

PlaNeT-SimTech-Wettbewerb

Team-ID: 6446

Der „Blautopf“ ist eine Karstquelle in Blaubeuren in der Nähe von Ulm. Normalerweise ist das Wasser hier kalt, aber aktuelle Messungen zeigen in der Tiefe eine zeitlich konstante Zunahme der Wassertemperatur. Vermutet werden vulkanische Aktivitäten. Vorhersagen deuten darauf hin, dass das Wasser im Blautopf in 10 Jahren kochen wird. Dies soll natürlich verhindert werden, da dies nicht nur das Ökosystem im Blautopf sondern auch im Fluss Blau und generell auch die ganze Region stark beeinflussen würde. Die Maßnahmen sollen außerdem möglichst kostengünstig und wirtschaftlich sein.

Wie kann dauerhaft verhindert werden, dass das Wasser im Blautopf den Siedepunkt erreicht?

1 INHALT

2	Problemstellung	3
3	Lösungsansatz.....	3
4	Auslegung Deckel	3
5	Auslegung Kühlturm	4
5.1	Annahme:	4
5.2	Auswahl des Kühlturms	
6	Die Ersten 10 Jahre.....	4
7	Nach 10 Jahren	5
8	Dampfturbine	6
9	Bitcoin-mining-farm	7
9.1	Chancen und Risiken der Mining Farm	7
10	Stromverkauf: Alternative Geldgenerierung.....	8
11	Amortierungsrechnung	8
12	Kritische Betrachtung der Ergebnisse	8
13	Literaturverzeichnis	9

2 PROBLEMSTELLUNG

Der Blautopf ist ein touristisches Highlight der schwäbischen Alb und ist besonders für seine namensgebende blaue Farbe bekannt. Die Quelle wird durch eine 160 Quadratkilometer große Fläche gespeist, in der Regenwasser versickert und durch unterirdische Höhlen zum Blautopf fließt. Hier sprudelt das Wasser wieder hervor und bildet den Blautopf. Er liegt bei Blaubeuren, einem kleinen Dorf in der Nähe von Ulm. Neueste Messungen zeigen allerdings eine konstante Zunahme der Wassertemperatur, welche sich auf vulkanische Aktivität unter dem Blautopf zurückführen lassen. Somit würde sich ohne Gegenmaßnahmen der Blautopf so weit erhitzen, dass er in 10 Jahren anfangen würde zu kochen. Um dies zu verhindern, sollen mögliche Gegenmaßnahmen erörtert werden. (1)

3 LÖSUNGSANSATZ

Um das Kochen des Wassers im Blautopf zu verhindern, müsste man diesen nach unten verschließen, sodass kein heißes Wasser mehr direkt in den Blautopf strömen kann. Dieser Verschluss verfügt über Überdruckventile für Wasser und Wasserdampf. 10 Jahre lang, also bis das Wasser unter dem Deckel 100°C erreicht, würde das Wasser mithilfe eines Hybridkühlturmes abgekühlt und wieder in den Blautopf geleitet werden. Nach dem Ablauf der 10 Jahre bildet sich unter dem Deckel Wasserdampf. Dieser wird mithilfe einer Leitung zu einer Dampfturbine weitergeleitet. Diese produziert aus dem Wasserdampf Strom. Damit das System autark laufen kann wird ab jetzt der Kühlturm mit dem Strom der Dampfturbine betrieben. Um die Wirtschaftlichkeit des Systems zu ermöglichen wird der übrige Strom in einer naheliegenden Bitcoin-Farm in Bitcoin umgewandelt. Um das Risiko der Bitcoin-Farm abzusichern kann diese Stück für Stück aufgebaut werden. Damit ermöglichen wir den profitablen Stromverbrauch ohne große Stromtrassen bauen zu müssen. Falls auf die Bitcoin-Farm verzichtet werden soll, kann auch der generierte Strom ins Netz eingespeist werden, jedoch müssten dann Stromtrassen gebaut werden.

4 AUSLEGUNG DECKEL

Der Deckel muss nicht nur dem Druck des Wassers standhalten, sondern auch einen möglichst guten Isolator darstellen, um die Erhitzung des Blautopfbodens zu verhindern. Zwar bleibt der Wasserdruck aufgrund der Durchlaufmenge der Dampfturbine und des Kühlturms relativ gering, jedoch sollte der Deckel auch kurzzeitige Mehrbelastungen durch beispielsweise Starkregen aushalten. Außerdem sollte das Fertigungsmaterial möglichst korrosionsfest sein, um die Wartungshäufigkeit reduzieren zu können. Es könnte beispielsweise der Stahl 17NiCrMo6-4 verwendet werden, da die Legierungselemente Nickel und Chrom beide für eine erhöhte Korrosionsbeständigkeit führen, und Stahl die nötige Stabilität mit sich bringt.

