

# Projekt Energietechnik

## Optimaler Mix aus regenerativen Energien für die Stadt Nürnberg

Best-Mix

Projektbearbeiter: Dennis Bannert  
Matr.-Nr.: 2645118  
Anschrift: Humboldtplatz 5  
90459 Nürnberg  
Email: [bannertde61484@th-nuernberg.de](mailto:bannertde61484@th-nuernberg.de)  
Tel.: 0177/4306995  
  
Zeitraum: 12.11.2017 – 21.12.2017  
Betreuer Hochschule: Prof. Dr.-Ing. Matthias Popp

Ort, Datum:

Unterschrift:

---

---

## Inhaltsverzeichnis

1. Problem .....	3
2. Projektbeschreibung und Ziele .....	5
3. Vorgehensweise und Ergebnisse .....	7
3.1 Verwendete Tools .....	7
3.2 Exportieren der Energiewetterdaten .....	9
3.3 Kriterien für den optimalen Mix .....	9
3.4 Windanteil.....	11
3.5 Solarleistung .....	13
3.6 Laufwasser- und Biomasseleistung.....	15
3.7 Verbrauchslast .....	18
3.8 Erzeugungsmix.....	20
3.9 Erzeugungsdauerlinien .....	22
3.10 Residualleistungsdauerlinien .....	23
3.11 Speicherverlauf .....	27
3.12 Deckungsreserve-Vorgabe .....	28
4. Kostenoptimum .....	29
Tabellenverzeichnis.....	32
Abbildungsverzeichnis .....	32
Literaturverzeichnis .....	33

## 1. Problem

Durch das Rahmenübereinkommen der vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC–United Nation Climate Change Conference) wird die Bedrohung durch den Klimawandel angegangen. Das Ziel des UNFCCC besteht darin, die Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre auf ein Niveau zu stabilisieren, das eine durch den Menschen verursachte, gefährliche Störung des Klimasystems, verhindert. Das in Folge dessen entstandene Kyoto-Protokoll zur Senkung der Emissionen, wurde von den meisten am UNFCCC teilnehmenden Staaten ratifiziert. Es legt Zielvorgaben für die Emissionssenkung fest und schränkt Emissionssteigerungen ein. [<https://www.eea.europa.eu/de/themes/climate/policy-context> 29.11.17]

Mehr als ein Viertel der 241 Naturwunder, die als Weltnaturerbe besonders geschützt werden, sind durch den Klimawandel schwer bedroht. [[http://www.focus.de/wissen/klima/klimaerwaermung/klimawandel-naturwunder-in-gefahr\\_id\\_7884768.html](http://www.focus.de/wissen/klima/klimaerwaermung/klimawandel-naturwunder-in-gefahr_id_7884768.html) 30.11.2017]

Der Klimawandel ist bereits heute in vielen Gebieten der Erde negativ spürbar. Bei einer Erwärmung um zwei Grad wären weitere Folgen sowohl für die Menschheit als auch für Flora und Fauna nicht auszuschließen. Einige davon sind die Dürregefahr in Südeuropa, Gletscherschmelze im Himalaja, Überschwemmung von Inselstaaten im Pazifik, Waldbrände in Nordamerika, Überschwemmung von den Mangrovenwäldern der Sundarbans oder Korallensterben im Pazifik.

Scheitert der Versuch, die Erderwärmung zu begrenzen, ergeben sich zusätzliche Risiken. Ein Anstieg der globalen Temperatur von vier Grad wäre mit erheblichen Konsequenzen verbunden. So wären Ernteauffälle in Afrika, Hitzetote in Asien, Artensterben im Regenwald oder das Abschmelzen des grönländischen Eispanzers nicht auszuschließen.

Um das Klima der Welt zu schützen, haben 138 Staaten und Regionen politische Maßnahmen ergriffen, die den Ausbau regenerativer Energien für die Energieversorgung vorantreiben sollen. In Europa hat man sich das Ziel gesetzt, bis 2020 die Versorgung mit erneuerbare Energien auf 20% zu erhöhen und Treibhausgasemissionen gleichzeitig um 20% zu verringern. [<https://www.unendlich-viel-energie.de/themen/politik> zuletzt am 27.11.2017]

In Deutschland ist der Zubau neuer, regenerativer Energieanlagen gesetzlich geregelt. Bis 2025 sollen 40-45% des Energieverbrauchs durch erneuerbaren Energien gedeckt werden. Bis 2035 sollen es sogar 55-60% sein. Deshalb ist Deutschland eines der Länder, die weltweit am meisten auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien investieren und somit den Fortschritt vorantreiben. [[https://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/EnergieErzeugen/ErneuerbareEnergien-Zeitalter/\\_node.html](https://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/EnergieErzeugen/ErneuerbareEnergien-Zeitalter/_node.html) zuletzt am 27.11.2017]

Um diese Herausforderung meistern zu können, muss der Anteil an erneuerbaren Energielieferanten beträchtlich ansteigen. Zudem müssen die Kohlekraftwerke in Deutschland aufgrund des enormen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes hierzulande heruntergefahren werden. Der Ausbau des Potentials liegt in diesem Land hauptsächlich in Windenergie und Sonnenenergie. Das Problem bei diesen Energieformen ist jedoch das volatile Verhalten des Aufkommens. Im Sommer können längere Ruhephasen mit wenig oder gar keinem Wind auftreten, während die Sonne nur tagsüber und im Winter eine geringere Stundenzahl scheint. Diese Situationen führen zu hohen Energiedichten, die durch eine Abriegelung gegen Überlastung des Stromnetzes gewährleistet werden muss. Im Gegenzug kann bei Engpässen eine stabile Stromversorgung nicht garantiert werden.

Um dieses Problem zu lösen werden Energiespeicher eingesetzt. Deren Aufgabe es ist, die Energie, die bei erhöhten Leistungen überschüssig ist, aufzunehmen und sie bei Flaute wieder zuverlässig ins Netz zu speisen. Es ist wichtig, dass diese Speicher über sehr geringe Selbstentladungen und eine hohe Lebensdauer verfügen.

## 2. Projektbeschreibung und Ziele

Dieses Projekt befasst sich mit der Stromversorgung aus ausschließlich regenerativen Energiequellen sowie der Wärmeversorgung kombiniert mit den geeigneten Speicheranlagen. Ziel des Projekts ist es, Nürnberg allein durch die regenerativen Energien zu versorgen. Im Rahmen des Projekts werden verschiedene Themen, wie Windanalyse, E-Mobilität, Solarthermie und Speichertechnologien betrachtet. Dabei werden Messwerte ausgewertet und interpretiert.

In diesem Einzelprojekt soll die optimale Verteilung der einzelnen Energiequellen gefunden werden, die nötig ist um Nürnberg zu 100% regenerativ und autark versorgen zu können. Das Ziel dabei ist, am Ende sagen zu können, zu wie vielen Teilen der Strombedarf der Stadt aus Windenergie, Solarenergie und anderen Quellen, wie Wasserkraft, Biomasse und Geothermie, gedeckt werden soll.

Es werden Daten der NASA, aus der MERRA-2 Datenbank, der N-Ergie und der Main-Donau-Netzgesellschaft aus dem Jahr 2016 analysiert, um eine mögliche Systemkombination zu berechnen.

Dabei werden die folgenden Forschungsfragen untersucht:

- Welche Kriterien kennzeichnen einen „optimalen Mix“ aus verschiedenen Arten von regenerativen Energiequellen?

Zur Beantwortung dieser Frage werden quantifizierbare oder eine Reihe quantifizierbarer Merkmale festgelegt, die es rechtfertigen, einen Umwandlungsmix aus unterschiedlichen Arten von regenerativen Energien, als optimal zu bezeichnen.

- Welchen Anteil am regenerativen Umwandlungsvermögen in Bezug auf den Verbrauch sollten
  - Wind
  - Sonne
  - Die anderen regenerativen Energiearten

einnehmen, wenn das Optimierungskriterium erreicht ist?

Hierzu werden lokale Wetterdaten, vor allem für die Windgeschwindigkeiten und Solarstrahlung, herangezogen und graphisch ausgewertet. Zudem werden die Daten der vorhandenen Laufwasseranteile und die der Biomasseanlagen beschafft und in die Simulation mit einbezogen.

- Welche Speichersysteme kommen für ein regeneratives Versorgungssystem in Frage und welche Systemparameter fließen als Kriterien zur Bestimmung einer „optimalen“ Verteilung in die Lösungsfindung ein?

Die Kriterien für die Speichersysteme ergeben sich aus den Berechnungen des optimalen Mix in Kombination mit dem Stromverbrauch der Region Nürnberg.

- Welche Kosten würden die ermittelten kombinierten Systeme mit „optimalem Mix“ aufweisen?

Es werden die Kapitalkosten, die Betriebskosten und auch die Stromgestehungskosten für die Berechnung der Kosten berücksichtigt.

Das Hauptziel dieses Projekts ist es, die perfekte Verteilung der Energiequellen in Bezug auf die ausgearbeiteten Kriterien zu finden. Durch diese Erforschung des lokalen Energiemix im Versorgungsgebiet Nürnberg können die Dimensionen und Kosten des benötigten Speichers berechnet werden.

Das allgemeine Ziel des übergeordneten Projekts, ist die Förderung der regionalen, dezentralen Energiewende. Es soll aufgezeigt werden, ob diese sowohl technisch, als auch finanziell im Rahmen des Möglichen liegt, um Nürnberg autark mit regenerativen Energien versorgen zu können. Die Stadt Nürnberg könnte so mithilfe der Ergebnisse als Vorreiter des kompletten Umstiegs auf eine autarke, unabhängige und emissionsfreie Stromversorgung agieren.

## 3. Vorgehensweise und Ergebnisse

Die nachfolgenden Absätze beschreiben die einzelnen Schritte der Projektarbeit. Außerdem werden Zwischenergebnisse präsentiert, um die Vorgänge besser nachvollziehen zu können.

### 3.1 Verwendete Tools

Die Datenerhebung des Energiewetters für die Stadt Nürnberg und die umliegende Region erfolgt über die MERRA-2 Datenbank der NASA. Dieses Reanalyse Datenbanksystem zur Atmosphäre bietet Zugriff auf Zeitreihen über Luftdrücke, Temperaturen, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Strahlung weltweit ab dem Jahr 1980.

Ein Excel-Tool „MERRA-2“ zur Aufbereitung dieser Wetterdaten wurde vom Betreuer dieses Projekts Prof. Dr.-Ing. Matthias Popp zur Verfügung gestellt. Es mussten zunächst einige vorbereitende Schritte durchgeführt werden, um das Funktionieren dieses Tools zu gewährleisten.

- Import des globalen MERRA-Gitters: Dieses Gitter teilt die Erdoberfläche in tausende Rastergebiete auf. Es enthält Informationen zur Höhenlage, Topologie und Beschaffenheit der Oberfläche. Der Download des Gitters ist in der Excel Vorlage bereits durchgeführt worden.
- Einbindung des Gitters und dessen Daten in Google Earth: Es werden alle Rastergebiete mit ihren Mittelpunkten und Grenzen dargestellt. Dadurch lassen sich die verschiedenen Gebiete überblicken und die Koordinaten des zu untersuchenden Gebiets auswählen.
- Festlegung eines Rasters: Für die Stadt Nürnberg wird das Gebiet mit den Koordinaten 49,5° Nord und 11,25° Ost gewählt. Das Versorgungsgebiet befindet sich in der Mitte dieses Rasters, wie auf Abbildung 1 zu erkennen ist. Der Mittelpunkt des Gebiets liegt westlich von Lauf an der Pegnitz. Es werden jedoch für die Untersuchung weitere Rastergebiete in einem 3x3 Feld rund um das Feld indem sich Nürnberg befindet, untersucht. Zusätzlich wird als Analysezeitraum das Jahr 2016 festgelegt.

