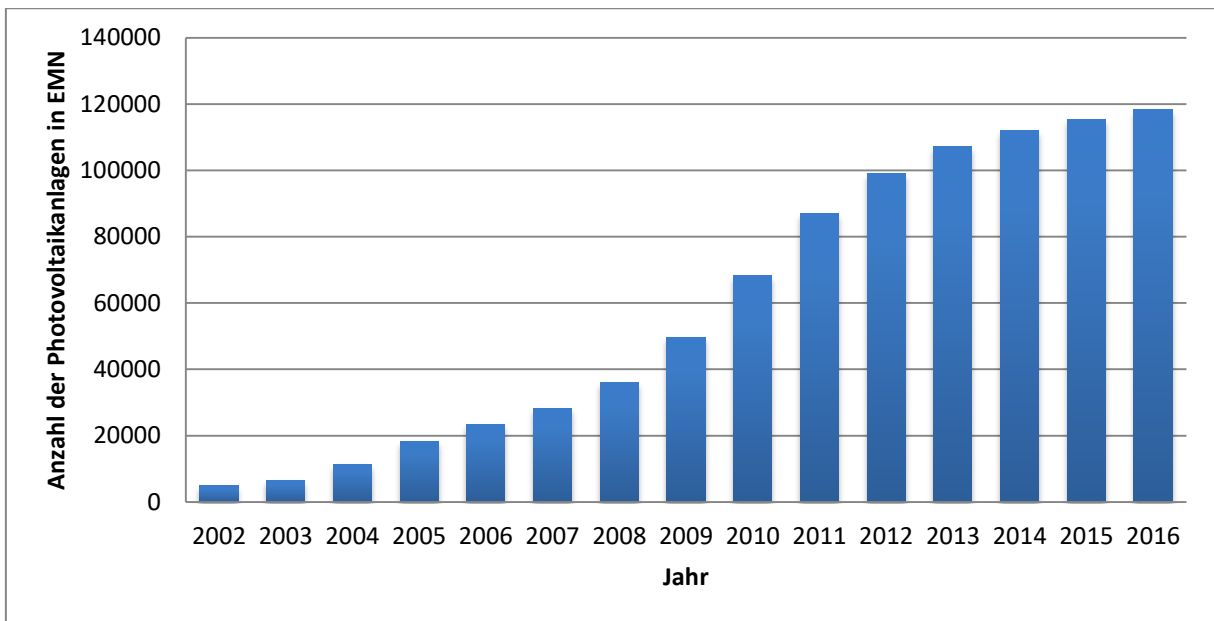


Abbildung 4 : Anzahl der Photovoltaikanlage in der EMN über die Jahre (Energie-Atlas Bayern, 2018)

Die Abbildung zeigt, dass die Anzahl der Photovoltaikanlagen im Jahr 2016 (118455) fast viermal höher als die Anzahl der Photovoltaikanlagen im Jahr 2006 (28311) ist. Im Jahr 2016 liefern die Photovoltaikanlagen eine installierte Leistung von 2,85 GWp und stellen 2,6 TWh bereit (Energie-Atlas Bayern, 2018).

Daraus folgt, dass sich der Anteil des durch Photovoltaikanlagen erzeugten Stroms auf 10,8 % von dem der Bruttostromerzeugung im Jahr 2016 beläuft, welcher unserem Ziel für das Jahr 2030 mit einem Anteil von 16 % entspricht.

4.3 Stand 2030

4.3.1 Kurzberechnung

Der Gesamtstromverbrauch im Jahr 2030 wurde mit 24TWh abgeschätzt. Im Jahr 2030 sollen 16 % bis 21 % des Stromverbrauches durch Photovoltaikanlagen abgedeckt werden. Ohne die Berücksichtigung der Sonneneinstrahlungsverlauf kann die benötigte Anlagenfläche mit folgender Gleichung bestimmt werden.

$$A_{PV} = \frac{V_{EMN} \cdot SA}{8760h/a \cdot P_{Nenn}} \quad [2]$$

Mit	Gesamtstromverbrauch in EMN:	$V_{EMN} = 24 TWh$
	Solaranteil:	$SA = 16\% - 21 \%$
	Solarmodulnennleistung:	$P_{Nenn} = P_{Sol} \cdot \eta_{Sol}$
	Solarmodulleistung:	$P_{Sol} = 135 W/m^2$
	Wirkungsgrad:	$\eta_{Sol} = 15 \%$