Um die bestmögliche Isolation des Seebodens zu erreichen, wird als Boden ein Hohlkörper verwendet in dessen innerem eine nahezu Vakuum aufgebaut wird, wodurch die Wärmeleitfähigkeit stark sinkt, da diese in einem Vakuum gar nicht und in einem nahezu Vakuum nur sehr gering vorhanden ist.

Ein wichtiger Punkt der Sicherheit ist der Einbau eines Überdruckventils zum Ablassen eines zu hohen Wasserdampfes. Die vulkanische Aktivität kann über die Jahre stark ansteigen und somit kann die Sicherheit der Bewohner und Touristen gewährleistet werden.

5 Auslegung Kühlturm

5.1 Annahme:

Um die Maße des Kühlturms zu bestimmen, wird das Heizkraftwerk Altbach/Deizisau als Referenz genommen. Für den Stromverbrauch des Hybridkühlturms wird der Hybridkühlturm des moderneren Kraftwerks in Moorburg verwendet, da durch Fortschritte in der Technik die Effizienz weiter gesteigert werden wird. Durch diese Annahme erhält man einen Stromverbrauch von 10 MWh für den Betrieb des Hybridkühlturms. (2)

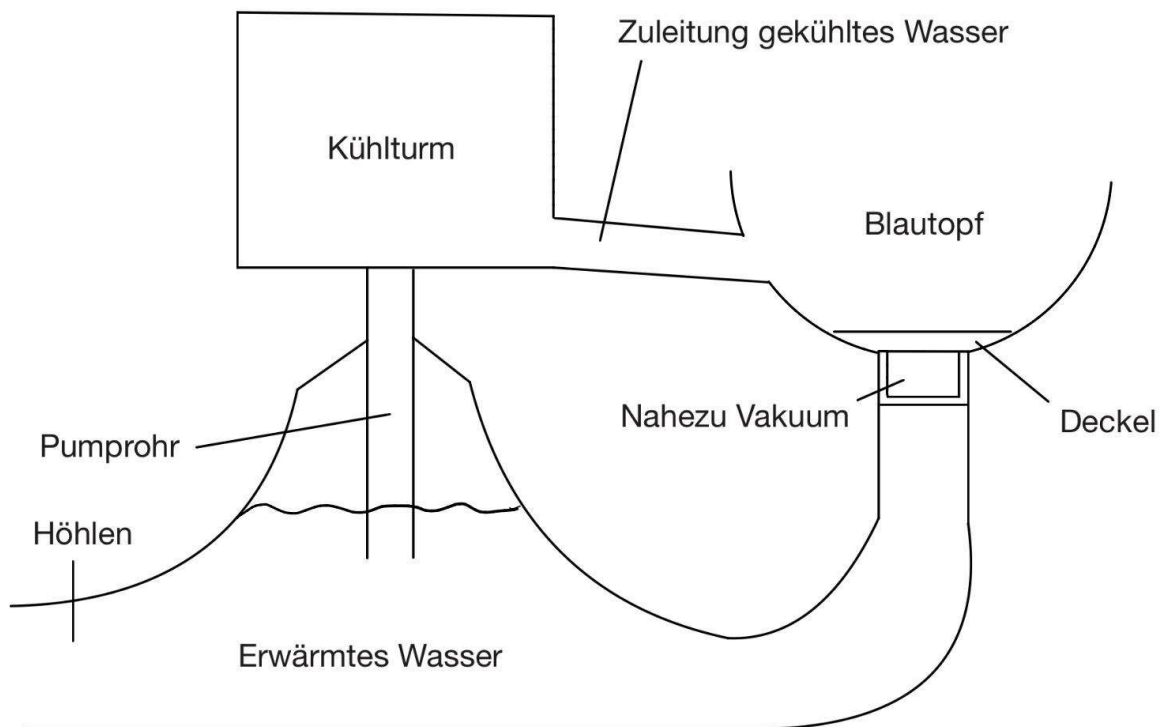
5.2 Auswahl des Kühlturms

Um das Ökosystem um den Blautopf nicht weiter zu belasten, bietet sich ein Hybridkühlturm wie die in dem Heizkraftwerk Altbach/Deizisau an. Diese Türme haben eine deutlich geringere Höhe von 45 Metern (3) anstatt der bis zu 200 Metern (4) eines Naturzug-Kühlturms. Durch die geringe Höhe des Kühlturms ist er zwischen den Bäumen im Wald um den Blautopf, die bis zu 50 Meter hochwachsen (5), aus der Ferne nicht zu