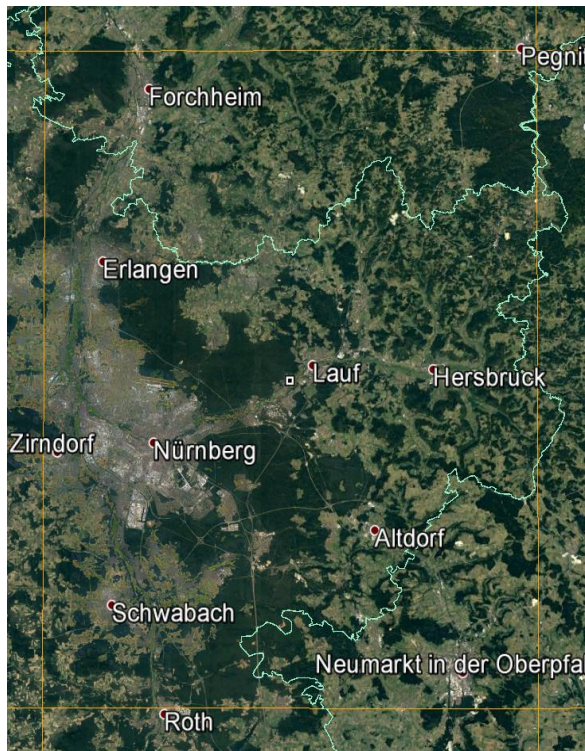


Abbildung 1: Untersuchtes Rastergebiet

- Import von Zeitreihen: Anschließend werden in mehreren Einzelschritten stündliche Durchschnittswindgeschwindigkeiten und Globalstrahlungswerte des Rastergebiets in die Excel-Datei importiert.
- Aufbereitung der Windgeschwindigkeitsdaten als Grundlage weiterer energietechnischer Analysen: Da nur die Bodenwindgeschwindigkeit und zwei weitere Reihen in Höhenschichten der Drücke 500 und 850 Hektopascal vorliegen, müssen die Werte umgerechnet werden. Durch Interpolieren der Daten werden die stündlichen Geschwindigkeiten für definierte Höhenschichten über dem Boden geliefert.

Des Weiteren wurde auf den Energieatlas Bayern zurückgegriffen. Diese Internetplattform stellt Interessenten Informationen und Werkzeuge zur Umsetzung der Energiewende zur Verfügung. Anhand deren Internettool „Mischpult“ können verschiedene Strommix-Szenarien aus erneuerbaren Energien für das ausgewählte Gebiet in Bayern erprobt und entwickelt werden.  
 [<https://www.energieatlas.bayern.de/kommunen/mischpult.html> 02.12.2017]

[<https://www.energieatlas.bayern.de/energieatlas.html> 02.12.2017]



### 3.2 Exportieren der Energiewetterdaten

Um die Systemkombination der verschiedenen Energieformen zu untersuchen, wird von Professor Popp ein weiteres Excel-Tool namens „Versorgungsanalyse“ zur Verfügung gestellt. Dieses verarbeitet die Energiedaten aus dem ersten Tool und bereitet sie auf, um die gesuchten Ergebnisse zu erhalten.

Anfangs werden diese Energiedaten aus dem ersten Tool „MERRA-2“ in das „Versorgungsanalyse“ Tool exportiert. Dazu werden im „MERRA-2“ die Mittelpunktkoordinaten des Rastergebiets und die zu untersuchende Windhöhenschicht eingetragen. Eine durchschnittliche Nabenhöhe von 100 Meter bei modernen Onshore-Windkraftanlagen wurde für die Wahl der Höhenschicht festgelegt.

Es werden zusätzlich die berechneten Daten der Temperatur, des Luftdrucks, der Luftdichte, der totalen Windleistung, der physikalisch maximal umwandelbaren Windleistung nach Betz und der Windenergieanlagenleistung zu der Windenergieanlagenkennlinie und der charakteristischen Parameter des Rastergebiets übertragen. Auch die auf die Solaranlagenfläche auftreffende Globalstrahlungsleistung und die daraus berechnete Solarenergieanlagenleistung werden übertragen. Diese Daten werden jeweils in der Registerkarte WEA für die Winddaten und SEA für die Solardaten überführt.

In der Registerkarte „Ort“ werden Daten zur Beschreibung des untersuchten Rastergebiets angegeben. Zum Beispiel für die mittlere Höhe, die Erdbeschleunigung oder die Gaskonstante. Zur besseren Beschreibung des Ortes wird hier eine Karte des Rastergebiets, siehe Abbildung 1, eingefügt.

### 3.3 Kriterien für den optimalen Mix

Für das Beantworten dieser Frage wird ein quantifizierbares beziehungsweise eine Reihe quantifizierbare Merkmale festgelegt, die es rechtfertigen, einen Umwandlungsmix aus unterschiedlichen Arten von regenerativen Energien, als optimal zu bezeichnen.

Um eine Optimierung für ein regeneratives Versorgungssystem zu gewährleisten, werden Akzeptanzerwägungen, gesamtwirtschaftliche Erwägungen und betriebswirtschaftliche Erwägungen berücksichtigt.

Als Akzeptanzerwägungen, also gesellschaftliche Interessen, gelten zum einen die Anzahl von Windenergieanlagen, von Stromleitungen und Strommasten und zum anderen der Landverbrauch für Speichersysteme, der Landflächenverbrauch für Biomassenbau zur energetischen Nutzung sowie der Freiflächeneinsatz für Photovoltaikanlagen. Es wird natürlich versucht die geringstmögliche Fläche für die Anlagen einzusetzen.

Für die gesamtwirtschaftlichen, makroökonomischen oder volkswirtschaftlichen, Abwägungen kommen die Herstellungskosten, die Betriebskosten und die Stromgestehungskosten in Frage für Kriterien des optimalen Mix.

Bei den betriebswirtschaftlichen, mikroökonomischen, Überlegungen kommen ebenfalls die Herstellungskosten und die Betriebskosten in Frage. Jedoch spielt die maximale Erlösmöglichkeit bei minimalem Risiko aus Energietechnikinvestitionen eine größere Rolle für die Firma oder Stromanbieter. [05 - Versorgungsanalyse zu einer Teilregion, Popp, 03.12.2017]

Da es unmöglich ist ein optimales Ergebnis in allen Bereichen zu erzielen, beschränkt sich diese Arbeit auf ein volkswirtschaftliches Kriterium. In diesem Fall wären es „die geringstmöglichen Stromgestehungskosten“, die für die Bevölkerung der Stadt Nürnberg am ausschlaggebendsten sind. Die Stromgestehungskosten beschreiben die Kosten, die benötigt werden, um eine andere Energieform, zum Beispiel Windenergie, in elektrischen Strom umzuwandeln. Diese Kosten ergeben sich aus den Kapitalkosten, den fixen und variablen Betriebskosten, den Brennstoffkosten sowie der Kapitalverzinsung. Angegeben werden diese in Euro pro Megawattstunde. Die Stromgestehungskosten für regenerative Energieanlagen sinken zurzeit sehr schnell. Die Kosten der Stromerzeugung aus Photovoltaik sind innerhalb von 7 Jahren um knapp 75% gesunken. Zu berücksichtigen sind zudem die Energiespeicher. Bei einem jährlichen Energieumsatz von 40 bis 60% aus erneuerbaren Energiequellen werden Speicher notwendig. Diese notwendigen Energiespeicher machen bei einer Vollversorgung mit 100% erneuerbaren Energien einen Anteil von 20 bis 30% an den Stromgestehungskosten aus. [<https://de.wikipedia.org/wiki/Stromgestehungskosten>, 03.12.2017]

### 3.4 Windanteil

Im Register „WEA“ des Versorgungsanalyse-Tools sind die Daten von verschiedenen Windenergieanlagen hinterlegt. Bei jeder einzelnen Anlage wird die Funktion des Leistungsbeiwerts  $c_p$  über die Windgeschwindigkeit angezeigt. Es werden jedoch nur die Daten einer Anlage für die weitere Berechnung der Windleistung berücksichtigt. In diesem Fall sind es die Daten der 3 MW-Anlage ENERCON E-115. In Abbildung 2 werden der Leistungsbeiwert über die Windgeschwindigkeit sowie weitere Kennwerte der Windkraftanlage aufgezeigt.

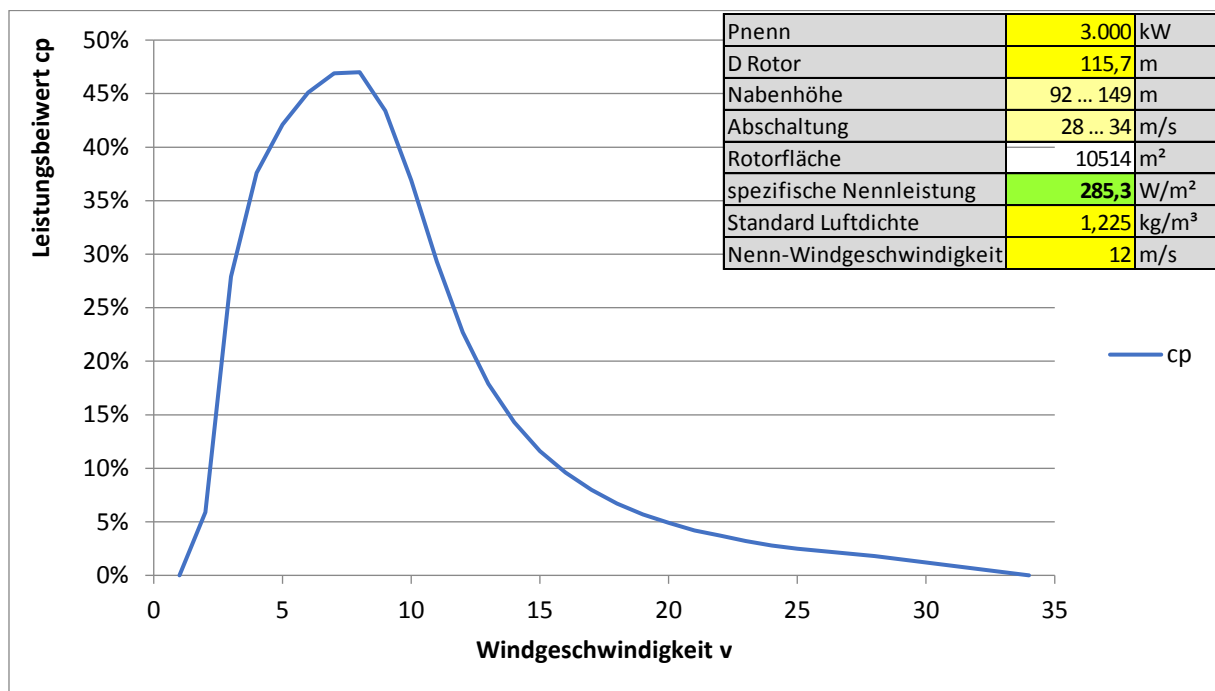


Abbildung 2: ENERCON E-115, 3.000 kW

Diese Anlage wurde mithilfe der Registerkarte „Wind“ gefunden. In dieser Registerkarte wird in Elektrizität umgewandelte Windleistung „PWEA“ [W/m<sup>2</sup>], die spezifische Leistung der Windkraftanlage und die physikalisch maximal abgreifbare spezifische Windleistung nach Betz für jeden Zeitschritt von 15 Minuten aufgelistet. Anschließend werden die Minima, Mittelwerte, Maxima und Summen der Zeitreihe ausgewertet. (siehe Tabelle 1)

UTC Mitte	vW(100m)	T(100m)	p(100m)	Rho(100m)	Ptot(100m)	PBetz(100m)	PWEA(100m)	WzuM
Minimum	0,01	262,92	92.415,80	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00%
Mittelwert	6,47	282,22	95.489,93	1,18	285,64	169,27	92,05	100,00%
Maximum	18,81	302,77	97.727,48	1,28	3.936,17	2.332,54	285,34	309,97%
Summe					2.509.041,78	1.486.839,58	808.609,17	

Tabelle 1: Windleistung bei 100 Meter

Tabelle 1 zeigt eine durchschnittliche Windgeschwindigkeit von 6,47 m/s. Mit diesem Wert kann anhand der Leistungsdiagramme der einzelnen Windkraftanlagen, die effektivste gefunden werden. In diesem Fall ist es die oben genannte 3 MW-Anlage ENERCON E-115.

Im Reiter „Windleistung“ wird ein animierbares Diagramm angezeigt, das die berechnete spezifische Windleistung über das gesamte Jahr 2016 abspielt. Es zeigt die von der Windkraftanlage umsetzbare Leistung und die spezifische Leistung nach Betz an. Außerdem werden für die beiden Leistungen die Durchschnittswerte, bezogen auf einerseits das ganze Jahr und andererseits auf das angezeigte Zeitfenster, ins Diagramm übertragen. Abbildung 3 und 4 zeigen Ausschnitte des Diagramms für jeweils zwei typische Verhaltensmuster im Winter und Sommer.

