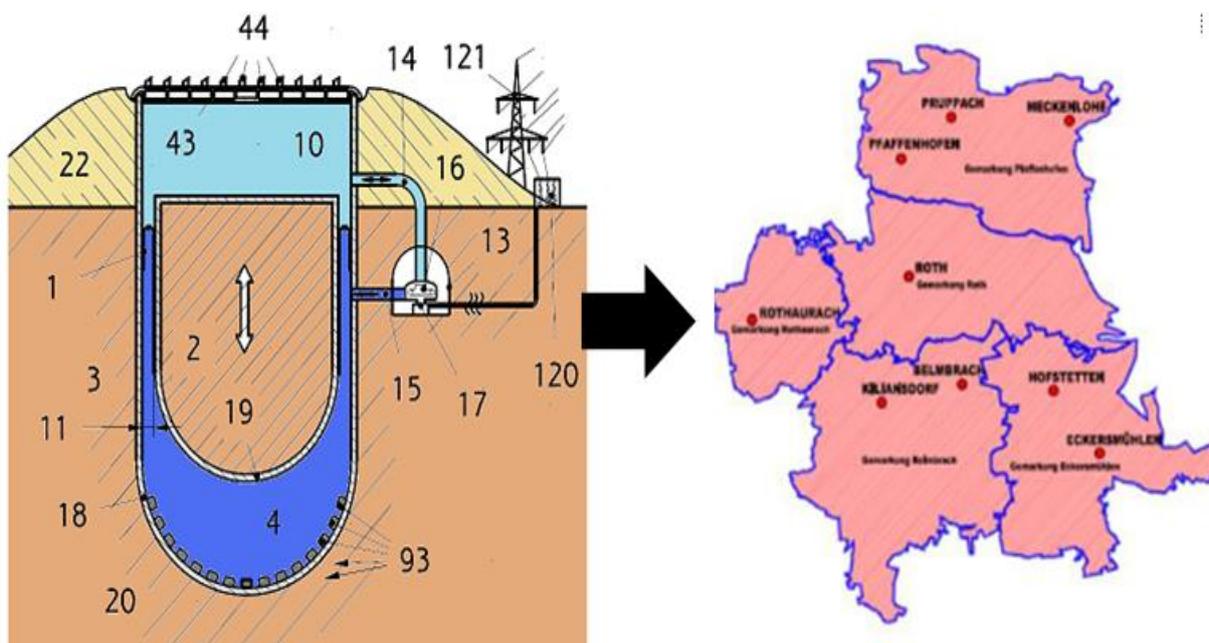


## Regenerative Energieversorgung der Stadt Roth



Alexander Nahlik

6. Semester

## **Eidesstaatliche Erklärung**

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

Nürnberg, 30. Juni 2022

## Inhalt

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Ausführliche Projektbeschreibung .....                 | 4  |
| 2     | Biomasse in Roth .....                                 | 5  |
| 2.1   | Blockheizkraftwerke in Roth .....                      | 5  |
| 2.2   | Auswertung der Verbrauchsdaten .....                   | 5  |
| 3     | Strommarktpreisanalyse .....                           | 7  |
| 3.1   | Strombörse .....                                       | 7  |
| 3.2   | Strommarktanalyse .....                                | 8  |
| 3.2.1 | Strommarkt 2018.....                                   | 8  |
| 3.2.2 | Strommarkt 2019.....                                   | 9  |
| 3.2.3 | Strommarkt 2020.....                                   | 10 |
| 3.2.4 | Strommarkt 2021.....                                   | 11 |
| 3.2.5 | Stromverlauf der letzten vier Jahre.....               | 12 |
| 3.2.6 | Strommarkt im letzten Jahr (22.6.2021-22.6.2022).....  | 13 |
| 3.3   | Negative Preisentwicklung des Strommarktpreises.....   | 14 |
| 3.4   | Extrem positive Entwicklung des Strommarktpreises..... | 15 |
| 4     | Kosteneinsparpotenzial .....                           | 17 |
| 5     | Abbildungsverzeichnis.....                             | 19 |
| 6     | Quellenverzeichnis .....                               | 20 |

# 1 Ausführliche Projektbeschreibung

In Deutschland gibt es ein bis jetzt einzigartiges Projekt mit dem Namen „Energiewende“, wobei man bis 2050 in Deutschland auf fossile Brennstoffe und Uran vollständig verzichten möchte. Aktuell stammt ein Drittel des Stroms aus Wind, Sonne oder Biomasse, wodurch der Ausstoß der klimaschädlichen Treibhausgase bis 2016 gegenüber 1990 um rund 27 Prozent gesenkt wurde. 2022 gehen die letzten drei deutschen Atomkraftwerke vom Netz. Deutschland hat das Ziel verfehlt, bis 2020 die Treibhausgasemissionen um 40 Prozent gegenüber 1990 zu reduzieren. Dementsprechend muss der Ausbau der regenerativen Energiequellen fortgeführt werden<sup>1</sup>. Die Technologien wie Solarenergieanlagen, Windräder und Wasserkraftwerke sind längst Stand der Technik. Dennoch gibt es die Schwierigkeit mit der zeitlichen Planbarkeit. Im Sommer wirft die Sonneneinstrahlung so viel Energie ab, dass man Überschüsse hat, dafür ist die Windenergie schwächer. Im Winter dreht sich das Ganze um<sup>2</sup>. Dennoch gibt es auch Anlagen, die sowohl regenerativ als auch mit fossilen Brennstoffen betrieben werden können, zum Beispiel ein Blockheizkraftwerk. Ein BHKW ist eine modular aufgebaute Anlage zur Gewinnung elektrischer Energie und Wärme, die vorzugsweise am Ort des Wärmeverbrauchs betrieben wird. Die Anlage nutzt dafür das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung<sup>3</sup>. Die Aufgabenstellung beruht darauf eine Speichertechnologie für die Stadtwerke Roth in Kombination mit Solarenergie und Windenergie auszulegen. Es handelt sich hier um einen „Stülpmembranspeicher“, den Prof. Matthias Popp in seinem Internetauftritt beschreibt<sup>4</sup>. Die Energieeinspeisung soll durch die vorhandenen regenerativen Energiequellen der Stadtwerke Roth geschehen. Diese wären Solaranlagen, BHKWs, Wasserkraft und die Möglichkeit auf Windkraftanlagen. Anhand der Versorgungsdaten aus der Stadt Roth soll eine Systemauslegung mit einer definiert vorgegebenen Versorgungssicherheit zu minimierten Stromgestehungskosten bestimmt werden und mit einer Analyse des Strommarktes bekräftigt werden.

---

<sup>1</sup> <https://www.energiewende.de/start> (Zugriff: 2.6.2022)

<sup>2</sup> [https://www.planet-wissen.de/technik/energie/erneuerbare\\_energien/index.html](https://www.planet-wissen.de/technik/energie/erneuerbare_energien/index.html) (Zugriff: 2.6.2022)

<sup>3</sup> <https://www.bhkw-infozentrum.de/> (Zugriff: 2.6.2022)

<sup>4</sup> <http://www.poppware.de/> (Zugriff: 2.6.2022)

## 2 Biomasse in Roth

Die Biomasse ist definiert als die Gesamtheit der Masse an organischem Material in einem Ökosystem, welches in Primär- und Sekundärprodukte eingeteilt werden kann. Die Primärprodukte entstehen durch die Ausnutzung der Sonnenenergie durch Photosynthese, also land- und forstwirtschaftliche Produkte, wie Rest- und Altholz. Sekundärprodukte kommen durch Ab- oder Umbau der organischen Substanz in höheren Organismen, wie der Kot von Tieren<sup>5</sup>. In der Stadt Roth und im Umkreis gibt es ein Potenzial an Biomasse, aber da kein Ausbaupotenzial im Sinne des Projekts gesehen wird, wird sich hier auf die vorhandenen Blockheizkraftwerke beschränkt und diese regenerativ betrieben.