Daraus ergibt sich eine benötigte Fläche von 21 km² bis 27,5 km², um das Ziel bis 2030 zu erreichen. Der momentane Anteil der Photovoltaikanlagen beträgt ungefähr 11 % und mit der Gleichung 2 wurde eine Fläche von 14,7 km² berechnet. Hieraus ergibt sich, dass nur noch zwischen 6 km² und 12 km² mit Photovoltaik zusätzlich bedeckt werden müssen.

4.3.2 Berechnung mit MERRA-2 Datenbank und Excel-tools

In diesem Projekt wurde die benötigte Fläche der Photovoltaikanlagen für die EMN ausgerechnet, um das Ziel zur Reduzierung der CO₂-Emissionen im Jahr 2030 sicher zu stellen. Die erhaltenen Daten von MERRA-2 enthalten die stündlichen Verläufe der Sonneneinstrahlung des Jahres 2017. Mithilfe des Excelauswertungsprogramms von Prof. Dr. –Ing. Matthias Popp können diese Daten weiterverarbeitet werden. Die Berechnung der Anlagenstromerzeugung wurde unter folgenden Bedingungen berechnet:

1. Sie zeigen in südwestliche Richtung (225°).
2. Sie sind um 30° geneigt.
3. Sie haben ein Wirkungsgrad von 15 %.
4. Sie haben eine maximale Leistung von 135 W/m².

$$\text{Strom} = \text{Sonneneinstrahlung} \cdot \text{Wirkungsgrad} \cdot \text{Anlagenfläche} \cdot \text{Zeit} \quad [3]$$

Gleichung 3 ist die generelle Gleichung zur Stromerzeugung einer Photovoltaikanlage. Durch eine Umstellung dieser Gleichung kann die benötigte Anlagenfläche mit dem gegebenen Solaranteil des Gesamtstromverbrauches für das Jahr 2030 ausgerechnet werden. Die Photovoltaikanlage besitzt außerdem eine sogenannte Kappleistung. Dies bedeutet, dass falls die von der Anlage erzeugte Leistung mehr als

120 W/m² ist, wird die überschüssige Leistung gekappt. Dies wird zur Schonung des Stromnetzes durchgeführt.

Aus der Berechnung ergibt sich die benötigte Anlagenfläche zwischen 21,8km² und 28,6km². Es wäre interessant zu erfassen, ob sich die errechnete Anlagenfläche mit dem Einfluss der zeitlichen Sonneneinstrahlung mit den errechneten Werten ohne diesen Einfluss unter Kapitel 4.3.1. deckt. Die EMN ist 21.800 km² groß. Das bedeutet, dass 0,1 % bis 0,13 % der Fläche mit Photovoltaikanlagen abgedeckt werden müssten. Abbildung 5 zeigt den Flächenbedarf der benötigten Photovoltaikanlage.



Abbildung 5 : Die benötigte Anlagenfläche aus Karte (Scribble Maps, 2018)

In Abbildung 5 wurde die benötigte Anlagenfläche von 21,8 km² mit Nürnberg verglichen. Daraus ergibt sich, dass die Photovoltaikfläche ungefähr so groß wie der Nürnberg-Mitte ist.

Aus Kapitel 3.1 geht hervor, dass die Stromerzeugung einer Photovoltaikanlage sehr stark von der Sonneneinstrahlung abhängt. Jedoch schwanken diese über das Jahr. Die folgenden Abbildungen 6 und 7 stellen dar, wie die schwankende Sonneneinstrahlung die Stromerzeugung beeinflusst.