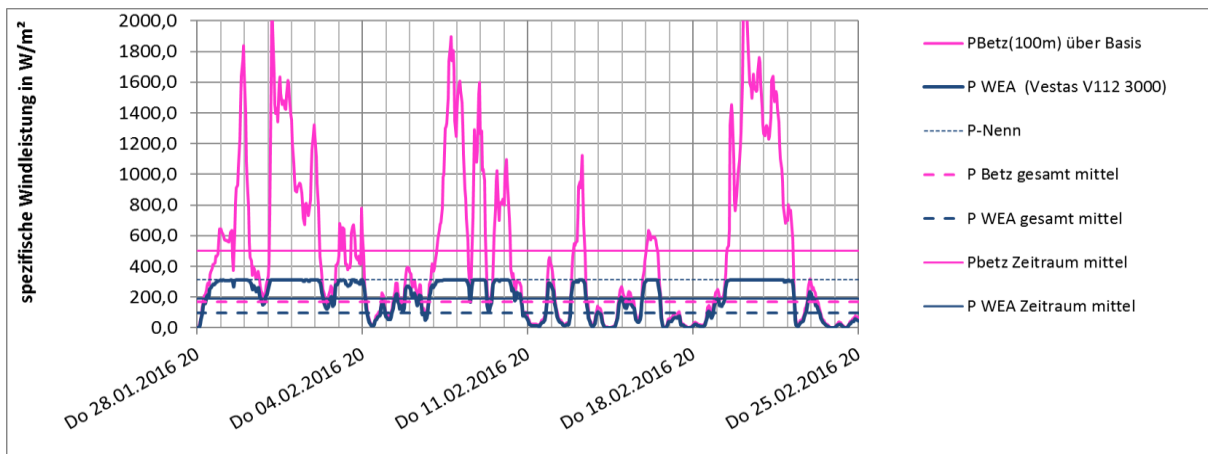


Abbildung 3: Windleistung im Februar

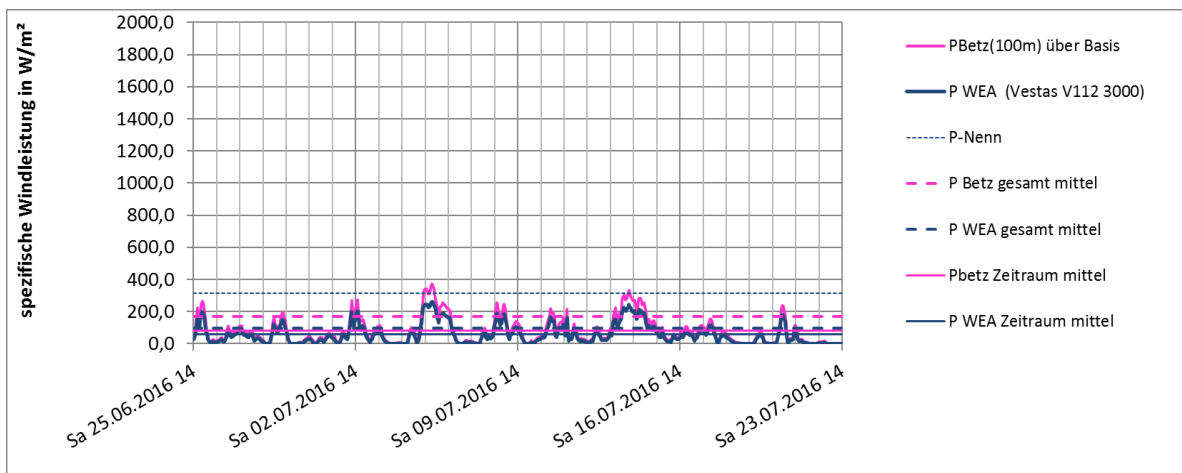


Abbildung 4: Windleistung im Juli

### 3.5 Solarleistung

Um die Solarleistung zu ermitteln werden die Daten der Solarenergieanlage in das Register „SEA“ eingepflegt. Zuerst werden die Ortsangaben des zu untersuchenden Gebiets angegeben. Außerdem wird die Ausrichtung der Kollektoroberfläche in das Tool eingegeben, um daraus die auftreffende Einstrahlung zu berechnen. Hier wird als optimale Bedingung 180° für die Richtung nach Süden und 35° Neigung vorausgesetzt. Ebenso wird ein Wirkungsgrad von 15% und die maximale flächenspezifische Leistungsabgabe von 125 W/m<sup>2</sup> eingetragen. (siehe Tabelle 2)

Zudem werden die solarspezifischen Wetterdaten in diesem Register importiert.

Ortslage		Ausrichtung der Kollektorfläche				Solarenergieanlage			
Breite	49,50°	Richtung	$\alpha_E$	180°	S	Wirkungsgrad	EtaS	15	%
Länge	11,250°	Neigung	$\gamma_E$	35°	(55°)	maximale Leistung	Pmax	125	W/m <sup>2</sup>

Tabelle 2: Angaben für Solaranlagen

Anschließend, nachdem man die Schaltfläche „Solarleistung neu ermitteln“ betätigt hat, werden im Register „Sonne“ die auf die Erde treffende spezifische Strahlungsleistung und die in Elektrizität umgewandelte spezifische Solarleistung für jeden Zeitschritt ausgeleitet. Am Ende der Zeitreihe werden, wie bei der Windleistung die Minima, Maxima, Mittelwerte und Summen aller Zeitreihen ausgegeben. (siehe Tabelle 3)

	Spezifische Strahlungsleistung [W/m <sup>2</sup> ]	Spezifische Leistung der Anlage [W/m <sup>2</sup> ]	Leistung durch Mittelwert
Minimum	0,00	0,00	0,00
Mittelwert	139,00	20,81	100,00%
Maximum	917,78	125,00	600,81%
Summe	1220982,01	182754,71	

Tabelle 3: Leistungen Solaranlagen

Im Register „Solarleistung“ wird analog zur „Windleistung“ ein animierbares Diagramm angezeigt, welches die aktuelle elektrische Leistung, die mittlere Leistung über angezeigten Zeitabschnitt und die gesamte mittlere Leistung über das Jahr 2016 ausgibt.

Abbildung 5 und 6 zeigen noch einmal die anfallenden Leistungen in zwei typischen Fällen. Einmal im Januar und einmal im Juni 2016. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Solarleistung im Sommer um ein Vielfaches größer ausfällt als im Winter.

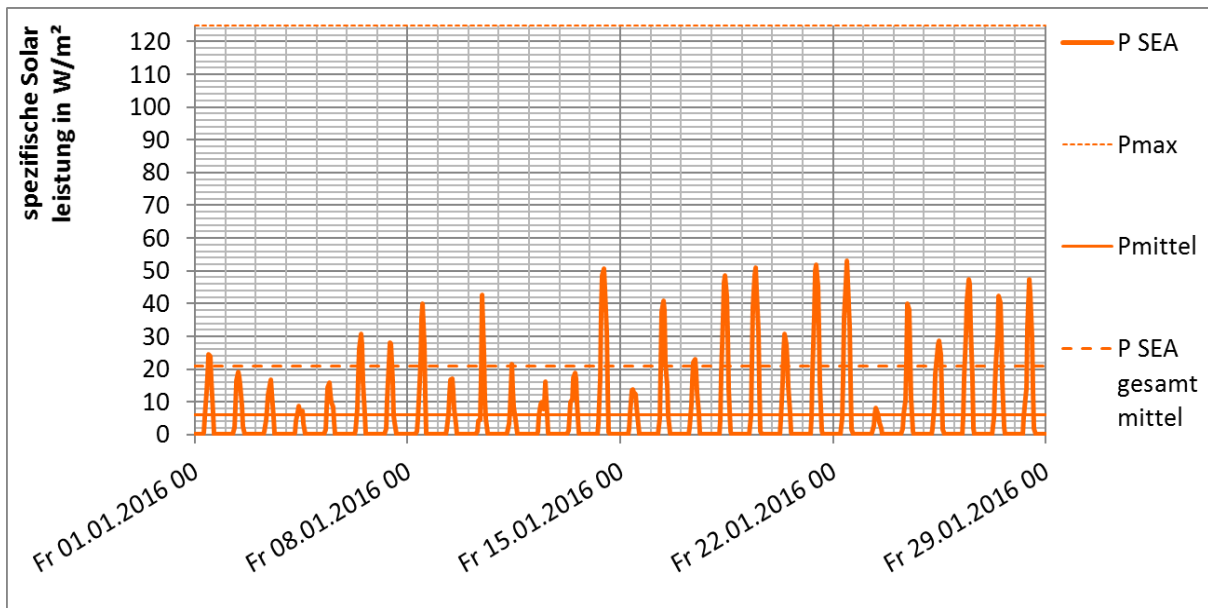


Abbildung 5: Solarleistung im Januar

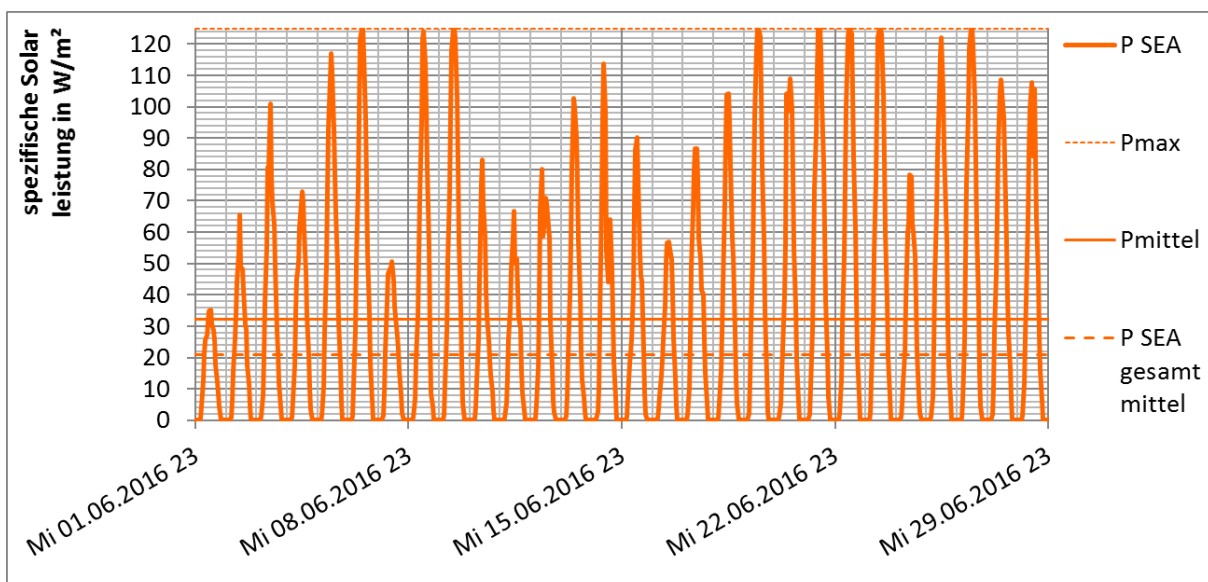


Abbildung 6: Solarleistung im Juni

### 3.6 Laufwasser- und Biomasseleistung

Um die Laufwasserleistung zu bestimmen werden im Register „LWA“ des Excel-Tools die Abflussdaten der umliegenden Flüsse, bei denen Laufwasserkraftwerke installiert sind, importiert. Das sind in der Stadt Nürnberg hauptsächlich die Pegnitz und Regnitz. Da, laut des Energieatlas Bayern, auf der Regnitz mehr Kraftwerke installiert sind wird das Verhältnis der Abflussdaten der beiden Flüsse mit 60% Rednitz und 40% Pegnitz gewählt. Da die Wasserkraft in der Auslegung des optimalen Systems eine untergeordnete Rolle spielt, ist eine hundertprozentige Genauigkeit weiterer Angaben nicht ausschlaggebend. Deshalb werden für die abflussrelevanten Daten, wie Einschalt-Durchfluss oder Ausbau-Abfluss, die im Tool vorgegeben Werte gewählt.