### 2.1 Blockheizkraftwerke in Roth

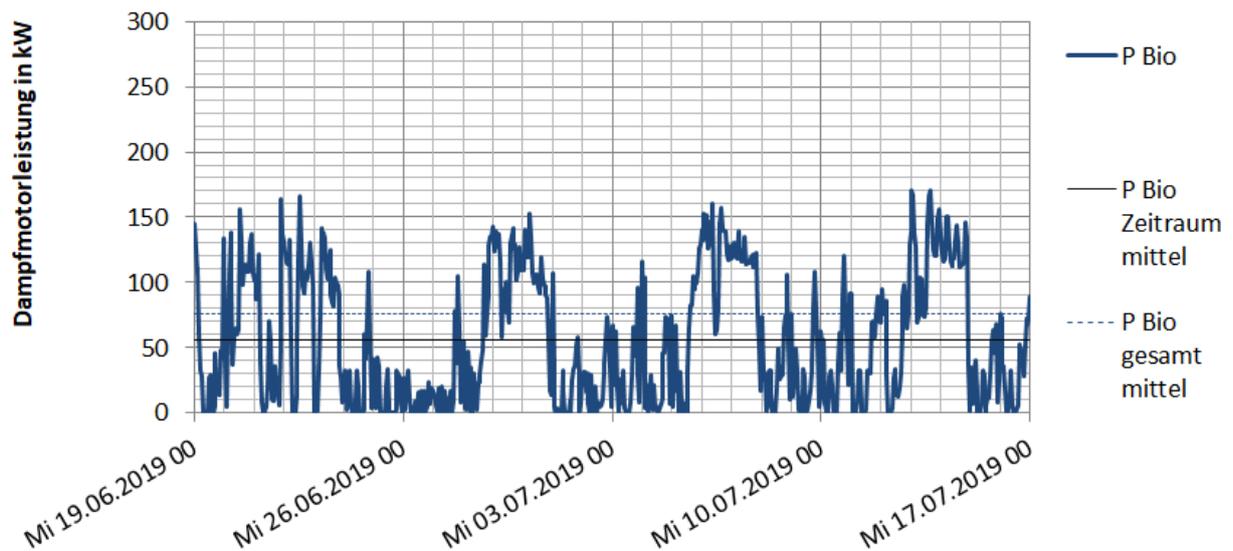
In Roth gibt es zwei gasbetriebene Blockheizkraftwerke mit Kraft-Wärme-Kopplung. Dadurch liefert es sowohl Strom als auch Wärme, aber hier wird sich auf den Strom beschränkt. Das eine steht in der Röntgenstraße und das andere wird beim Freibad verwendet. Das Ziel ist es, diese komplett regenerativ zu betreiben, mit hundertprozentigem Biogas, welches zugekauft wird. Die anfallenden Kosten durch den Zukauf sind im Betriebskostenfaktor verrechnet und belaufen sich dadurch auf 40 Prozent. Aber um überhaupt auf dieses Ergebnis zu kommen, sind die Gasverbrauchsdaten für die Blockheizkraftwerke ausgewertet worden.

### 2.2 Auswertung der Verbrauchsdaten

Für die Verbrauchsdatenauswertung wurden von den Stadtwerken Roth Datensätze zu Verfügung gestellt. Diesen Datensätzen konnte man den Verbrauch an Gas jede Viertelstunde von 2018 bis 2021 entnehmen. Diese Informationen wurden dann in ein Excel-Berechnungsprogramm eingefügt. Zuerst wurden die Werte zu Stundenwerte zusammengefasst und dann durch den Mittelwert der Leistung geteilt, so bekommt man auf den Mittelwert bezogene Prozentwerte. Dabei ergab sich ein Benutzungsgrad, welcher das Verhältnis vom mittleren Verbrauch zum höchsten Verbrauch angibt, von 33 Prozent über die letzten vier Jahre und eine Zeitreihe über die Leistung, welche In Abbildung 1 und Abbildung 2 für einen Sommerfall und einen Winterfall zu sehen sind.

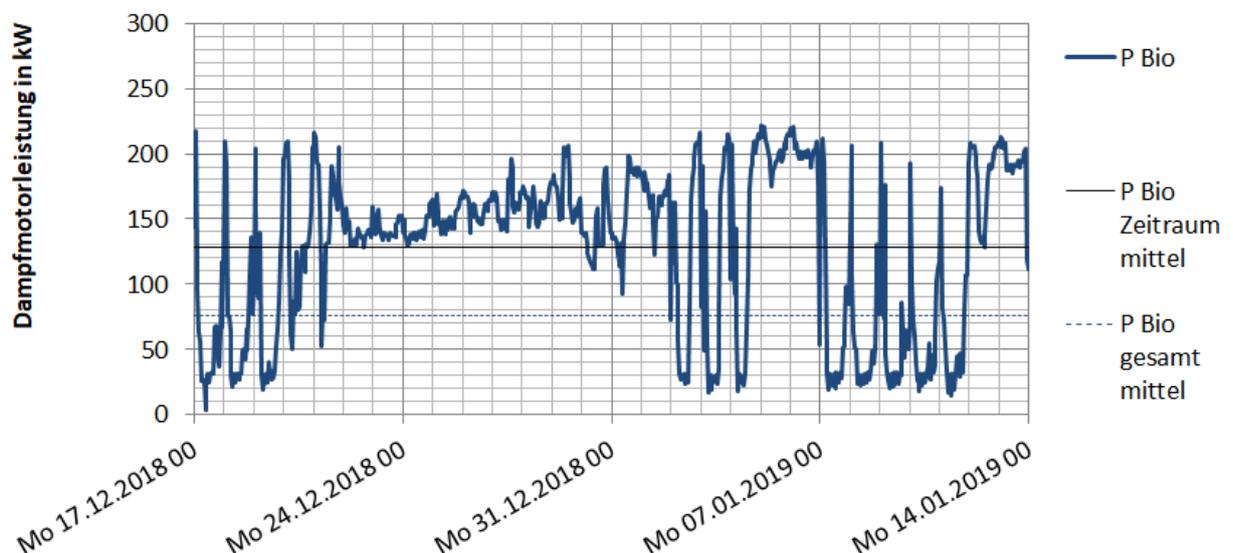
---

<sup>5</sup> <http://docplayer.org/79550878-Integriertes-klimaschutzkonzept-fuer-den-landkreis-roth.html> (Zugriff 28.4.2022)



**Abbildung 1: Biomassezeitreihe – Sommer**

In der Abbildung 1 ist die Biomassezeitreihe im Sommer zu erkennen. Hier ist klar zu sehen, dass die BHKWs am Wochenende mehr Leistung erbringen, als unter der Woche. Außerdem befinden sich die Kraftwerke in einem kleinen Leistungsbereich bis zu knapp 150 kW.



**Abbildung 2: Biomassezeitreihe – Winter**

In der Abbildung 2 ist die Biomassezeitreihe im Winter zu erkennen. Das Leistungsniveau von den Blockheizkraftwerken liegt hier deutlich höher als im Sommer bei bis zu 220 kW und wird auch mehr unter der Woche betrieben als im Sommer. Das dürfte vor allem an der benötigten Wärme und weniger am Strom liegen, da die Stromleistung gering ist. Die kleine Stromleistung ist auch im Biomasseleistungsanteil zu erkennen, der bei 0,82 Prozent liegt. Dieser bezieht sich auf die Gesamtstromproduktion, wobei Windkraft, Sonne und Wasserkraft die restlichen Prozente ausmachen.

## 3 Strommarktpreisanalyse

Auf dem Strommarkt wird mit Energiemengen gehandelt, die aus unterschiedlichen Quellen und in unterschiedlichen Kraftwerken erzeugt werden. Diese Energie verkaufen die Erzeuger im Voraus an Unternehmen, die sie entweder selbst verbrauchen oder an ihre Kunden weiterleiten. Das Ziel davon ist, dass zu jederzeit die Versorgung gesichert ist, also die Stromnachfrage abgedeckt. Die meisten Stromgeschäfte werden außerhalb der Börse geschlossen. Diese direkten Vereinbarungen über den Einkauf von Strom und seine Lieferung werden in der Fachsprache "Over-the-counter" genannt, also "über den Ladentisch".