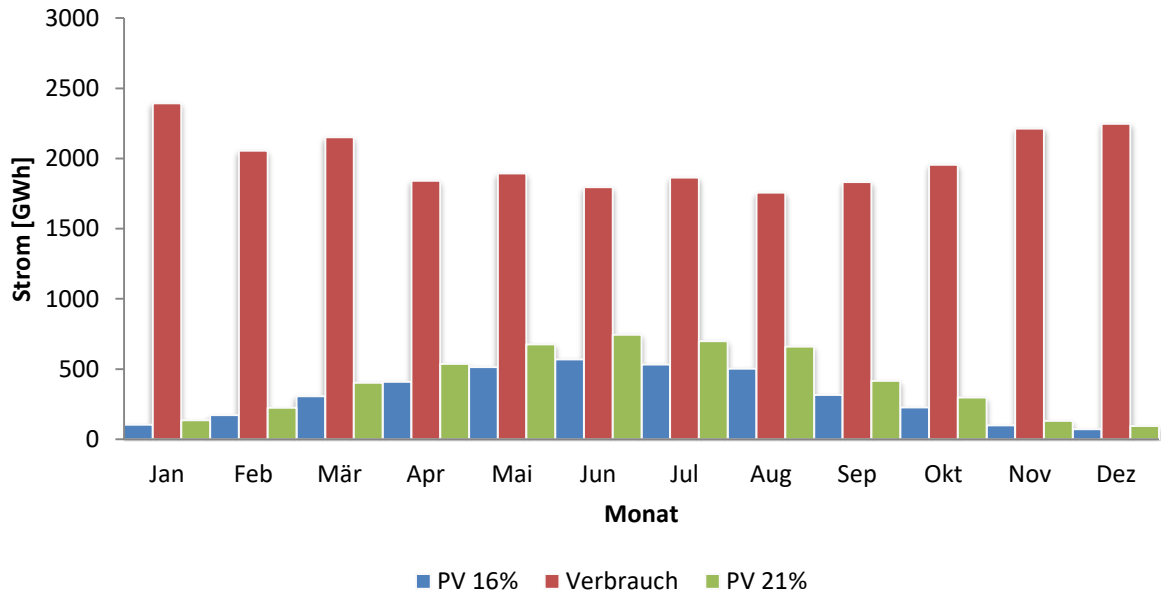


Abbildung 6 : monatlicher Stromverbrauch der EMN und von Photovoltaik erzeugte Strom