Anschließend werden im Register „Laufwasser“ der energetisch nutzbare Abfluss, eine Tagesmittelwert-Zeitreihe sowie die auf den Mittelwert bezogene Laufwasserleistung in Prozent berechnet. Am Ende der Zeitreihen werden, wie bei der Windleistung und Solarleistung die Minima, Maxima, Mittelwerte und Summen aller Zeitreihen ausgegeben. (siehe Tabelle 4)

UTC Mitte	LWL Tag	LWL Std	LzuM
Minimum	0,608	0,605	60,6%
Mittelwert	0,999	0,999	100,0%
Maximum	1,78	1,78	178,2%

*Tabelle 4: Laufwasserleistung*

Im Reiter „Wasserleistung“ wird analog zur Wind- und Solarleistung ein animierbares Diagramm, zur spezifischen Laufwasserleistung im Jahre 2016, ausgeleitet. Abbildung 7 und 8 zeigen die spezifischen Laufwasserleistungen sowie die mittlere Laufwasserleistung über den Monat Januar und Juli. Hier sind ebenfalls Schwankungen zu erkennen. Diese sind jedoch geringer als die der Wind- und Sonnenenergie. Da die Niederschläge im Winter meist höher sind als im Sommer, führen die Flüsse in dieser Phase des Jahres auch mehr Wasser. Auch hier werden der Mittelwert sowie der Maximalwert über den gesamten Zeitraum mit abgebildet.

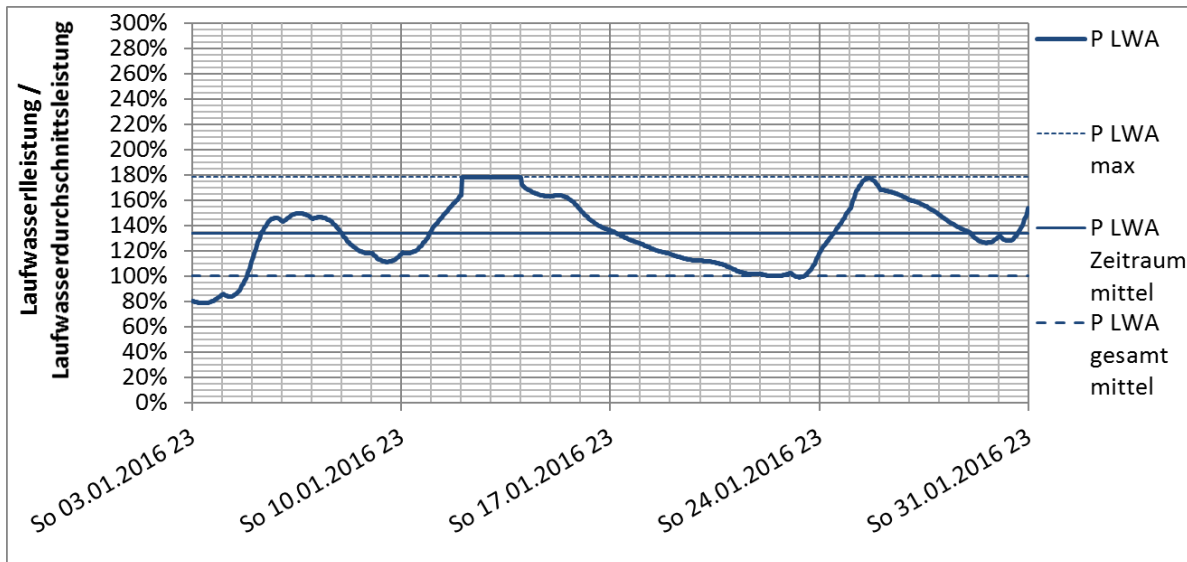


Abbildung 7: Laufwasserleistung im Januar

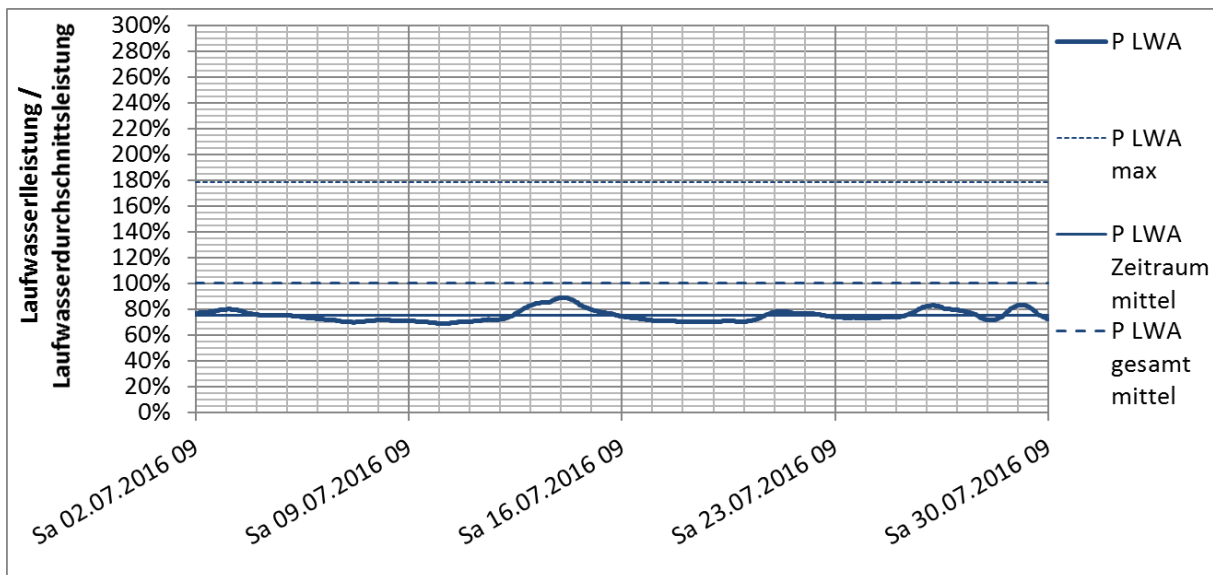


Abbildung 8: Laufwasserleistung im Juli

Neben der Bestimmung der Laufwasserleistung stehen die selben Register auch zur Bestimmung der Biomasseenergie zur Verfügung. Da diese, wie bei der Wasserkraft eine untergeordnete Rolle spielt, werden für die Zeitreihe der eingespeisten Energie die vom Tool bereitgestellten Werte verwendet. Abbildung 9 und 10 zeigen den Verlauf der Biomasseleistung im Januar und Juli. Es werden zur besseren Veranschaulichung der Schwankungen, der Mittelwert des angezeigten Zeitabschnitts sowie der Mittelwert und Maximalwert des gesamten Jahres 2016 angezeigt.



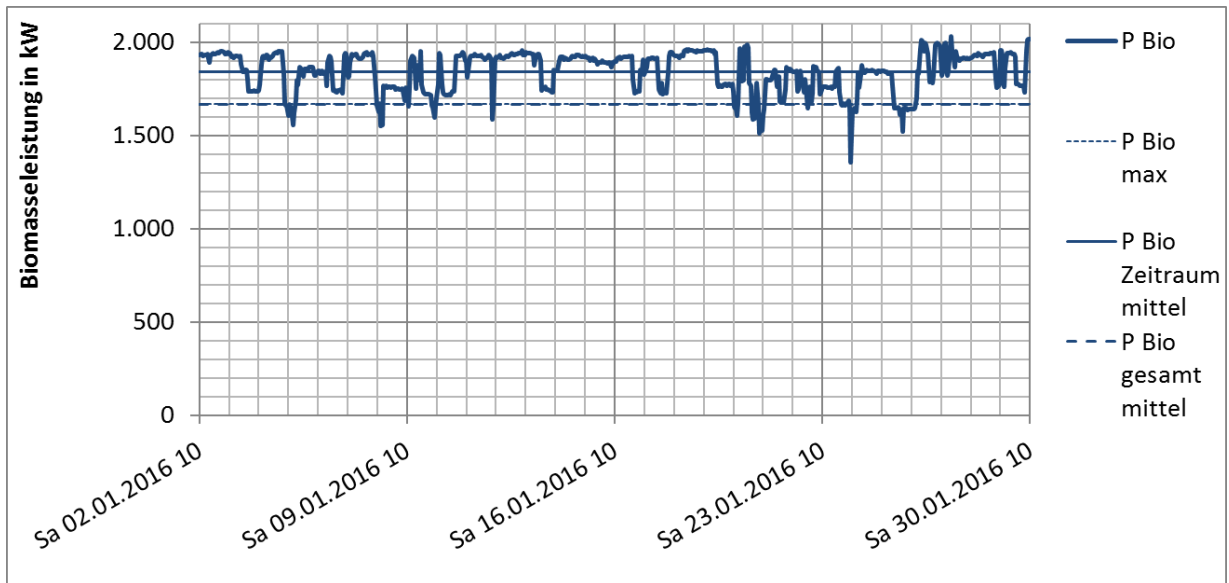


Abbildung 9: Biomasseleistung im Januar

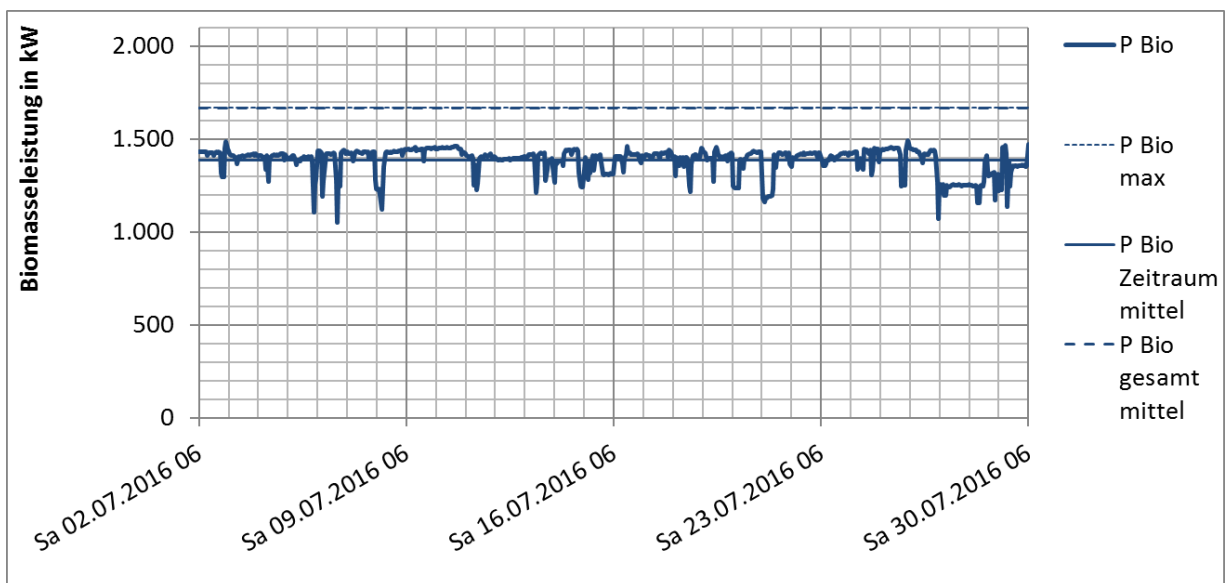


Abbildung 10: Biomasseleistung im Juli

### 3.7 Verbrauchslast

In den nächsten Registern wird die Verbrauchslast im Jahr 2016 ermittelt. Die Daten dafür werden von der Main-Donau-Netzgesellschaft zur Verfügung gestellt. Im Reiter „Verbrauch ÜN DE“ wird die berechnete Zeitreihe erstellt. Die in 15 Minuten Zeitschritten dargestellte Zeitreihe muss in eine stündliche Zeitreihe überführt werden. Der nächste Schritt bei der Erstellung der Zeitreihe ist die Umrechnung auf die Weltzeit UTC, welche sich auf den Nullmeridian bezieht. Dafür müssen Zeitreihen in der mitteleuropäischen Zeitzone in der Winterzeit um eine Stunde und in der Sommerzeit um zwei Stunden nach hinten gestellt werden. Im Register Lastverlauf wird der Verbrauch über dem Jahr 2016 wieder graphisch animiert dargestellt. Tabelle 5 listet den Mittelwert, das Minimum und das Maximum des Verbrauchs sowie eine Summe aller Werte auf.