### 3.1 Strombörse

Durch die Liberalisierung des Strommarktes gelten für ihn die allgemeinen Wettbewerbsbedingungen. Das bedeutet, Strom wird an der Börse gehandelt. Das erfolgt, zum einen an der EEX<sup>6</sup>, der "European Energy Exchange", in Leipzig und zum anderen an der EPEXspot<sup>7</sup>, der „2“, in Paris. Das Strommarktdesign beschreibt die unterschiedlichen Möglichkeiten, wie mit dem Strom gehandelt wird. Hierbei handelt es sich darum, wie der Stromgroßhandelsmarkt organisiert wird, um eine sichere Stromversorgung zu garantieren. Die wichtigsten Größen sind auch auf diesem Markt Angebot und Nachfrage. Für den Handel an der Börse gibt es folgende Optionen:

- Beim **Intraday-Markt** handelt es sich um einen spontanen Handel mit Strommengen in Zeitspannen von Viertelstunden bis Stundenblöcken, die für den laufenden Tag gehandelt werden. Um 14.15 Uhr kann mit Zuschlag eine Strommenge gekauft werden, die schon um 15 Uhr ins Netz geschickt wird. Durch den sehr kurzfristigen Handel wird bezweckt, Fehlmengen oder Überschüsse gering zu halten, um die eigene Prognose möglichst exakt zu erfüllen und keine Ausgleichsenergie bezahlen zu müssen.
- Der **Day-Ahead-Markt** bezieht sich auf die physischen Stromlieferungen für den kommenden Tag. Die Gebote für Ankauf und Verkauf müssen bis 12 Uhr des Vortags getätigt sein.
- Auf dem **Terminmarkt** werden Lieferungen mit bis zu sechs Jahren im Vorlauf gehandelt. Der Markt ist ein "Energy-only-Markt". Das bedeutet, dass der Käufer nur die tatsächliche Energiemenge ohne weitere Vergütungen zahlt. Er zahlt daher nicht für die Kraftwerkleistung, die benötigt wird um die Energiemenge überhaupt erst zu erzeugen<sup>8</sup>.

---

<sup>6</sup> <https://www.eex.com/de/> (Zugriff: 9.6.2022)

<sup>7</sup> <https://www.epexspot.com> (Zugriff: 9.6.2022)

<sup>8</sup> <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/wie-funktioniert-der-strommarkt--419274> (Zugriff: 9.6.2022)

## 3.2 Strommarktanalyse

Der Strommarkt spielt für die Bewirtschaftungsstrategie des Speichersystems eine essenzielle Rolle. Daher wird im weiteren Verlauf der Strommarkt von dem Jahr 2018 bis in das Jahr 2021 analysiert.

### 3.2.1 Strommarkt 2018

In der Abbildung 3 ist der Verlauf des Strommarktpreises des Jahres 2018 zu sehen, wobei der Preis in  $\frac{\text{€}}{\text{MWh}}$  über das Datum aufgetragen ist.

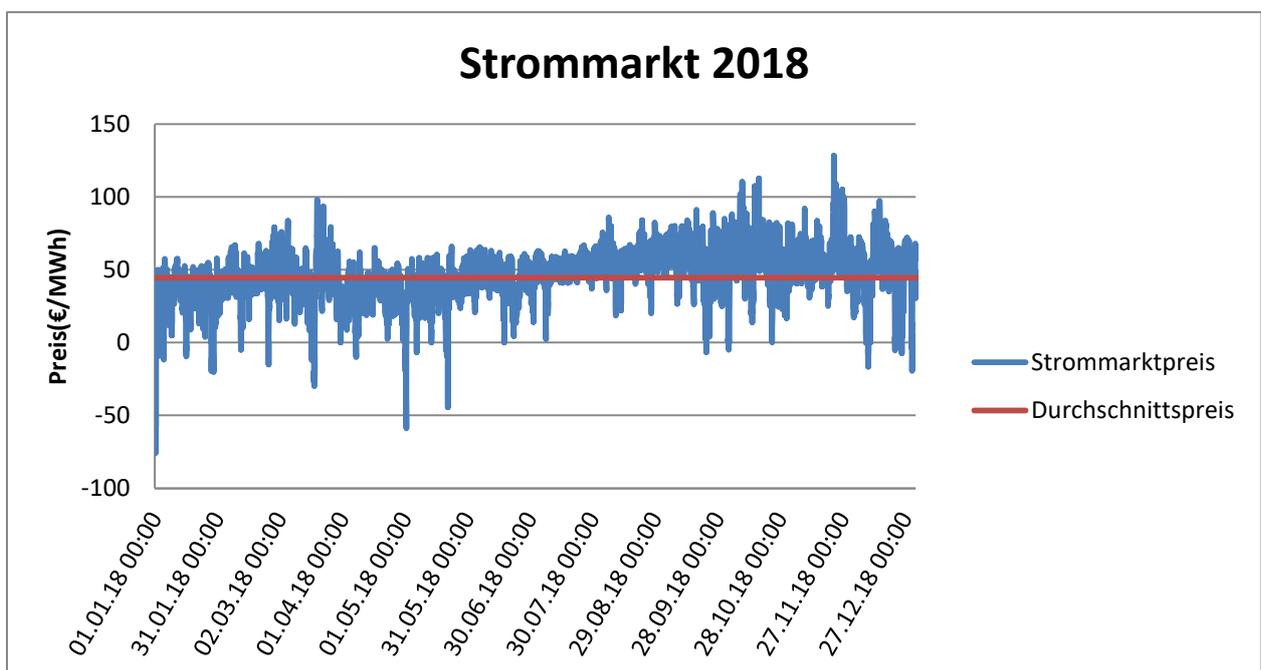


Abbildung 3: Strommarkt 2018

Im Jahr 2018 startet der Strommarkt im Januar mit negativen Werten bis zu  $-76,01 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$ . Danach steigt der Preis wieder bis über  $50 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$ , bleibt aber bis Mitte des Jahres sehr volatil und fällt des Öfteren in den negativen Bereich. Ab Juli befindet sich der Markt fast ausschließlich im positiven Bereich und knackt im letzten Quartal sogar die  $128,26 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$ . Der Durchschnittsstromerkaufspreis im Jahr 2018 liegt bei  $44,47 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$ .

### 3.2.2 Strommarkt 2019

In der Abbildung 4 ist der Verlauf des Strommarktpreises des Jahres 2019, wobei der Preis in  $\frac{\text{€}}{\text{MWh}}$  über das Datum aufgetragen ist.