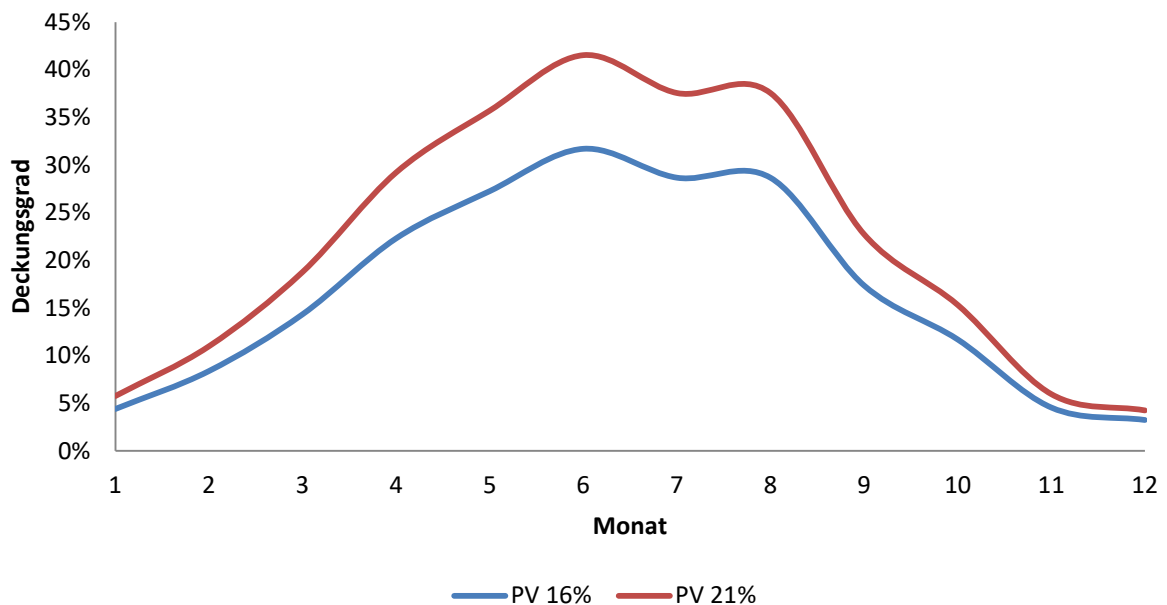


Abbildung 7 : monatlicher Anteil der Photovoltaik am Stromverbrauch

Aus den Ausbildungen ist ersichtlich, dass im Winter der Deckungsgrad der Anlage viel geringer als im Sommer ausfällt. Das ist damit zu begründen, dass im Sommer die Sonne länger scheint. Aus diesem Grund soll die regenerative Energieerzeugung auf Basis von Solar- und Windkraftanlagen realisiert werden. Da im Winter der Wind dominiert wird im Winter verstärkt der benötigte Strombedarf von Windkraftanlagen bereitgestellt. Im Sommer wird hingegen ein größerer Anteil des Strombedarfs durch

Solarenergie gedeckt. Dies ist die Grundlage für die Projektarbeit „Optimaler Mix aus regenerativen Energien der EMN 2030“ von Florian Fichtner.

4.4 Stand 2050

Im Rahmen des Projekts Energietechnik des sechsten Semesters der Fakultät Maschinenbau der TH Nürnberg wird auch das Potential der Umsetzbarkeit einer hundertprozentigen regenerativen Stromversorgung der EMN bis 2050 untersucht. Die benötigte Anlagenfläche wird mit der gleichen Berechnungsweise wie in Kapitel 4.3.1 bestimmt. Um die regenerativen Energieträger auszunutzen, spielen hier die Speichersysteme eine große Rolle, weil die Stromerzeugung dieser Energieträger fluktuiert. In der Berechnung wurde einmal mit einem geodätischen Speicher z.B. Stülpmembranspeicher, mit der eine Versorgungsreserve von 20% verfügbar soll, und einmal mit einem schlechteren Speichersystem wie Power-to-Gas mit einer Versorgungsreserve von 50% berücksichtigt. Die Ergebnisse wurden in folgender Tabelle erfasst.

Jahr	Versorgungsreserve [%]	Solaranteil [%]	Fläche [km ²]	Flächenanteil EMN [%]	Leistung [GWp]
2030	-	16	21,8	0,10	2,6
	-	21	28,6	0,13	3,4
2050	20	32	43,6	0,20	5,2
		43	58,6	0,27	7,0
	50	45	61,3	0,28	7,3
		60	81,8	0,38	9,7

Tabelle 1 : Benötigte Fläche der Solaranlagen unter verschiedenen Umständen.

Aus der Tabelle geht hervor, dass mit dem schlechtesten Speicherwirkungsgrad und dem höchsten Anteil der Photovoltaik an Gesamtstromerzeugung eine Fläche von ungefähr 82km² benötigt wird, um das Ziel bis 2050 zu erreichen. Herrn Martin Lödl aus Technischer Universität München gab eine Abschätzung des Photovoltaik-Potentials auf Dachflächen in Bayern und in Deutschland (Martin Lödl, 2010). Aus dieser Forschung ergab sich ein Photovoltaik-Dachflächenpotential in Bayern von 25,GWp und EMN ist ein Drittel von Bayern. Mit einer groben Berechnung beträgt das Photovoltaik-Potential auf Dachflächen in EMN von 7,8 GWp. Folglich gibt es eine Höchstwahrscheinlichkeit, dass die benötigte Anlagenfläche mit den gegebenen

Dachflächen in der EMN für das Szenario 2050 abgedeckt werden kann und keine zusätzliche Fläche benötigt wird.

4.5 Prognose aus Energie-Atlas Bayern

Aus einer Prognose des Energie-Atlas Bayern soll im Jahr 2025 der Anteil der Photovoltaik 22 bis 25 % der Bruttostromerzeugung in Bayern betragen (Energie-Atlas Bayern, 2018). Folglich wird im Jahr 2030 ein höherer Anteil der Photovoltaik erwartet. Dadurch ergibt sich ein ungünstiger Energiemix zwischen Solar und Wind, welcher einen negativen Einfluss auf die Netzstabilität und die Versorgungsgewährleistung hat.