UTC Mitte	Last [kW]	Leistung zum Mittelwert
Minimum	31455,00	57,43%
Mittelwert	54767,81	100,00%
Maximum	75377,25	137,63%
Summe	481.080.417,00	

*Tabelle 5: Verbrauch*

Abbildung 11 und 12 zeigen den Verbrauchsverlauf im Januar und Juli des Jahres 2016. Es sind deutliche Schwankungen im Verlauf zu sehen, die aufgrund der Lastflauten in Nächten, an Wochenenden oder an Feiertagen entstehen. Allgemein lässt sich eine saisonale Veränderung des Verbrauchs feststellen. Anhand des Mittelwerts über den ganzen Zeitraum ist erkennbar, dass dieser in den kalten Wintermonaten höher als in den Sommermonaten ist. Zusätzlich ist auch der Mittelwert über den ganzen Zeitraum und der Maximalwert im Diagramm, zur Veranschaulichung, eingetragen. Außerdem ist die Tageszeit zu erkennen, da nachts weniger Energie verbraucht wird als tagsüber, haben wir dort einen Abfall des Verbrauchs.

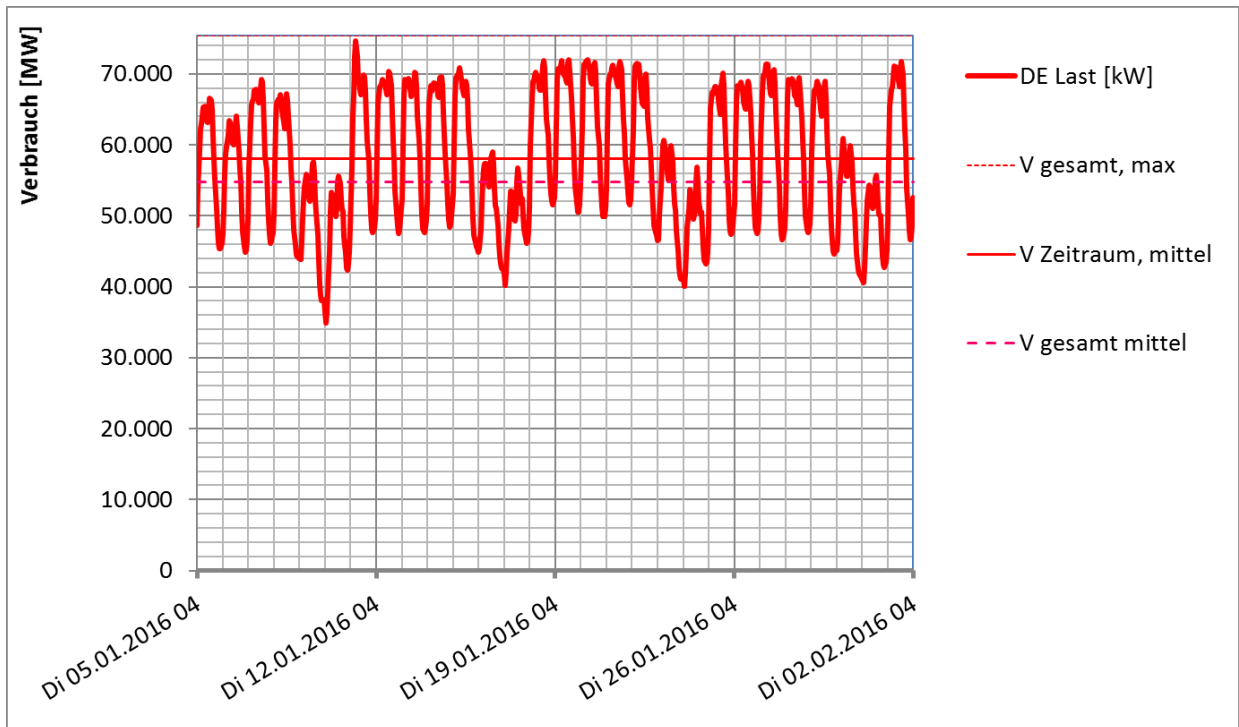


Abbildung 11: Lastverlauf im Januar

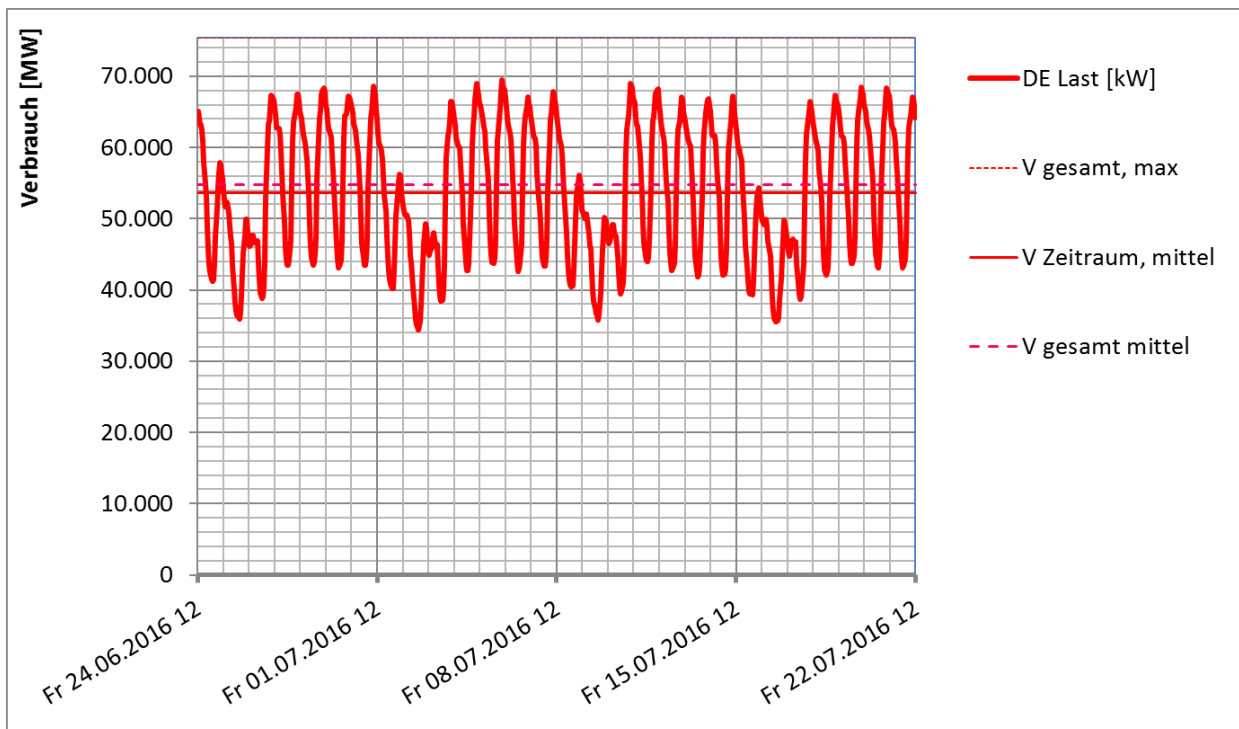


Abbildung 12: Lastverlauf im Juli

### 3.8 Erzeugungsmix

Im Register „Erzeugungsmix“ werden alle Energieerzeugungsformen zusammengetragen und mit dem Verbrauch verglichen. Dadurch können einzelne Versorgungssituationen anschaulich simuliert werden. Da die Leistungen der Energieformen Wasser und Biomasse weitestgehend kontinuierlich sind, werden diese als Konstanten angenommen. Es muss das Erzeugungsvermögen jeder Energieform angegeben werden. Die Energiequellen Wind und Sonne sind jedoch ausbaubar und werden in Folge dieses Projekts variiert. Die Angaben in Prozent beziehen sich dabei auf den Durchschnittsverbrauch. Die Summe aller Erzeugungsvermögen muss über 100% sein, da das Übertragen der Energie sowie das Zwischenspeichern immer mit Verlusten verbunden ist. Es werden hier folgende Erzeugungsvermögen ausgewählt, um die Situation möglichst realitätsnah darzustellen:

- Windanteil: Da diese erneuerbare Energiequelle die höchste Energiedichte aufweist, wird hierfür ein relativ hoher Wert von 70% angenommen. Ein weiterer großer Vorteil der Windenergie ist die saisonale Verteilung des Windes. Im Winter weht im Durchschnitt mehr Wind als im Sommer. Gleichzeitig ist auch der Energiebedarf im Winter höher als im Sommer.
- Solaranteil: Die Solarenergie hat ebenfalls ein sehr hohes Potential und ist daher nach dem Wind die zweit wichtigste Energieform im Versorgungsmix. Nachteile sind die enormen Leistungspeaks im Sommer, welche nur mit hohem technischen Aufwand genutzt werden können und die Flauten im Winter sowie in der Nacht. Es wird ein Erzeugungsvermögen von 40% angesetzt.
- Laufwasseranteil: Das Potential der Laufwasserenergie ist in Nürnberg weitestgehend ausgeschöpft. Daher werden hier nur bereits vorhandene Anlagen berücksichtigt. Die installierte Laufwassernennleistung in Nürnberg beträgt ca. 38 GW. Damit ergibt dies einen Anteil an der Deckung des Stromverbrauchs von rund 3%.
- Biomasseanteil: Wie die Windenergie ist die Biomasseenergie annähernd ausgeschöpft. Die bereits vorhandenen Anlagen liefern in Nürnberg eine Leistung von ca. 130 GW. Bei einem Benutzungsgrad von 50% ergibt sich daraus ein Anteil von 12% am Stromverbrauch.

Die Summe der Energieanteile ergibt ein Umwandlungsvermögen von 125%, was einer Umwandlungsreserve von 25% entspricht. Dies bedeutet, dass im Mittel 25% Strom erzeugt werden kann, als verbraucht wird. Tabelle 6 zeigt die im Excel-Tool gewählten Werte.

WA	SA	LA	BA	UV	UR
70,0%	40,0%	3,0%	12,0%	125,0%	25,0%
Windanteil	Solaranteil	Laufwasser	Grundanteil	Umwandlungsvermögen	Umwandlungsreserve

Tabelle 6: Vorläufig gewählter Energiemix

Im nächsten Reiter „Versorgungsverlauf“ wird erneut ein animiertes Diagramm über den oben ausgewählten Mix an regenerativen Energien mit dem Verbrauchsverlauf bezogen auf den Durchschnittsverbrauch ausgeleitet. Sowohl die einzelnen Energieformen als auch das gesamte Umwandlungsvermögen und der Verbrauch erhalten jeweils eine Kurve im Diagramm. In Abbildung 13 und 14 wird dieses System für Winter und Sommer 2016 veranschaulicht. Es ist zu erkennen, dass im Sommer insgesamt ein größeres Umwandlungsvermögen vorherrscht. Dies ist auf die große Solarleistung im Sommer zurückzuführen. Insgesamt sind wir mit dem durchschnittlichen Umwandlungsvermögen über dem Durchschnittsverbrauch der Stadt Nürnberg.