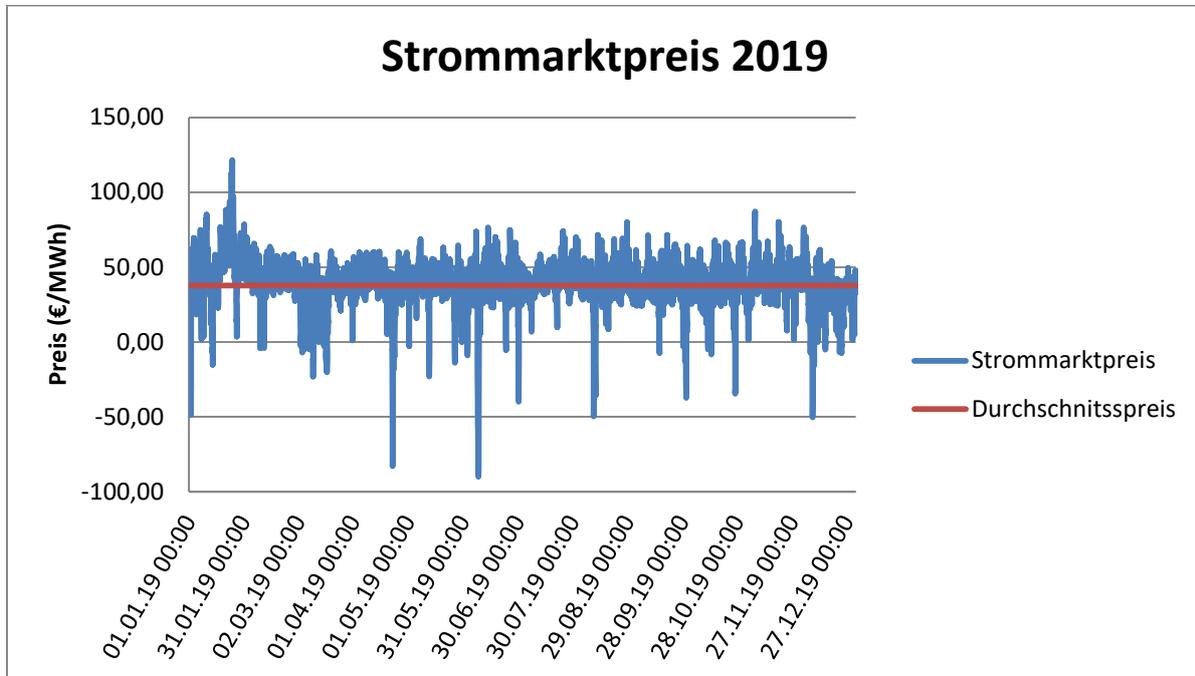


Abbildung 4: Strommarkt 2019

Das Jahr 2019 fängt mit negativen Stromeinkaufspreisen bis  $-48,93 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$  an, ähnlich wie im Vorjahr und steigt danach stark an, über  $121,46 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$ . Danach schwankt der Preis das ganze Jahr über stark und wird häufig negativ, teilweise bis zu  $-90,01 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$ . Über das ganze Jahr hin gesehen, war der Durchschnittspreis bei  $37,6 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$ .

### 3.2.3 Strommarkt 2020

In der Abbildung 5 ist der Verlauf des Strommarktpreises des Jahres 2020 zu erkennen, wobei der Preis in  $\frac{\text{€}}{\text{MWh}}$  über das Datum aufgetragen ist.

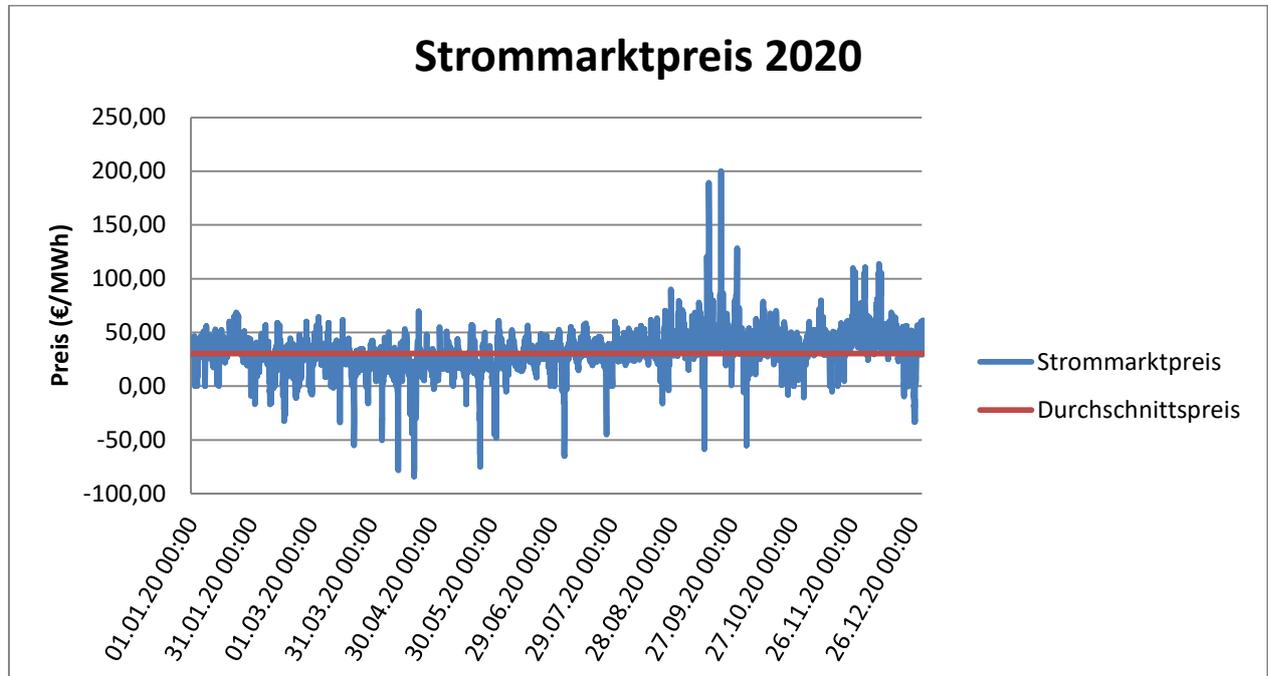


Abbildung 5: Strommarkt 2020

Das Jahr 2020 beginnt mit nur leicht negativen Preisen, im Gegensatz zu den zwei Jahren davor. Im ersten Quartal pendeln die Werte zwischen  $60 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$  und  $-30 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$ . Im zweiten Quartal werden die negativen Stromeinkaufspreise extremer und sinken bis auf  $-83,94 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$ . Am Ende des dritten Quartals erreicht der Preis nach einem Tief das Jahreshoch von  $200,04 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$ . Im letzten Quartal gibt es solche Extremwerte nicht mehr und es schwankt um den Jahresdurchschnittspreis von  $30,47 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$ .

### 3.2.4 Strommarkt 2021

In der Abbildung 6 ist der Verlauf des Strommarktpreises des Jahres 2021, wobei der Preis in  $\frac{\text{€}}{\text{MWh}}$  über das Datum aufgetragen ist.