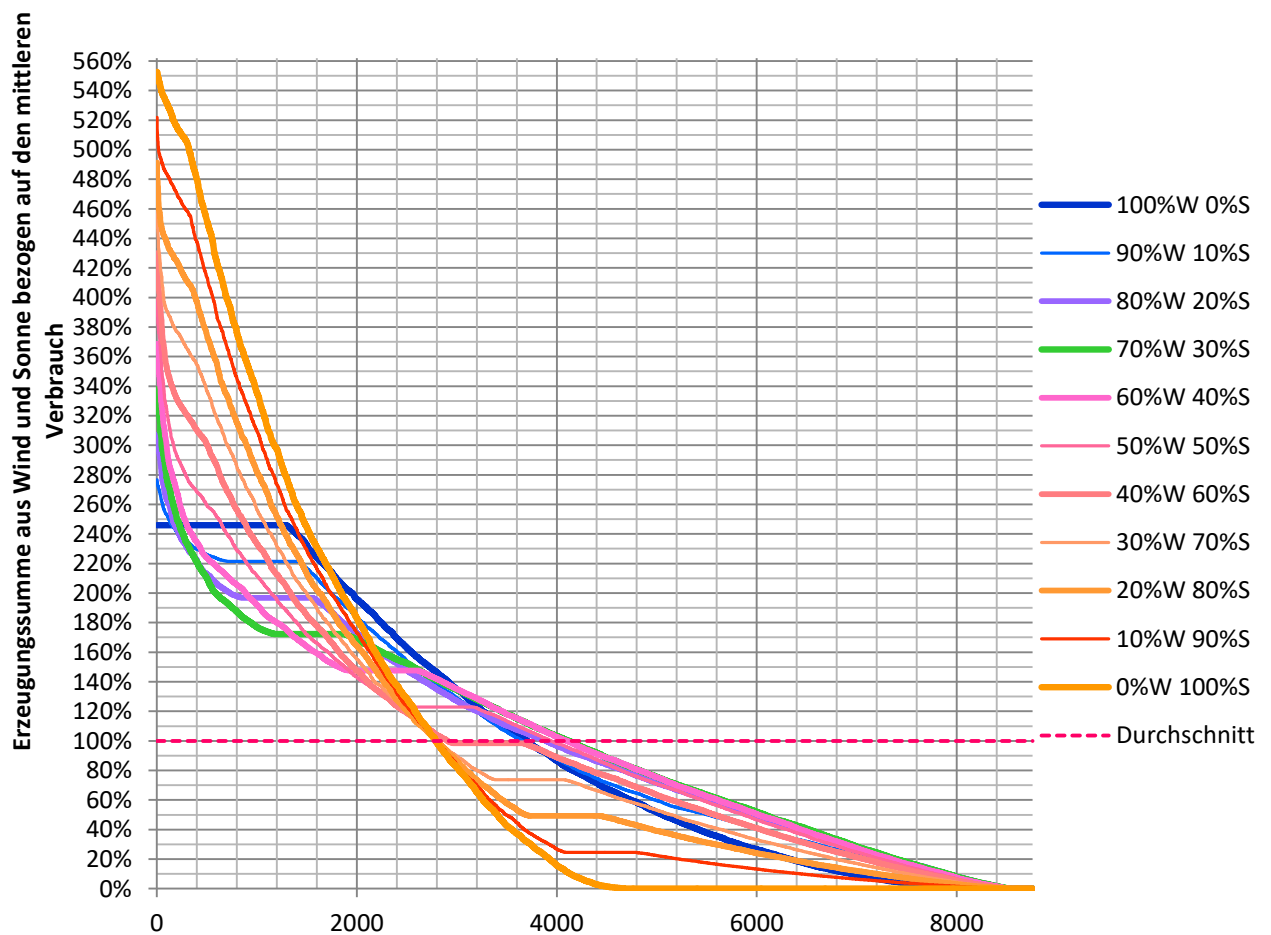


Abbildung 8 : Jahresdauerlinie der Erzeugungssumme aus Energiemix zwischen Wind und Solar

Aus Abbildung 8 wird ersichtlich, dass der Energiemix von 70% Windanteil und 30% Solaranteil am besten ist, weil sich daraus mehr Vollaststunden und sich geringere Überschüsse ergeben. Wenn der Solaranteil höher als dieser optimale Energiemix ist, wird ein großer Anteil des erzeugten Stroms als Verlust betrachtet. Daraus ergibt

sich, dass die optimale Ausnutzung der Photovoltaik unter diesen Umständen nicht möglich ist.