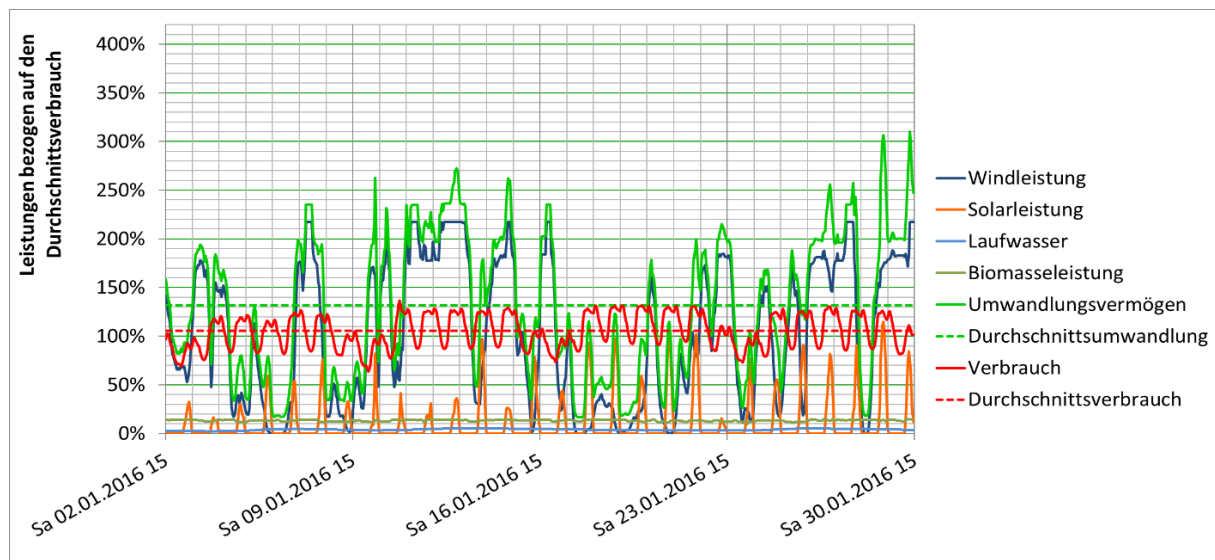


Abbildung 13: Versorgungsverlauf im Januar

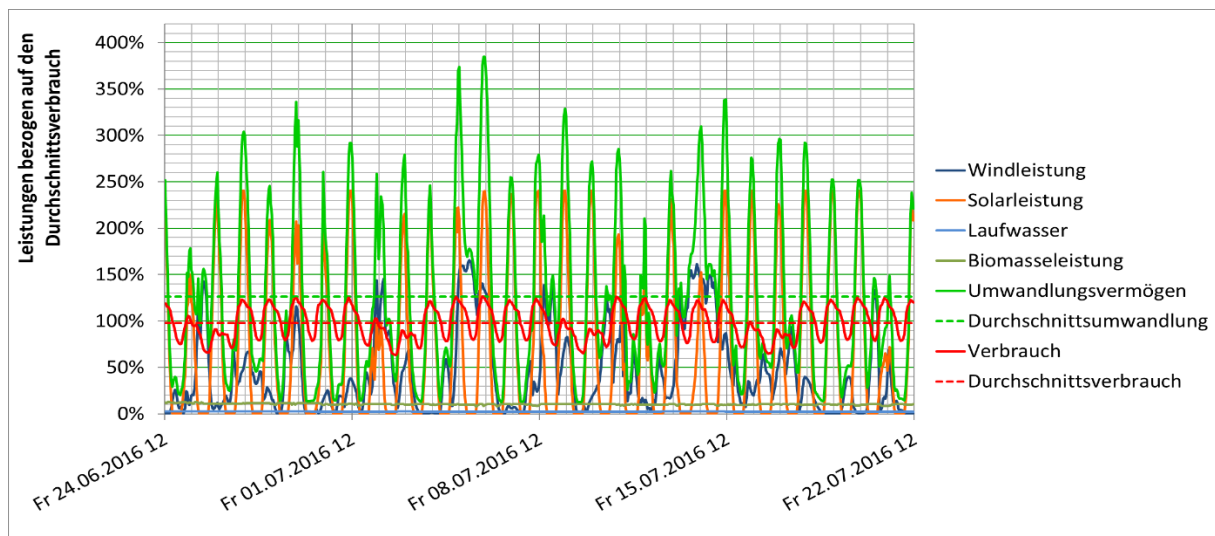


Abbildung 14: Versorgungsverlauf im Juli

### 3.9 Erzeugungsdauerlinien

Im Register „Erzeugungsdauerlinien“ wird ein Diagramm mit zwölf verschiedenen Graphen gezeigt. Diese setzen sich aus verschiedenen prozentualen Verteilungen von Wind- und Sonnenanteil zusammen. In Abbildung 15 wird von einer reinen Versorgung mit Windenergie bis zu einer hundertprozentigen Versorgung mit Sonnenenergie dargestellt. Dabei wird der Übergang in 10% Schritten ausgeführt. Die Graphen zeigen die anstehenden Leistungen des ganzen Jahres und sortieren diese nach der Häufigkeit in Stunden. Um einen besseren Überblick zu bekommen bei welchem Mix der Aufwand am geringsten ist, wird die Leistung im Verhältnis über dem Durchschnittsverbrauch aufgezeigt. Damit können die vorteilhaften Verteilungen leicht überschaut und verglichen werden. Die Fläche unterhalb des Durchschnitts bis zu den Graphen entspricht der Energie die zeitlich zwischengespeichert werden muss, um eine dauerhafte Erzeugung von mindestens 100% des Verbrauchs zu gewährleisten. Hier setzt sich der optimale Mix aus 70% Wind und 30% Sonne zusammen. Dies belegt, dass die zuvor gewählten Parameter relativ günstig gewählt waren.

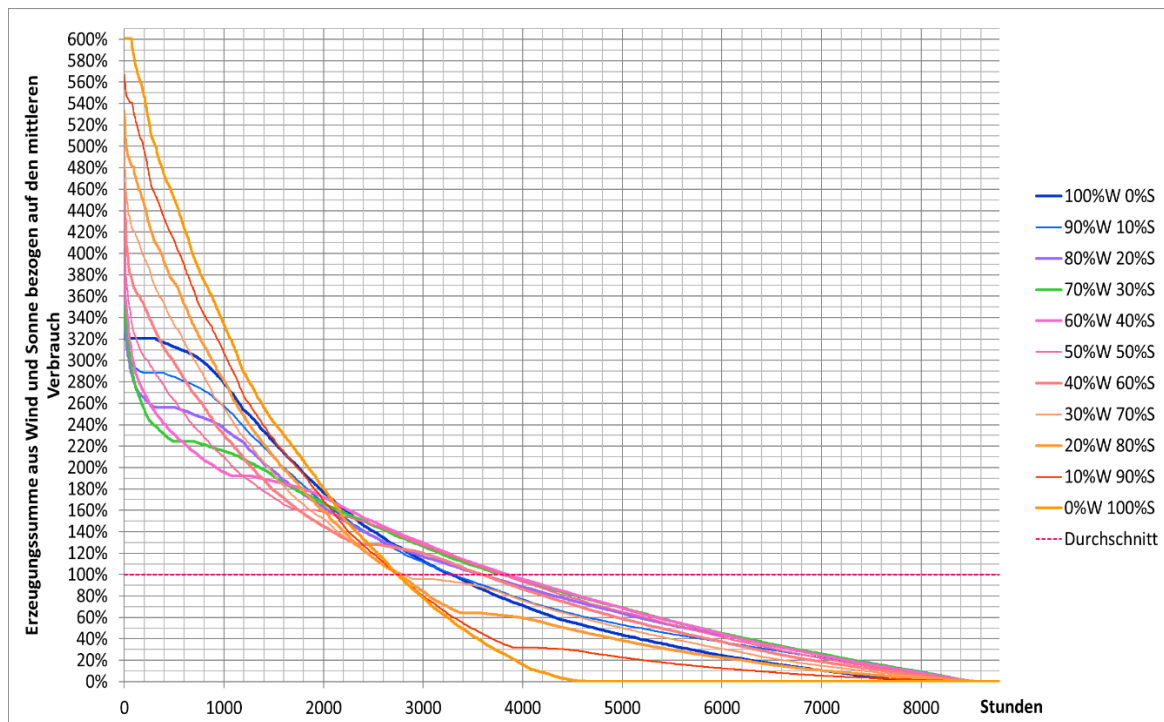


Abbildung 15: Umwandlungsdauerlinien

### 3.10 Residualleistungsdauerlinien

Zieht man von der Erzeugung den Verbrauch ab, entstehen aus den Erzeugungsdauerlinien Residualleistungsdauerlinien. Der Erzeugungsmix muss nun so optimiert werden, dass die Defizitphasen, in denen der Verbrauch höher ist als die Produktion, minimiert werden. Diese Defizite müssen von einem Energiespeicher ausgeglichen werden, um eine konstante Versorgung aufrecht zu erhalten. Die iterative Suche nach dem besten Erzeugungsmix mit dem geringsten Ausgleichsbedarf findet im Register „Residualleistungsdauerlinien“ statt. Dazu werden nicht mehr die Erzeugungsanteile aus Wind und Sonne angegeben, sondern nur ein Gesamtproduktionsvermögen, die aus Laufwasser und Biomasse vorherrschenden Anteile der Grunderzeugung, der Speicherwirkungsgrad des eingesetzten Speichers und dessen Speicherladeleistung. Die Werte der Erzeugung werden, wie schon in den vorherigen Untersuchungen, mit 125%, 3% und 12% angegeben. Es kommen zwei mögliche Speichersysteme in Frage. Geotechnische, wie beispielsweise Stülpmembranspeicher, oder Power-to-Gas Anlagen. Der Wirkungsgrad der geotechnischen Speichersysteme wird in Absprache mit Prof. Popp und dem für diese Aufgabe zuständigen Kommilitonen mit relativ konservativen 75% angesetzt und die Ladeleistung auf 150% des Durchschnittsverbrauchs begrenzt. Für die Power-to-Gas Speicherung werden ein Speicherwirkungsgrad von 35% und eine Ladeleistung von 150% angenommen. Das Programm berechnet für diese Werte den

optimalen Mix aus Wind und Sonne. Zusätzlich werden noch andere Graphen im Diagramm angezeigt: 10% mehr Wind als der optimale Mix, 10% mehr Sonne, nur Wind und nur Sonne. Außerdem wird bei den berechneten Zusammensetzungen jeweils das Aufladevermögen, der Speicherdurchsatz, die Speicherentnahme, die Versorgungsreserve, der Speicherverlust und die nicht nutzbare Überproduktion angezeigt (siehe Tabelle 7). Für die beiden Speichersysteme ergaben sich annähernd die gleichen Verhältnisse, deshalb wurde nur mit einem Beispiel weitergerechnet. Damit werden, wie in Abbildung 17 die Speicherentnahme und die Versorgungsreserve in einem Diagramm in Abhängigkeit vom Windanteil dargestellt. Abbildung 16 zeigt die berechneten Residualleistungsdauerlinien.

Residualleistung Dauerlinien	Umwandlungsvermögen	Laufwasseranteil	Biomasseanteil	Speicherwirkungsgrad	Speicherladeleistung
	125,0%	3,0%	10,0%	75,0%	150,0%
	Windanteil	Solaranteil	Aufladevermögen	Speicherdurchsatz	Speicherentnahme
nur Wind	112,000%	0,000%	47,267%	42,834%	32,1257%
Ent.min.+10%W	86,170%	25,830%	44,116%	29,124%	21,84268%
<b>Entnahmeminimum</b>	<b>76,170%</b>	<b>35,830%</b>	<b>43,855%</b>	<b>28,004%</b>	<b>21,00284%</b>
Ent.min.+10%S	66,170%	45,830%	42,805%	28,032%	21,02421%
nur Sonne	0,000%	112,000%	38,444%	63,794%	47,8456%

Versorgungsreserve	Speicherverlust	Überproduktion
4,4328%	10,71%	14,29%
14,9925%	7,28%	17,72%
<b>15,8511%</b>	<b>7,00%</b>	<b>18,00%</b>
14,7732%	7,01%	17,99%
-25,3503%	15,95%	34,40%

Tabelle 7: Werte Residualleistungsdauerlinie

Der optimale Mix mit diesen Parametern würde demnach bei einem Verhältnis aus 76,2% Wind und 35,8% Sonne bestehen. Dabei wäre die anfallende Versorgungsreserve bei 15,8%.