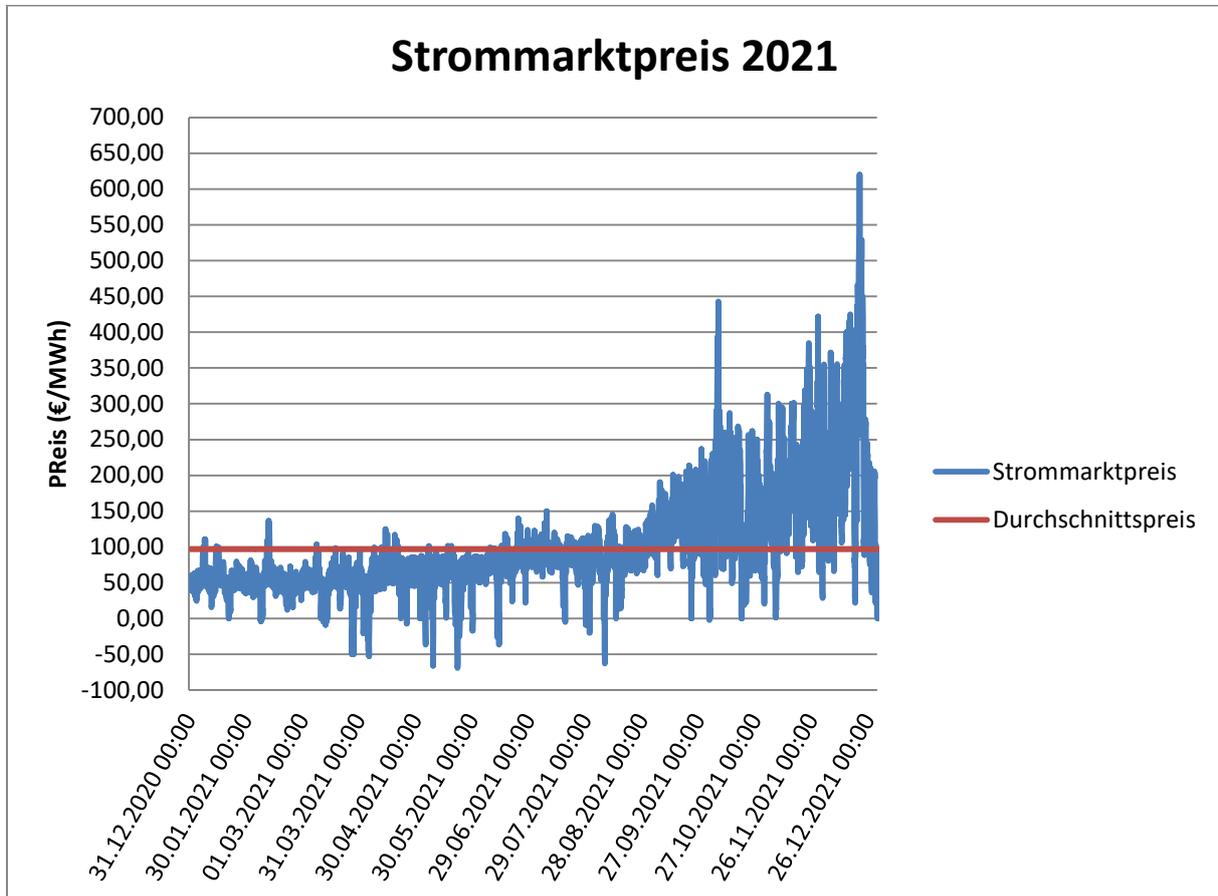


Abbildung 6: Strommarkt 2021

Im Jahr 2021 ist der Strommarkt im ersten dreiviertel Jahr sehr konstant und ist überwiegend im positiven Bereich. Dennoch gibt es einige negative Ausschläge die bis auf  $-69 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$  reichen. Doch ab Beginn des letzten Quartals gibt es einen exponentiellen Anstieg des Strommarktpreises der seinen Höhenpunkt bei  $620 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$  findet. Dadurch beträgt der Durchschnittsstromerkaufspreis im Jahr 2021  $96,84 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$ .

### 3.2.5 Stromverlauf der letzten vier Jahre

In der Abbildung 7 ist der Strommarktpreis von Beginn 2018 bis Juni 2022 zu erkennen, wobei der Preis in  $\frac{\text{€}}{\text{MWh}}$  über das Datum aufgetragen ist.

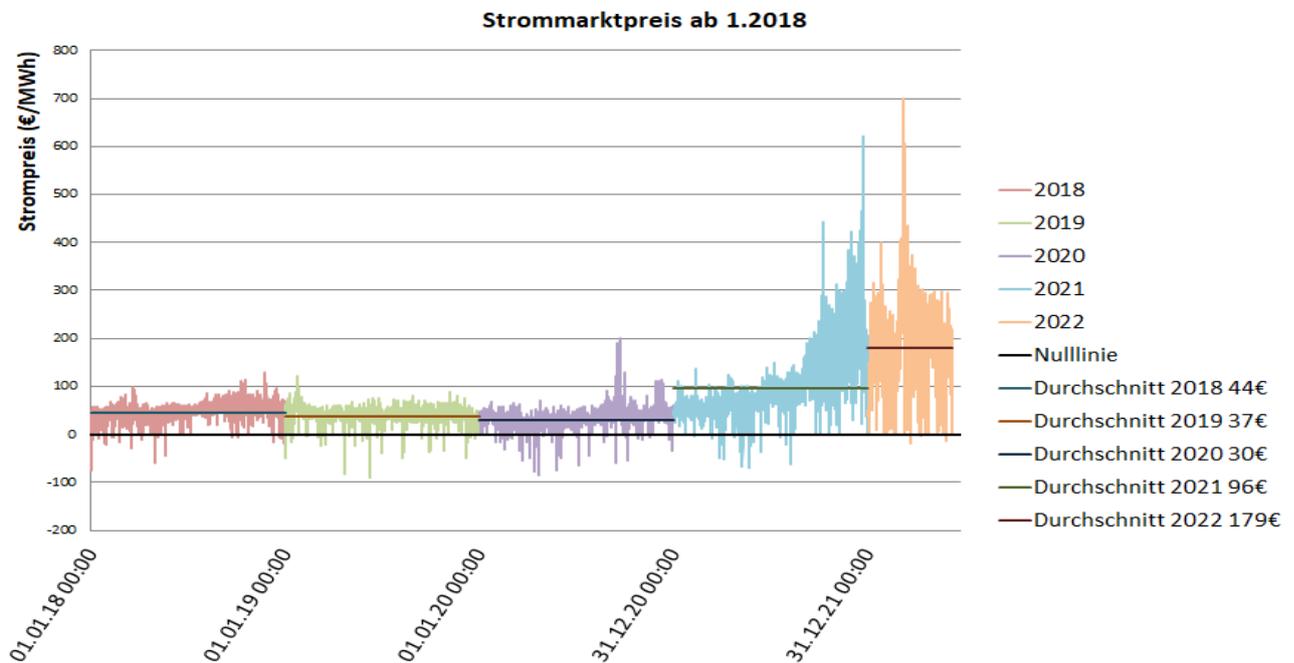
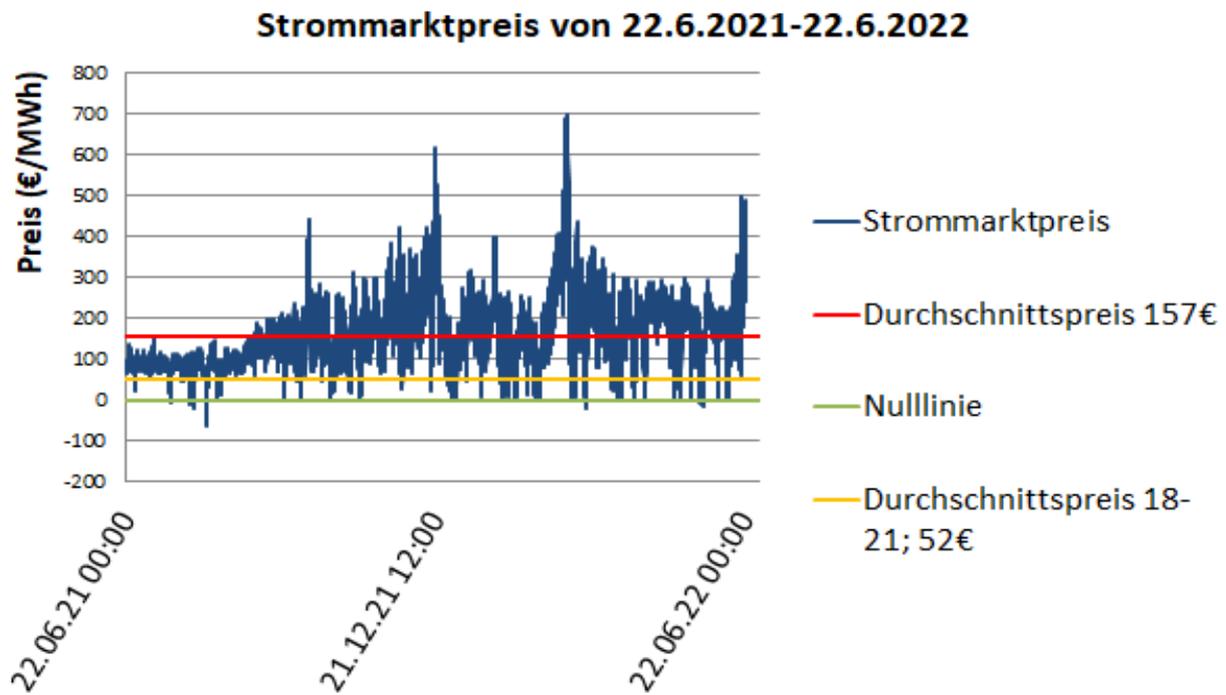


Abbildung 7: Strommarktpreis mit Jahresdurchschnittsverlauf

Hier ist zu erkennen, dass der Strompreis von 2018 bis 2020 sogar durchschnittlich gesunken ist, von  $44 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$  auf  $30 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$  Jahresdurchschnitt. 2021 war das durchschnittliche Preisniveau deutlich höher, was durch die extreme Preissteigerung im letzten Quartal kommt. Hier gab es Preise bis zu  $620 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$ . Wenn man jetzt noch das bisherige Jahr 2022 betrachtet, gab es hier sogar noch weitere Preissteigerungen bis auf  $700 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$ . Wenn man jetzt den Jahresdurchschnittspreis betrachtet, ist der Jahresdurchschnittspreis von 2020 auf 2022 um mehr als das Fünffache gestiegen.