erkennen, wodurch die Attraktivität des Touristenortes nicht verringert wird. Zusätzlich unterdrückt ein Hybridkühlturm die Dampfschwadenbildung (6), wodurch sich die Sonneneinstrahlungsverhältnisse auf die umliegende Gegend nicht stark verändern. Das nötige Wasser zum Betrieb im Nasskühlen kann der Blau entnommen werden. Die Blau führt bei Blaubeuren 2.300 Liter pro Sekunde (1), was erheblich mehr als der Wasserverbrauch eines Kühlturms mit Nasskühlung ist, da dieser bei 0,28 Milliliter pro Sekunde liegt (4).

6 DIE ERSTEN 10 JAHRE

Die ersten zehn Jahre sind eine reine Investition für die Natur und in die Zukunft dieser Anlage, ohne dass sie sich finanziell rentieren würde. Das liegt daran, dass in den ersten 10 Jahren das Wasser von den vulkanischen Aktivitäten zwar erhitzt, aber noch nicht zum Kochen gebracht werden wird. Daher ist es nötig mithilfe des Deckels den Blautopf von dem Zufluss abzuschotten und das erhitzte Wasser mithilfe des Kühlturms zu kühlen und danach in den Blautopf zu leiten. Damit wird sichergestellt, dass das Wasser im Blautopf nie die Siedetemperatur erreicht. Die ersten zehn Jahre sind jedoch aufgrund des Kühlens kostspielig, da ein Hybridkühlturm eine Leistung von 10MW benötigt. Mit dem aktuellen Spotstrompreis (84,4€/MWh) (7), und der Annahme, dass er über 10 Jahre konstant bleibt, würde es ca. 7,4 Mio. Euro kosten den Kühlturm für diese 10 Jahre mit Strom zu versorgen.

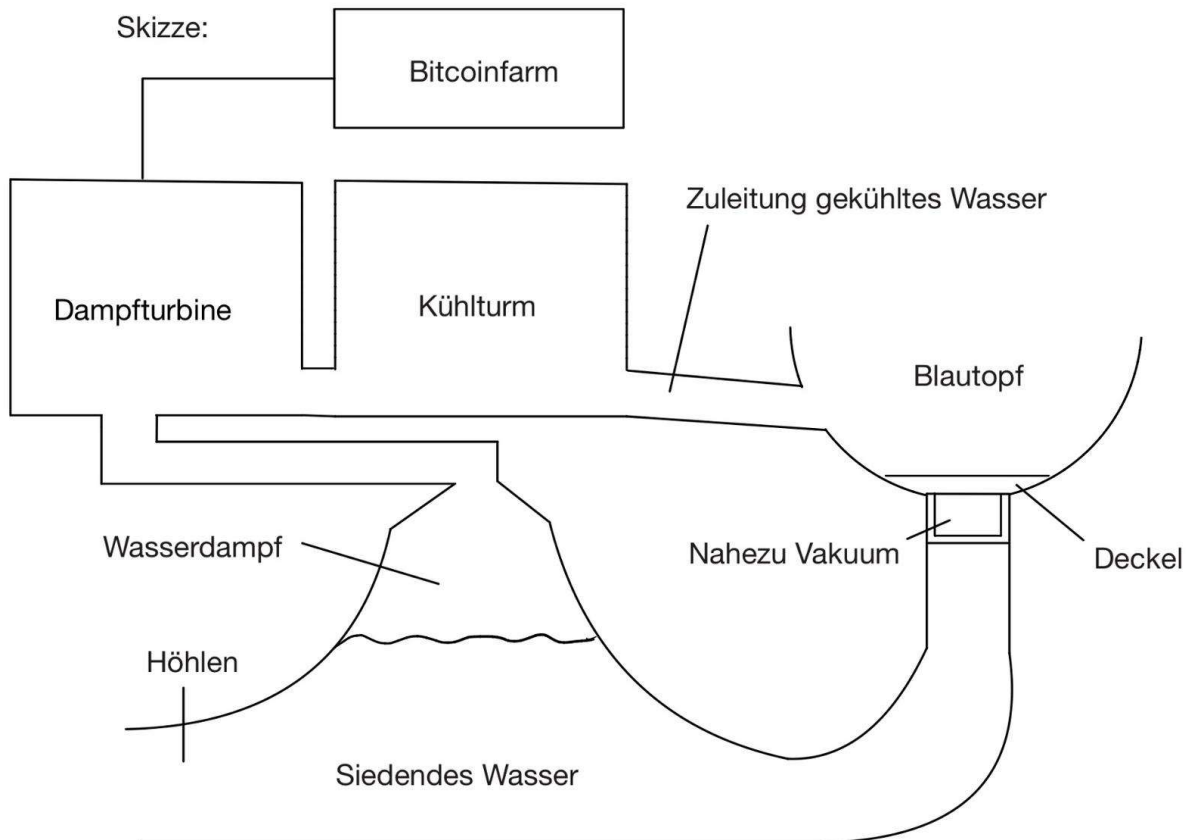
Skizze:



7 NACH 10 JAHREN

Sobald die vulkanische Aktivität dafür sorgt, dass das Wasser in den Höhlen unter dem Blautopf anfängt zu sieden kann damit begonnen werden das Projekt voll auszunutzen. Dafür werden im Vorhinein die Dampfturbine und die Bitcoin-Farm gebaut, um eine Wirtschaftlichkeit aufzubauen. Im Gegensatz zu der Zeit vor dem Sieden des Wassers wird nun kein Wasser mehr direkt in den Kühlturm geleitet, sondern das Wasser, dass in den Höhlen unter dem Blautopf siedet, verdampft. Dadurch kann dieser Dampf in Dampfturbinen zur Stromgewinnung genutzt werden. Der Dampf der schon abgekühlt aus der Dampfturbine kommt wird nun im Kühlturm noch vollständig kondensiert und gekühlt, sodass es wieder in den Blautopf geleitet werden kann und sich dieser nicht

weiter erhitzt und nie die Siedetemperatur erreicht.



8 DAMPFTURBINE

Die maximale Energie, die aus dem Wasser gewonnen werden kann, berechnet sich mit dem Carnot-Wirkungsgrad:

Man kann annehmen, dass der Wasserdampf in der Höhle auf $T_h = 392,15\text{K}$ überhitzt wird und die Turbinen mit $T_k = 295,15\text{K}$ verlässt. (8) (9)

$$\eta_c = 1 - \frac{T_k}{T_h} \Leftrightarrow \eta_c = 1 - \frac{20^\circ\text{C}}{120^\circ\text{C}} \approx 0,24,74$$

Daraus folgt, dass maximal ein Wirkungsgrad von 25% von Wärme zu mechanischer Energie vorliegt (10). Bei einer Wärmekapazität in Wasser von $4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ $2300 \frac{\text{l}}{\text{s}}$ Wasserdurchfluss, ergeben sich 6020MW thermische Leistung. Das ergibt die theoretische maximal Leistung von 1529 MW.

$$\Delta h = h_1 - h_2 = 2700 - 84 \approx 2616 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Wenn das gesamte Wasser verdampft, wird folgende Energie freigesetzt:

$$\dot{Q} = \dot{m} * \Delta h = 2300 * 2616 \approx 6,02 * \frac{10^6 \text{ kJ}}{\text{s}} = 6020 \text{ MW}$$

Somit ergibt sich eine maximale Leistung von:

$$P_{Carnot} = \eta_{Carnot} * \dot{Q} = 0,2474 * 6020 \approx 1529MW$$

Der Überhitzte Dampf wird aus der tiefe mit 120 °C und 2 bar in die Turbine geleitet. Der typische Wirkungsgrad der Turbinen-Generator-Einheit liegt bei rund 50%. Damit ergibt sich eine Elektrische Ausgangsleistung von 764,5 MW. Von dieser Leistung werden noch rund 10 MW für Pumpen, Kühlturm und weiterer Verbraucher abgezogen was eine maximale Ausgangsleistung von 754,5 MW ergibt.