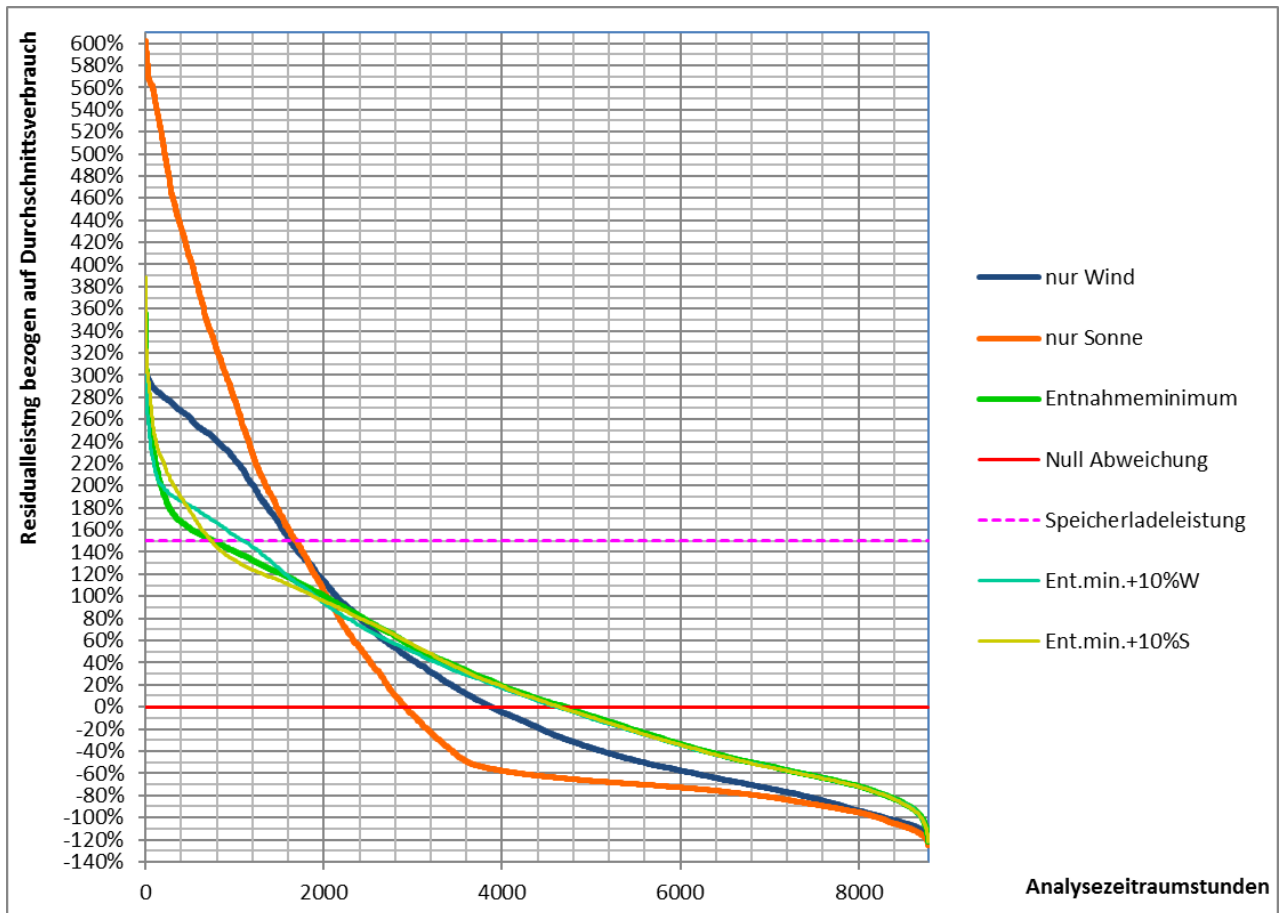


Abbildung 16: Residualleistungsdauerlinien

Die Fläche unterhalb der Null Abweichung bis zu den Graphen entspricht dabei der Energie, die vom Speicher zeitlich verschoben werden muss, um eine dauerhaft stabile Stromversorgung gewährleisten zu können. Teilt man diese Menge an Energie durch den Speicherwirkungsgrad, erhält man den Speicherdurchsatz. Dieser entspricht der Energie, mit welcher der Speicher mindestens aufgeladen werden muss. Die Energiemenge, die der Speicher aufnehmen kann, entspricht der Fläche links vom Graphen und oberhalb der Null Abweichung. Nach oben wird sie von der Speicherladeleistung begrenzt. Die Differenz aus dieser Energiemenge und dem Speicherdurchsatz entspricht der Versorgungsreserve.

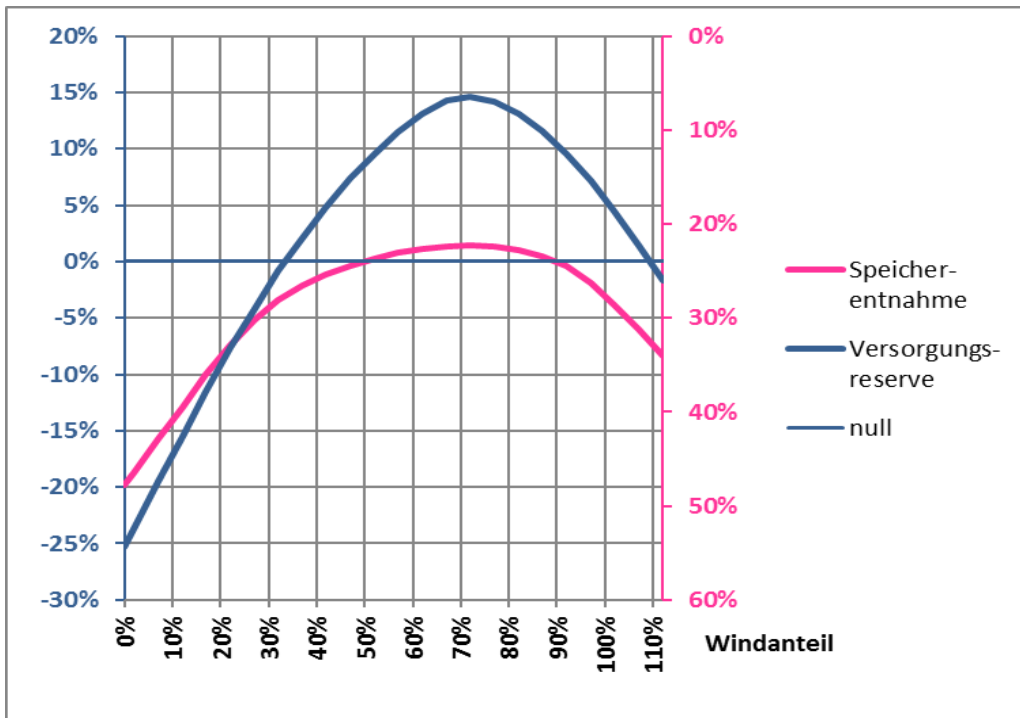


Abbildung 17: Speicherentnahme und Versorgungsreserve

Man erkennt deutlich, dass das Maximum der Versorgungsreserve und das Minimum der Speicherentnahme ungefähr eine gleiche Zusammensetzung des Energiemix aufzeigen. Die Versorgungsreserve hat ihr Maximum bei einem Windanteil von ca. 70%. Dies bedeutet, dass bei diesem Windanteil die größte Leistung eingespeichert werden kann. Die Speicherentnahme besitzt ihr Minimum ebenfalls bei einem Windanteil von ca. 70%. Dies sagt aus, dass im Falle dieses Versorgungssystems die geringste Leistung aus Speichern zeitlich verschoben werden muss.

### 3.11 Speicherverlauf

Im Register „Speicherverlauf“ wird, wie schon in den Registern davor, ein animierbares Diagramm visuell dargestellt. Hier wird zum einen die Speicherleerung in Tagesladungen vom optimalen Mix, vom kapazitätsminimierenden Mix und von 100% Wind bzw. 100% Sonne dargestellt (rechte Y-Achse). Zum anderen werden die Residualeistungen bezogen auf den Durchschnittsverbrauch der gleichen Verteilungen aufgezeigt (linke Y-Achse). Positive Leistungen haben eine Füllung des Speichers zur Folge, negative Leistungen führen zur Entladung des Speichers. Somit kann leicht erkannt werden, wann sich der Speicher über das Jahr hinweg auffüllt und entleert. In den folgenden Abbildung 18 und 19 werden die Situation des Speicherverlaufs im Winter und Sommer des Jahres 2016 aufgezeigt.

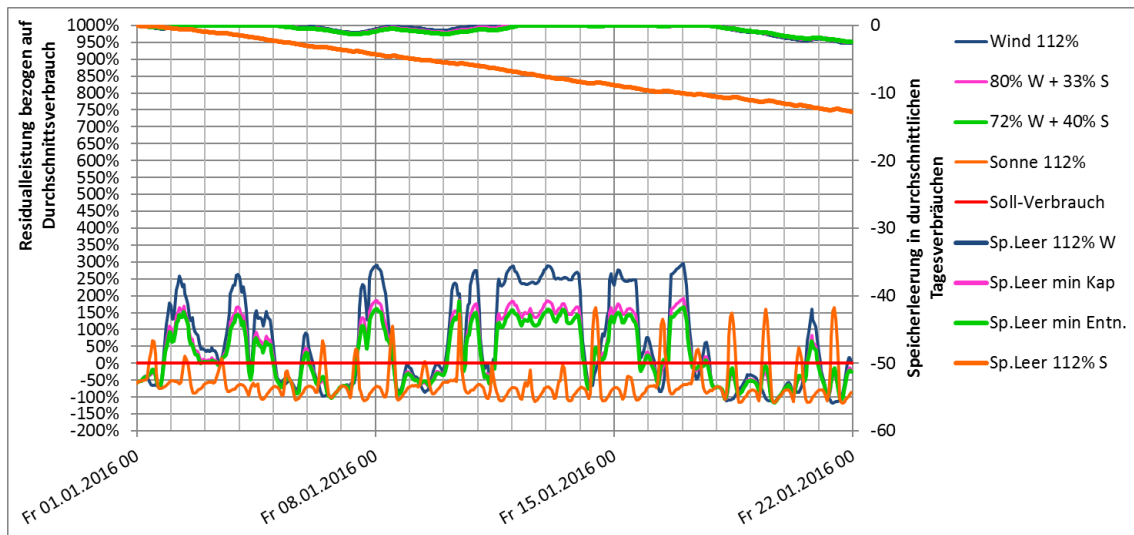


Abbildung 18: Speicherverlauf im Januar

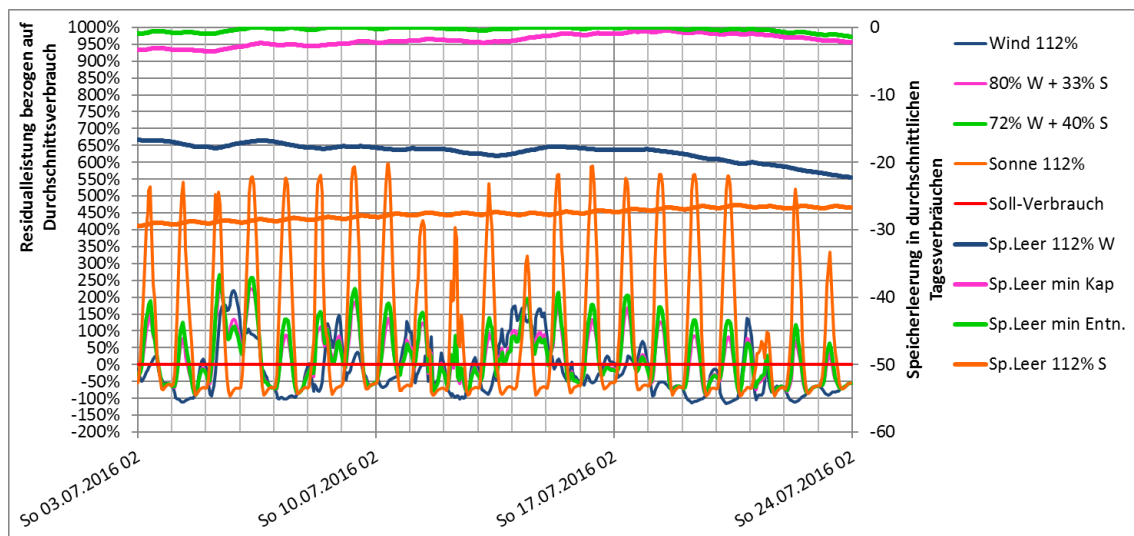


Abbildung 19: Speicherverlauf im Juli

### 3.12 Deckungsreserve-Vorgabe

Im Register „Deckungsreserve-Vorgabe“ wird, anstatt das Produktionsvermögen anzugeben, die Versorgungsreserve vorgegeben. Die üblichen Parameter wie Speicherladeleistung, Speicherwirkungsgrad, Laufwasseranteil und Biomasseanteil müssen hier ebenfalls eingetragen werden. Durch die Vorgabe der Versorgungsreserve können die verschiedenen Versorgungsstrukturen besser vergleichbar gemacht werden. Das Programm berechnet für 20 verschiedene Zusammensetzungen, in jeweils 10% Schritten, aus Wind und Sonne das benötigte Umwandlungsvermögen, die Bedarfsdeckungsreserve, das Residualeistungsdefizit, den Speicherdurchsatz, die Entnahmereserve und das Aufladevermögen, um die angegebene Versorgungsreserve einzuhalten. Abbildung 20 zeigt die Ergebnisse der Rechnungen graphisch in einem Diagramm.