### 3.2.6 Strommarkt im letzten Jahr (22.6.2021-22.6.2022)

In der Abbildung 8 ist der Verlauf des Marktpreis von Strom im Zeitraum des 22.6.2021 bis 22.6.2022 abgebildet, wobei der Marktpreis in  $\frac{\text{€}}{\text{MWh}}$  über das Datum aufgetragen ist.



**Abbildung 8: Strommarkt von 22.6.2021-22.6.2022**

In der Abbildung ist der Strommarktpreis von 21.6.2021 bis zum 22.6.2022 abgebildet, um die momentane Marktsituation genauer analysieren zu können. Es ist ersichtlich, dass sich der Preis von dem extremen Anstieg vom Ende 2021 noch nicht erholt hat und sogar noch weiter gestiegen ist auf einen Höchstwert von  $700 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$ . Zudem ist der Preis so gut wie gar nicht in das negative Niveau gerutscht. Daher ergibt sich ein Durchschnittspreis im angegebenen Zeitraum von  $157 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$  und ist als rote Linie in der Abbildung dargestellt. Im Vergleich sieht man die gelbe Linie, die den Durchschnittspreis der letzten vier Jahre darstellt und bei  $52 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$  liegt.

### 3.3 Negative Preisentwicklung des Strommarktpreises

Negative Strompreise treten auf den kurzfristigen Strombörsen, dem Day-Ahead und dem Intraday-Markt, auf, wenn die Stromerzeugung den Stromverbrauch überschreitet, also das Angebot höher ist als die Nachfrage. Wer bei negativen Marktpreisen Strom ins Netz einspeist, erhält keine Erlöse, sondern muss für seinen eingespeisten Strom bezahlen. Typischerweise treten negative Strompreise dann auf, wenn die volatilen Stromerzeuger, wie Wind und Photovoltaik, überproportional viel Strom einspeisen, beispielsweise bei hoher Sonneneinstrahlung und gleichzeitig starkem Wind. Dazu sind Sonn- und Feiertage mit niedrigen Stromverbräuchen, in Deutschland insbesondere Ostern und Pfingsten auffällig, da der Stromverbrauch zusätzlich gesenkt wird<sup>9</sup>. Dies ist in der Abbildung 9 verbildlicht.

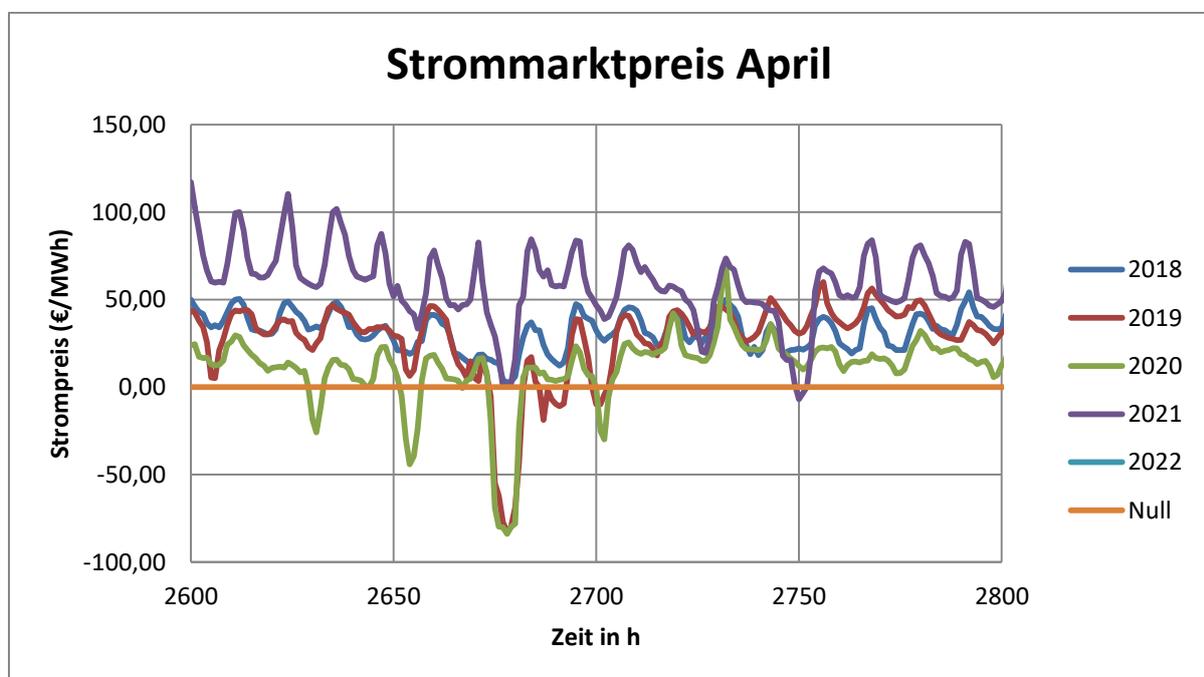


Abbildung 9: Strommarktpreis im April

In der Abbildung ist ersichtlich wie der Strommarktpreis 2019 und 2020 über Ostern auf bis zu  $-80 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$  sinkt.

<sup>9</sup> <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/negative-strompreise> (Zugriff: 9.6.2022)

### 3.4 Extrem positive Entwicklung des Strommarktpreises

Ein Grund für die steigenden Preise ist der ebenfalls steigende Energiebedarf auf der Welt. Ganz nach dem Prinzip von Angebot und Nachfrage. Dies ist in der Abbildung 10 ersichtlich.

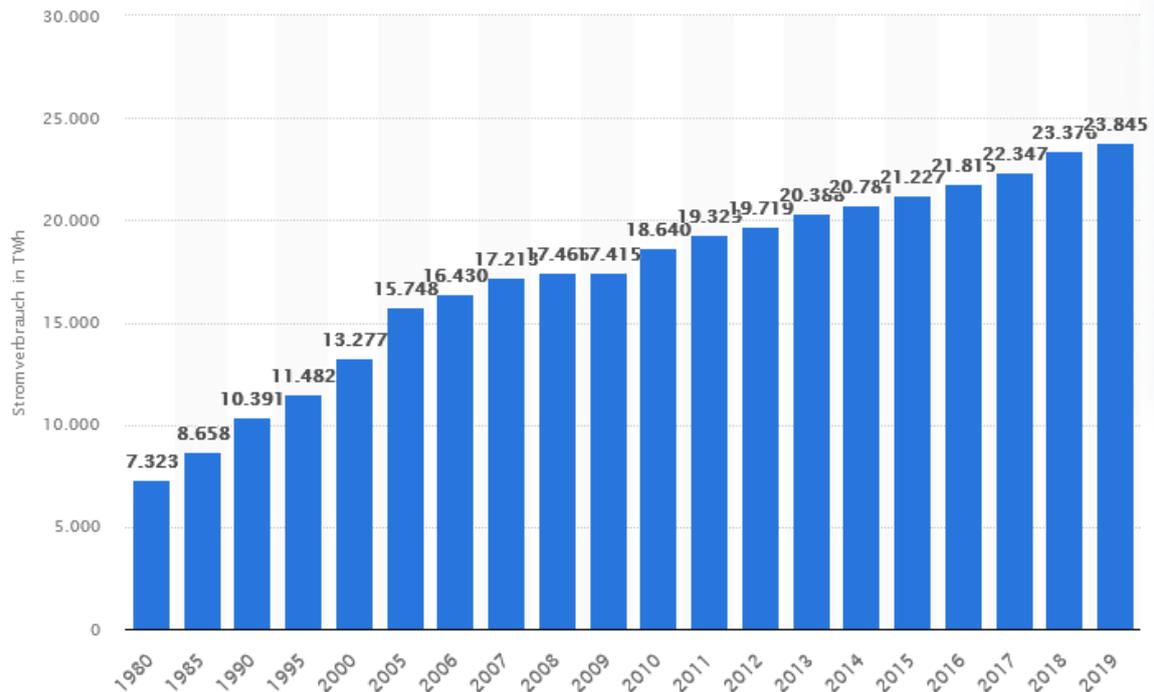


Abbildung 10: Weltenergiebedarf<sup>10</sup>

Durch den steigenden Bedarf an Energie muss das Angebot dementsprechend mit steigen. Falls das nicht gewährleistet ist, wenn z.B. ein Kraftwerk ausfällt, dann steigt der Preis kurzfristig. Die ausschlaggebenderen Gründe sind der Anstieg der CO<sub>2</sub>-Preise und die steigenden Gaspreise. Durch diese Preiserhöhungen wird die Stromproduktion ebenfalls teurer und so zwangsläufig auch der Strommarktpreis. In der Abbildung 11 wird das nochmals verdeutlicht.