9 BITCOIN-MINING-FARM

Damit der erzeugte Strom so profitabel wie möglich genutzt wird, wird eine mit dem Strom eine Bitcoin-Farm betrieben. Hierfür werden Geräte der neusten Minergeneration von Bitmain verwendet. Zum aktuellen Zeitpunkt handelt es sich hierbei um den Bitmain Antminer S21 pro. Dieser erzielt im Dauerbetrieb einen Tagesumsatz von 7,76€ am Tag (11). Da durch das System keine Stromkosten anfallen erzielt ein einzelnes Gerät genau diesen Betrag als Gewinn. Der durchschnittliche Stromverbrauch bei diesen Geräten liegt bei 3510W. Somit ist es möglich mit dem überflüssigen Strom $\frac{754500KW}{3,51KW} \approx 214.957,265$ also ca. 216.000 Geräte zu betreiben. Somit erzielt man an einem Tag einen Gewinn von $216.000 * 7,76€ \approx 1,68Mio€$. Beachtet werden muss, dass zuerst die Hardware angeschafft werden. Die Kosten hierbei würden sich auf ca.: $216.000 * 3900€ \approx 824Mio€$. (12) Hier muss jedoch beachtet werden, dass die Möglichkeit besteht die Hardware nach und nach zu kaufen, sodass das Risiko des Totalverlusts eliminiert wird. Außerdem muss auch beachtet werden, wann sich die Hardware amortisiert hat, denn erst ab diesem Zeitpunkt wird ein Gewinn generiert.

Kaufpreis ein Gerät: ca.: 3900€; Gewinn pro Tag pro Gerät: 7,76€

Amortierungsrechnung: $\frac{3900€}{7,76€} = 502,5Tage \rightarrow$ Die Geräte sind nach ca.: 1,4 Jahren bezahlt.

Diese Rechnung ist jedoch nur ein Orientierungswert, da der Bitcoin Kurs den Zeitraum beeinflusst in dem sich die Geräte amortisieren. Auch der Gewinn kann im gesamten Zeitraum schwanken.

9.1 Chancen und Risiken der Mining Farm

Da die Miningfarm abhängig von der Volatilität und Marktbewegung der Kryptowährung ist, ist es möglich, dass die Farm effizienter aber auch ineffizienter wird. Somit sollte der Bitcoin Kurs im Auge behalten werden. Außerdem muss auch das Bitcoin-Halving beachtet werden, bei dem die Ausschüttung halbiert wird, und somit die Effizienz der Miner beeinträchtigt. Dieses geschieht ca. alle 4 Jahre und muss bei Anschaffung der Hardware beachtet werden. Wenn sich die Hardware nach einem absehbaren Halving nichtmehr lohnen sollte, muss auf neue Entwicklungen im Hardwareangebot gewartet werden.

10 STROMVERKAUF: ALTERNATIVE GELDGENERIERUNG

Falls sich die Bitcoin-Miner nichtmehr lohnen sollten oder trotzdem Strom übrig ist kann dieser noch zusätzlich ins Netz eingespeist werden. Dabei liegt der aktuelle Strompreis am Spotmarkt bei 84,4€ pro Megawattstunde. Wenn also auf die Bitcoin-Farm verzichtet wird und der ganze Strom ins Netz eingespeist werden würde, würde sich der Gewinn auf $764,5MW * 24h * 84,4€ \approx 1,5Mio€$ belaufen

11 AMORTISIERUNGSRECHNUNG

Im Folgenden soll die Amortisierung des Systems berechnet werden. Hierzu werden folgende Annahmen getätigt: Der Bau des Kraftwerks kostet mit allen Komponenten ca. die Hälfte eines Kohlekraftwerks, da man auf die Brennkammer verzichten kann: 750.000.000€; Der Stromverbrauch zu Betreibung des Kühlturms beläuft sich im Jahr auf ca.: 87.000MW/H; Nach den 10 Jahren werden direkt alle Miner gekauft; Der Bitcoinpreis bleibt im Schnitt gleich; Neue Miner müssen alle 5 Jahre neu gekauft werden; Miner bleiben gleich teuer; Restaurationsarbeiten werden die ersten Jahrzehnte nicht benötigt,

Kosten ersten 10 Jahre:

$$\text{Bau} + \text{Stromkosten Turm} = 750.000.000€ + 7.400.000€ = 757.400.000€$$

Gewinn pro Jahr nach 10 Jahren:

$$\begin{aligned} \text{Minerprofit im Jahr} &= \frac{\text{Beschaffungskosten Miner}}{5} \\ &= 1.68Mio€ * 365 - \frac{824Mio€}{5} \approx 449Mio€ \end{aligned}$$

$$\text{Amortisierung nach: } \frac{\text{Baukosten} + \text{Stromkosten Turm 10 Jahre}}{\text{Jahresprofit}} = \frac{757,4Mi \text{ €}}{449Mio€} \approx 1,7$$

→ Das Kraftwerk hätte sich nach 1,7 Jahren amortisiert.