5 Fazit

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass die benötigte Anlagenfläche für das „Worst Case Scenario“ das Jahr 2050 nur 0,38% der Gesamtfläche EMN beträgt. Es ist auch anzumerken, dass die Photovoltaikanlagen weiterentwickelt werden und somit ihre Wirkungsgrade voraussichtlich steigen werden. In diesem Projekt wurden die Berechnungen mit einem Wirkungsgrad der Photovoltaikanlage von 15% durchgeführt. Heutzutage kann bereits im Labor ein Modulwirkungsgrad von 38,9 % erreicht werden (Fraunhofer ISE, 2018). Mit der Steigerung des Wirkungsgrades werden die Stromgestehungskosten und der Flächenbedarf der Photovoltaik abnehmen. Die Photovoltaikanlagen sind wartungsarm, einfach zu installieren und auch im zivilen Bereich nutzbar. Schlussfolgernd haben Photovoltaikanlagen ein hohes Potential als eine umweltfreundliche und sichere Energiequelle für die Zukunft im Vergleich zu anderen regenerativen Energiequellen.

6 Quellenangaben

Europäische Union (2018). CO₂-arme Wirtschaft bis 2050. Abgerufen am 18. April 2018 von https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_de#tab-0-0

NASA (2018). Global Temperature. Abgerufen am 18. April 2018 von <https://climate.nasa.gov/>

Energie-Atlas Bayern (2018). Photovoltaik Daten und Fakten. Abgerufen am 28. Mai 2018 von https://www.energieatlas.bayern.de/thema_sonne/photovoltaik/daten.html

Main-Donau Netzgesellschaft (2018). Veröffentlichung – Strom. Netzrelevante Daten zu unserem Stromnetz. Abgerufen am 28. Mai 2018 von [https://www.main-donau-netz.de/static-](https://www.main-donau-netz.de/static-re-)

[re-](https://www.main-donau-netz.de/static-re-)

[sources/content/vp_mdn/resources/doc/Dezentrale Einspeisung je Netzebene 2017.xlsx](https://www.main-donau-netz.de/static-re-sources/content/vp_mdn/resources/doc/Dezentrale_Einspeisung_je_Netzebene_2017.xlsx)

&

[https://www.main-donau-netz.de/static-resources/content/vp_mdn/resources/doc/Hochstlasten je Netzebene 2017.xlsx](https://www.main-donau-netz.de/static-resources/content/vp_mdn/resources/doc/Hochstlasten_je_Netzebene_2017.xlsx)

Wegatech (2018). Die Photovoltaikanlage - Funktionsweise und Aufbau. Abgerufen am 11. Juni 2018 von <https://www.wegatech.de/ratgeber/photovoltaik/grundlagen/wie-funktioniert-photovoltaik/>

NASA Science Beta (2018). How do Photovoltaics Work? Abgerufen am 11. Juni 2018 von <https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017). EEG 2017: Wettbewerbliche Vergütung, Pilotwindenergieanlagen an Land. Abgerufen am 11. Juni 2018 <https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Recht-Politik/EEG-Ausschreibungen/Pilotwindenergieanlagen/pilotwindenergieanlagen.html>

Fraunhofer ISE (2015): Current and Future Cost of Photovoltaics. Long-term Scenarios for Market Development, System Prices and LCOE of Utility-Scale PV Systems. Study on behalf of Agora Energiewende.

Scribble Maps (2018), Area Calculator. Abgerufen am 17. Juni 2018 von <https://www.scribblemaps.com/tools/area-calculator>

Fraunhofer ISE (2018) : Photovoltaics Report. Abgerufen am 18. Juni 2018 von <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>

Martin Lödl (2010), Abschätzung des Photovoltaik-Potentials auf Dachflächen in Deutschland, Abgerufen am 24. Juni 2018 von https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/Events/Eninnov2010/files/pr/PR_Loedl.pdf