<sup>10</sup> <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/239764/umfrage/weltweiter-stromverbrauch/> (Zugriff: 9.6.2022)

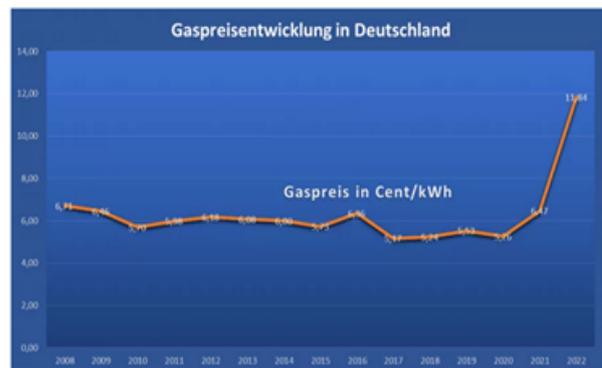
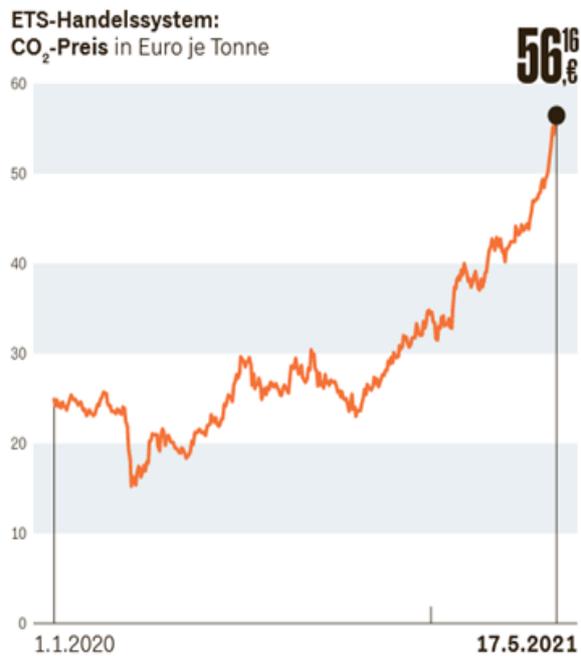


Abbildung 11: CO<sub>2</sub>-Preis<sup>11</sup> und Gaspreis<sup>12</sup>

Natürlich spielt die vorherrschende politische Situation eine enorme Rolle in dieser Preisentwicklung, wenn das Gas knapper wird durch fehlende Zulieferer, wird der Strompreis weiter steigen. Denn die flexiblen Gaskraftwerke werden nach dem Atomausstieg benötigt, um Strom zu produzieren. Genauso ist der schleppende Zubau von Windkraft ein großer Punkt. Im Bereich der erneuerbaren Energien ist die Onshore-Windenergie der wichtigste Energieträger in Deutschland vor der Photovoltaik und der Stromerzeugung aus Biomasse. Der Strom aus Windkraft ist im Vergleich günstiger und wirkt sich somit positiv auf dem Strompreis aus. Muss man auf andere Alternativen zur Stromgewinnung zurückgreifen, hat das natürlich auch Auswirkungen auf den Strompreis, z.B. Gas- und Kohlekraftwerke können hierzulande zwar diese fehlenden Mengen produzieren, allerdings benötigen diese Kraftwerke dazu dann mehr Gas und Kohle. Und diese Preise sind wiederum an den Weltmarkt gekoppelt: Der Gaspreis ist aktuell auf einem Rekordhoch, somit ist Strom aus Gaskraftwerken jetzt bereits wesentlich teurer als aus Windkraftwerken.

<sup>11</sup> <https://www.handelsblatt.com/technik/thespark/emissionszertifikate-milliardenrisiko-co2-preis-klimakosten-werden-zum-innovationsmotor/27199264.html> (Zugriff: 9.6.2022)

<sup>12</sup> <https://www.mein-eigenheim.de/heizen/gaspreise-2022-gaspreisentwicklung.html> (Zugriff: 9.6.2022)

## 4 Kosteneinsparpotenzial

Um eine genauere Aussage über die Rentabilität des ausgelegten Systems treffen zu können, wurden verschiedenste Marktpreisniveaus der letzten vier Jahre simuliert. In der Abbildung 12 sind beispielhaft die simulierten Durchschnittstrommarktpreise von 30€ und 200€ dargestellt.

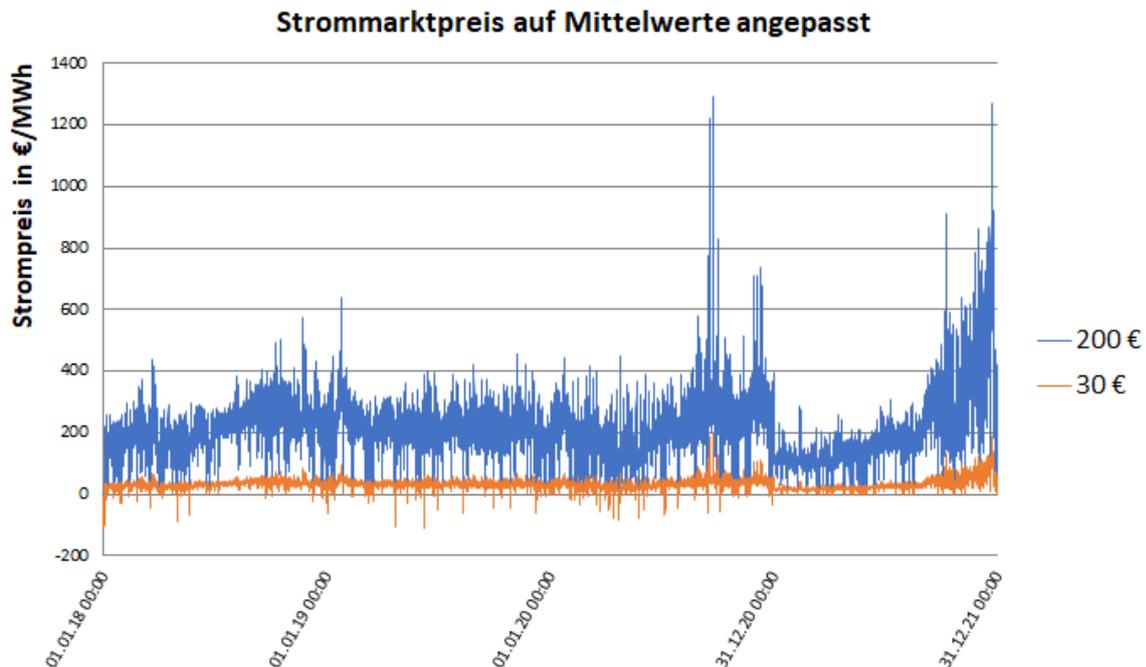


Abbildung 12: simulierte Jahresdurchschnittspreise

Die Nachahmung des Marktes wurde mit den Werten der letzten vier Jahre vorgenommen, in dem die echten Werte in dem Zeitraum mit einem Parameter verrechnet wurden, um das vorgegebene Durchschnittsniveau zu erreichen. Für den Parameter gilt folgende Formel:

$$\text{Parameter} = \frac{\text{simulierter Jahresdurchschnittspreis}}{\text{realer Jahresdurchschnittspreis}}$$

In der Abbildung 12 sind zwei Verläufe von solchen simulierten Jahresdurchschnittspreisen zu erkennen. Zum einen von dem niedrigsten angenommenen Durchschnittswert von  $30 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$  und zum anderen von dem höchsten angenommenen Durchschnittswert von  $200 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$ .