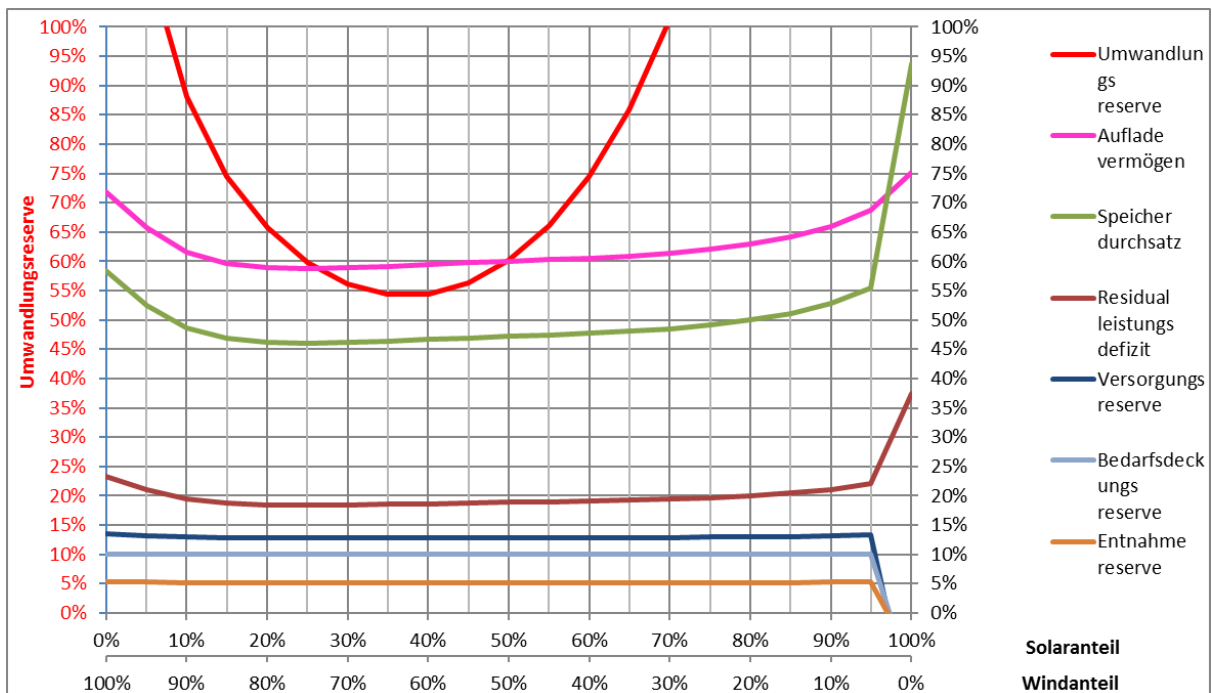


Abbildung 20: Deckungsreserve

## 4. Kostenoptimum

Im Register „BDR-Kostenminimum“ werden die Kosten mit in die Berechnung einbezogen. Es werden, wie in Tabelle 8, die Bedarfsdeckungsreserve (10%), die Kapazitätsreserve (10%), Entnahmelastreserve (10%), der Laufwasser- und Biomasseanteil (zusammen 15%) und der Speicherwirkungsgrad (75%) angegeben. Dieser Speicherwirkungsgrad wurde für einen geotechnischen Speicher, wie zum Beispiel den Ringwallaspeicher, gewählt. Somit wird nun auch die Speicherladeleistung als von der Zusammensetzung des Mix abhängige Größe berechnet. Um eine Kostenanalyse erstellen zu können, müssen noch spezifische Herstellkosten eingetragen werden. Tabelle 9 zeigt eine Übersicht aller gewählten Werte der spezifischen Herstellkosten.

Vorgabewerte	Größe	Wert
Bedarfsdeckungsreserve	BDR	10,0%
Kapazitätsreserve	KR	10,0%
Entnahmelastreserve	ER	10,0%
Laufwasseranteil	LA	3,0%
Biomasse und Sonstiges Anteil	BA	12,0%
Speicherwirkungsgrad	EtaS	75,0%

Tabelle 8: Vorgabewerte für die Berechnung des Kostenoptimums

spezifische Herstellkosten	Größe	Ansatz	Einheit
Windenergieanlagen	sWVK	1.400	€/kW
Solarenergieanlagen	sSHK	1000	€/kW
Laufwasserkraftwerke	sLHK	3000	€/kW
Biomasseleistungsanlagen	sBHK	3.000	€/kW
Speicherladeanlagen	sSLHK	200	€/kW
Speicherentnahmeanlagen	sSEHK	150	€/kW
Maximalleistungsanlagen	sSMHK	200	€/kW
Speicherkapazität	sSKHK	30	€/kWh

Tabelle 9: Angaben der Spezifischen Herstellkosten

Das Programm berechnet nun zu allen Verteilungen alle variablen Werte, um so das Kostenminimum zu erhalten. Im Register „Best-Mix“ werden die spezifischen Herstellkosten, die Kapitalkosten, die spezifischen Betriebskosten und die Stromgestehungskosten für jede Versorgungssituation berechnet. In folgenden Schritten werden Beispielrechnungen zu den einzelnen Kosten aufgezeigt. Tabelle 10 die Zusammensetzung der einzelnen Herstellkosten der Energieanlagen und des Speichersystems.

- Herstellkosten: Beispiel Windanlage
- $W_{HK} = \text{Windnennleistung} * \text{Spezifische Herstellkosten (Wind)} =$   

$$W_n * SW_{HK} = 3,12 \frac{kW}{kW} * 1400 \frac{\text{€}}{kW} = 4370 \frac{\text{€}}{kW}$$
- Die Kapitalkosten wurden anhand der Zinsen und der Abschreibedauer berechnet.
- Die Betriebskosten wurden anhand der Herstellkosten und den im Laufe des Betriebs der Anlage anfallenden Ausgaben. Wie zum Beispiel Personal-, Reparatur-, Wartungs- und Verwaltungskosten.
- Stromgestehungskosten: Am Beispiel für Wind
- $SGK_W = \frac{\text{Kapitalkosten} + \text{Betriebskosten}}{1kW * t_{B\text{ezug}}} = \frac{321,56\text{€} + 218,50\text{€}}{1kW * 8784h} = 6,15 \frac{Ct}{kWh}$

Auslegungsparameter		Bedarf	spez. HK	HK [€/kW]
Wind	WHK	312,15%	1.400	4.370
Solar	SHK	196,33%	1000	1.963
Laufwasser	LHK	5,35%	3000	160
Biomasse und Sonstiges	GHK	14,61%	3.000	438
Speicherladung	SLLHK	120,09%	200	243
Speicherentnahme	SELHK	132,10%	150	198
Speichermaximalleistung	SLMHK	132,10%	200	264
Speicherkapazität	SKK	2,00%	30	5.258

Tabelle 10: Werte für die Herstellkosten der Energieanlagen und Speicher

Tabelle 11 zeigt das Versorgungssystem mit den geringsten Stromgestehungskosten.

Größe	Zeichen	Wert	Einheit
Windanteil	iWi	75,50	%
Solaranteil	iSo	24,50	%
Anteil fluktuierend	FA	133,38	%
Laufwasseranteil	LA	3,00	%
Biomasseleistungsanteil	BA	12,00	%
Umwandlungsvermögen	UV	148,38	%
spezifische Herstellkosten	VSK	12.895	€/kW
Kapitalkosten (Annuitäten)	KKVS	814,05	€/kWa
spezifische Betriebskosten	BKVS	466,27	€/kWa
<b>Stromgestehungskosten</b>	<b>SGKVS</b>	<b>14,58</b>	<b>Ct/kWh</b>

Tabelle 11: Stromgestehungskosten für das optimale Versorgungssystem

Die Werte belegen, dass eine Umstellung des Systems auf regenerative Energien mit einem entsprechenden Energiespeicher auf Dauer keine Erhöhung des Strompreises nach sich zieht. Im Vergleich mit den aktuellen Strompreisen kann man davon ausgehen, dass so geringe Stromgestehungskosten die Strompreise bei diesem System nicht anheben werden. In Zukunft werden laut Annahmen die Stromgestehungskosten noch weiter fallen. Dies wurde im Laufe dieser Arbeit berechnet und in Tabelle 12 aufgezeigt.

Windanteil	iWi	67,00	%
Solaranteil	iSo	33,00	%
Anteil fluktuierend	FA	141,61	%
Laufwasseranteil	LA	3,00	%
Biomasseleistungsanteil	BA	10,00	%
Umwandlungsvermögen	UV	154,61	%
spezifische Herstellkosten	VSK	8.444	€/kW
Kapitalkosten (Annuitäten)	KKVS	595,51	€/kW <sub>a</sub>
spezifische Betriebskosten	BKVS	292,02	€/kW <sub>a</sub>
<b>Stromgestehungskosten</b>	<b>SGKVS</b>	<b>10,10</b>	<b>Ct/kWh</b>

Tabelle 12: Mögliche Stromgestehungskosten für Annahmen für das Jahr 2030

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Windleistung bei 100 Meter .....	11
Tabelle 2: Angaben für Solaranlagen .....	13
Tabelle 3: Leistungen Solaranlagen.....	13
Tabelle 4: Laufwasserleistung .....	15
Tabelle 5: Verbrauch .....	18
Tabelle 6: Vorläufig gewählter Energiemix .....	21
Tabelle 7: Werte Residualleistungsdauerlinie.....	24
Tabelle 8: Vorgabewerte für die Berechnung des Kostenoptimums.....	29
Tabelle 9: Angaben der Spezifischen Herstellkosten .....	29
Tabelle 10: Werte für die Herstellkosten der Energieanlagen und Speicher .....	30
Tabelle 11: Stromgestehungskosten für das optimale Versorgungssystem.....	30
Tabelle 12: Mögliche Stromgestehungskosten für Annahmen für das Jahr 2030.....	31

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Untersuchtetes Rastergebiet .....	8
Abbildung 2: ENERCON E-115, 3.000 kW .....	11
Abbildung 3: Windleistung im Februar .....	12
Abbildung 4: Windleistung im Juli.....	12
Abbildung 5: Solarleistung im Januar .....	14
Abbildung 6: Solarleistung im Juni .....	14
Abbildung 7: Laufwasserleistung im Januar.....	16
Abbildung 8: Laufwasserleistung im Juli .....	16
Abbildung 9: Biomasseleistung im Januar.....	17
Abbildung 10: Biomasseleistung im Juli .....	17
Abbildung 11: Lastverlauf im Januar .....	19
Abbildung 12: Lastverlauf im Juli .....	19
Abbildung 13: Versorgungsverlauf im Januar .....	21
Abbildung 14: Versorgungsverlauf im Juli.....	22
Abbildung 15: Umwandlungsdauerlinien.....	23
Abbildung 16: Residualleistungsdauerlinien .....	25
Abbildung 17: Speicherentnahme und Versorgungsreserve .....	26



Abbildung 18: Speicherverlauf im Januar .....	27
Abbildung 19: Speicherverlauf im Juli .....	27
Abbildung 20: Deckungsreserve.....	28

## Literaturverzeichnis

- <https://www.eea.europa.eu/de/themes/climate/policy-context> (zuletzt am 29.11.17)
- [http://www.focus.de/wissen/klima/klimaerwaermung/klimawandel-naturwunder-in-gefahr\\_id\\_7884768.html](http://www.focus.de/wissen/klima/klimaerwaermung/klimawandel-naturwunder-in-gefahr_id_7884768.html) (zuletzt am 30.11.2017)
- <https://www.unendlich-viel-energie.de/themen/politik> (zuletzt am 27.11.2017)
- [https://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/EnergieErzeugen/ErneuerbareEnergien-Zeitalter/\\_node.html](https://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/EnergieErzeugen/ErneuerbareEnergien-Zeitalter/_node.html) (zuletzt am 27.11.2017)
- <https://www.energieatlas.bayern.de/kommunen/mischpult.html>  
(zuletzt am 02.12.2017)
- <https://www.energieatlas.bayern.de/energieatlas.html> (zuletzt am 02.12.2017)
- 05 - Versorgungsanalyse zu einer Teilregion, Popp (zuletzt am 03.12.2017)
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Stromgestehungskosten> (zuletzt am 03.12.2017)