12 KRITISCHE BETRACHTUNG DER ERGEBNISSE

Die gesamte Rechnung basiert auf idealisierten und teilweise geschätzten Werten. Zudem ist es nicht möglich eine so hohe Anzahl an Bitcoin-Minern auf einmal zu kaufen beziehungsweise diese zu stellen. Realistisch betrachtet ist die Leistung des Kraftwerks vermutlich auch deutlich geringer und man müsste einen Großteil des produzierten Stroms über große Stromtrassen an Orte bringen an denen dieser auch verbraucht werden kann. Zudem ist der Bau dieser Anlage ein großer Eingriff in die Natur, welcher zu Gegenprotesten von Umweltschützern führen kann. Außerdem ist die Entsorgung und Neuanschaffung von Minern sehr Umweltschädlich und mit einem hohen Arbeitsaufwand verbunden.

13 LITERATURVERZEICHNIS

1. Ein türkisblaues Wunder. *Blaubeuren.* [Online]
<https://www.blaubeuren.de/Geopoint-Blautopf>.
2. Kohlekraftwerk Moorburg. *Wikipedia.* [Online]
https://de.wikipedia.org/wiki/Kohlekraftwerk_Moorburg.
3. Heizkraftwerk Altbach / Deizisau. *Wikipedia.* [Online]
https://de.wikipedia.org/wiki/Heizkraftwerk_Altbach/Deizisau.
4. Kühlturm. *Wikipedia.* [Online] <https://de.wikipedia.org/wiki/K%C3%BChlturm> .
5. FriedWald Blaubeuren. *November Vorsorge|Bestattung.* [Online]
<https://november.de/ratgeber/bestattungsarten/waldbestattung/friedwald/blaubeuren/#:~:text=Beschreibung%20des%20Waldgebiets,Ausblicke%20auf%20das%20St%C3%>.
6. Hybridkühlturm. *Wikipedia.* [Online]
<https://de.wikipedia.org/wiki/Hybridk%C3%BChlturm> .
7. Börsenstrompreis am EPEX-Spotmarkt für Deutschland/Luxemburg von Oktober 2023 bis Oktober 2025. *Statista.* [Online]
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/289437/umfrage/strompreis-am-epex-spotmarkt/>.
8. Dampfturbinen SS 2011. *Uni Rostock.* [Online] https://www.wsf.uni-rostock.de/storages/uni-rostock/Alle_MSF/ITU/Downloads/Dampfturbinen.pdf.
9. Dampfturbinen. *Uni Rostock.* [Online] https://www.bio.uni-rostock.de/storages/uni-rostock/Alle_MSF/ITU/Downloads/Therm_SM/SS18/Dampfturbinen_Webersinke_I_2018.pdf.
10. Carnot Wirkungsgrad. *Wikipedia.* [Online] <https://de.wikipedia.org/wiki/Carnot-Wirkungsgrad>.
11. Rentabilitätsrechner. *niceHASH.* [Online]
<https://www.nicehash.com/profitability-calculator/bitmain-antminer-s21-pro>.
12. BITMAIN ANTMINER S21 PRO. *Millionminer.* [Online]
<https://www.millionminer.com/bitmain-antminer-s21-pro-234th-3510w-bitcoin-miner-kaufen.html?language=de>.
13. Blaubeuren. *Geopoint Blautopf.* [Online] <https://www.blaubeuren.de/Geopoint-Blautopf>.
14. Innere Energie - Wärmekapazität. *LEIFIPhysik.* [Online]
<https://www.leifiphysik.de/waermelehre/innere-energie-waermekapazitaet/grundwissen/spezifische-waermekapazitaet>.
15. Generator. *RP-Energie-Lexikon.* [Online] <https://www.energielexikon.info/generator.html>.

16. **Stromgestehungskosten in Deutschland im Vergleich 2025.** *Gruenes Haus.* [Online] <https://gruenes.haus/stromgestehungskosten/>.

17. **mechanische Antriebstechnik.** *AutomationNext.* [Online] <https://www.automation-next.com/antriebstechnik-mechanik/mechanische-antriebstechnik/die-dampfmaschine-127.html>.

18. **Wärmekraftmaschinen.** *LEIFIPhysik.* [Online] <https://www.leifiphysik.de/waermelehre/waermekraftmaschinen/ausblick/dampf-turbine>.

19. **Kategorie:Dampfturbine.** *Wikipedia.* [Online] <https://de.wikipedia.org/wiki/Kategorie:Dampfturbine>.