Diese Annahme sind relevant für die Bewirtschaftungsstrategie des Speichers, die in einem anderen Bericht erläutert wird<sup>13</sup>. Durch diese Bewirtschaftungsstrategie bekommt man diese Markterlöse in der Abbildung 13.

<sup>13</sup> [urn:nbn:de:bvb:92-opus4-8876](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bvb:92-opus4-8876)

| Jahresdurchschnitt in MWh/€ | Markterlös (€/MW_VD) | Markterlös (€/h) | €/a             |
|-----------------------------|----------------------|------------------|-----------------|
| 30                          | 21,68                | 199,28           | 1.745.710,34 €  |
| 40                          | 28,75                | 264,29           | 2.315.149,70 €  |
| 50                          | 35,84                | 329,5            | 2.886.445,46 €  |
| 60                          | 42,95                | 394,88           | 3.459.124,16 €  |
| 70                          | 50,07                | 460,28           | 4.032.037,22 €  |
| 80                          | 57,19                | 525,74           | 4.605.523,38 €  |
| 90                          | 64,32                | 591,27           | 5.179.544,62 €  |
| 100                         | 71,44                | 656,76           | 5.753.194,44 €  |
| 120                         | 85,7                 | 787,83           | 6.901.411,29 €  |
| 150                         | 107,09               | 948,51           | 8.624.286,27 €  |
| 200                         | 142,76               | 1312,45          | 11.497.088,21 € |

Abbildung 13: Markterlöse

Diese Markterlöse kann man von den Stromgestehungskosten zur Finanzierung eines dunkelflautensicheren regenerativen Versorgungssystems subtrahieren und erhält die verbleibenden Stromgestehungskosten. So ergeben sich die die blaue, orange und grüne Linie in der Abbildung 14.

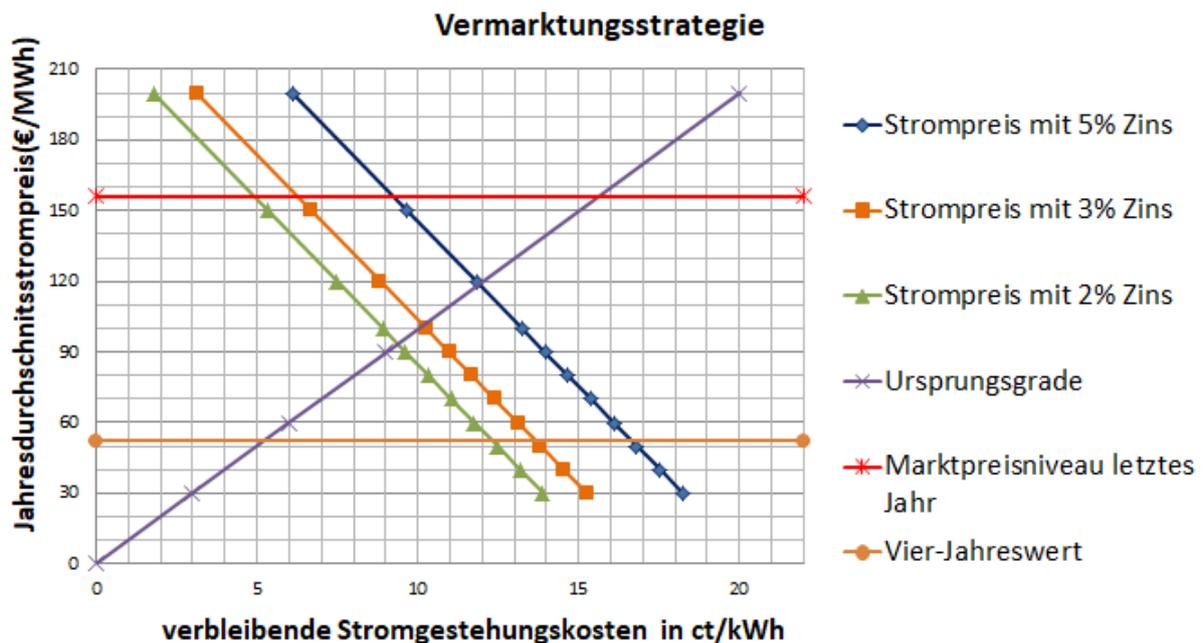


Abbildung 14: verbleibende Stromgestehungskosten

Durch den Schnittpunkt mit der Ursprungsgerade ergibt sich der Marktpreis, ab dem das regenerative Versorgungssystem Kostenvorteile gegenüber einer Strombeschaffung am Markt bietet. Bei einem Zinssatz von fünf Prozent wäre das bei  $120 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$  Jahresdurchschnitt auf dem Strommarkt. Bei dem derzeitigen Marktniveau würde sich das System rentieren, aber im vorgegebenen Betrachtungszeitraum nicht.

## 5 Abbildungsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 1: Biomassezeitreihe – Sommer .....                     | 6  |
| Abbildung 2: Biomassezeitreihe – Winter .....                     | 6  |
| Abbildung 3: Strommarkt 2018 .....                                | 8  |
| Abbildung 4: Strommarkt 2019 .....                                | 9  |
| Abbildung 5: Strommarkt 2020 .....                                | 10 |
| Abbildung 6: Strommarkt 2021 .....                                | 11 |
| Abbildung 7: Strommarktpreis mit Jahresdurchschnittsverlauf ..... | 12 |
| Abbildung 8: Strommarkt von 22.6.2021-22.6.2022 .....             | 13 |
| Abbildung 9: Strommarktpreis im April .....                       | 14 |
| Abbildung 10: Weltenergiebedarf .....                             | 15 |
| Abbildung 11: CO <sub>2</sub> -Preis und Gaspreis .....           | 16 |
| Abbildung 12: simulierte Jahresdurchschnittspreise .....          | 17 |
| Abbildung 13: Markterlöse .....                                   | 18 |
| Abbildung 14: verbleibende Stromgestehungskosten .....            | 18 |

## 6 Quellenverzeichnis

Quelle 1: <https://www.energiewende.de/start> (Zugriff: 2.6.2022)

Quelle 2: [https://www.planet-wissen.de/technik/energie/erneuerbare\\_energien/index.html](https://www.planet-wissen.de/technik/energie/erneuerbare_energien/index.html)  
(Zugriff: 2.6.2022)

Quelle 3: <https://www.bhkw-infozentrum.de/> (Zugriff: 2.6.2022)

Quelle 4: <http://www.poppware.de/> (Zugriff: 2.6.2022)

Quelle 5: <http://docplayer.org/79550878-Integriertes-klimaschutzkonzept-fuer-den-landkreis-roth.html> (Zugriff 28.4.2022)

Quelle 6: <https://www.eex.com/de/> (Zugriff: 9.6.2022)

Quelle 7: <https://www.epexspot.com> (Zugriff: 9.6.2022)

Quelle 8: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/wie-funktioniert-der-strommarkt--419274> (Zugriff: 9.6.2022)

Quelle 9: <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/negative-strompreise> (Zugriff: 9.6.2022)

Quelle 10: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/239764/umfrage/weltweiter-stromverbrauch/> (Zugriff: 9.6.2022)

Quelle 11: <https://www.handelsblatt.com/technik/thespark/emissionszertifikate-milliardenrisiko-co2-preis-klimakosten-werden-zum-innovationsmotor/27199264.html> (Zugriff: 9.6.2022)

Quelle 12: <https://www.energie.web.de/ratgeber/strom-faq/strompreis-entwicklung/>  
(Zugriff: 9.6.2022)

Quelle 13: <urn:nbn:de:bvb:92-opus4-8876> (Zugriff: 1.10.2022)