

Wettbewerb PlaNeT SimTech

Team: 7325

29.11.2025

PlaNet SimTech

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?

29.11.2025

1. Inhaltsverzeichnis

1. Inhaltsverzeichnis 2

2. Einführung 3

3. Hauptteil

Zusammenfassung:

2. Einführung in die Thematik:

Der Blautopf ist eine Karstquelle, die am Ostrand der Schwäbischen Alb im Norden der Stadt Blaubeuren liegt. Der Blautopf ist ein Wahrzeichen der Stadt und dort sehr beliebt. Zudem geht aus dem Blautopf der Fluss Blau hervor, der später auch in die Donau fließt.

Soweit so gut. Allerdings zeigen neue Messungen, dass in der Tiefe die Wassertemperatur zunehmend steigt und in 10 Jahren sogar kochen soll. Das hätte nicht nur verheerende Auswirkungen auf das Ökosystem im Blautopf, sondern auch auf den Fluss Blau und die ganze umliegende Region.

Mit steigender Wassertemperatur stellt sich nun die Frage, wie man dauerhaft, kostengünstig und wirtschaftlich verhindern kann, dass das Wasser im Blautopf den Siedepunkt erreicht.

3. Hauptteil:

3.1. Annahmen und Voraussetzungen:

Zunächst muss geklärt werden, wie viel Wasser gekühlt werden muss, wie das Wasser in den Blautopf gelangt und wie viel Grad das Wasser am Grund des Blautopfes beträgt.

Der Blautopf ist eine Karstquelle, also ein Austrittspunkt von unterirdischem Wasser aus einem unterirdischen Höhlensystem. Dieses Wasser war einst Regenwasser, welches durch durchlässiges Kalkgestein durchsickert und schließlich in dem Höhlensystem landet. Folglich variiert die Schüttung des Blautopfs stark, je nach Wetterlage. Die Quelle schüttet durchschnittlich circa 2.300 Liter in der Sekunde aus. Bei starkem Regen schüttet die Quelle sogar bis zu 30.000 Liter pro Sekunde aus.

$$-2.300 \text{ l/s} * 3.600 = 8.280.000 \text{ l/h} * 24 = 198.720.000 \text{ l/d} * 30,44 = 6.049.036.800 \text{ l/m}$$

Bei einer durchschnittlichen Wasserschüttung gelangen 6.049.036.800 Liter in den Blautopf pro Monat

$$-30.000 \text{ l/s} * 3.600 = 108.000.000 \text{ l/h} * 24 = 2,592 * 10^9 \text{ l/d} * 30,44 = 2,559 * 10^{11} \text{ l/m}$$

Bei der maximalen möglichen Wasserausschüttung gelangen pro Monat circa $2,559 * 10^{11}$ Liter in den Blautopf.

Der Blautopf hat eine Wasser-Zufuhr-Quelle, die eben das unterirdische Höhlensystem ist. Von da fließt das Wasser in den Blautopf. Das Wasser wird vorher in diesem Höhlensystem durch die vulkanische Aktivität erwärmt.

Wir gehen davon aus, dass das Wasser aktuell bereits eine Temperatur von 10°C besitzt und in 10 Jahren kocht, also eine Temperatur von 100°C besitzt.

$$-100^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C} = 90^{\circ}\text{C}$$

$$-90^{\circ}\text{C}: 20 = 4,5^{\circ}\text{C}$$

Das Wasser erwärmt sich also in einem Zeitraum von 6 Monaten (einem halben Jahr) um 4,5 °C.

3.2.1 Konzept der Wasserkühlung

Wir haben uns dafür entschieden, das Wasser, das durch die vulkanischen Aktivitäten erwärmt wird, für den Betrieb von Wärmepumpen zu verwenden, um zum einen Energie daraus zu gewinnen, und im Umkehrschluss das Wasser auf die gewünschte Temperatur abzusenken. Dafür benutzen wir eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe. Wasser-Wasser-Wärmepumpen funktionieren, indem sie die Wärmeenergie des Grundwassers (in unserem Fall das warme Wasser, das in den Blautopf tritt) mittels eines Wärmetauschers auf ein Kältemittel übertragen. Dieses Kältemittel verdampft durch die Wärmeaufnahme und wird komprimiert. Das Komprimieren von Gasen lässt die sich schnell bewegenden Atome öfter zusammentreffen, wodurch die Temperatur stark ansteigt. Diese Wärmeenergie kann man dann wiederum für Warmwasserbereitung verwenden. Das ursprünglich benutzte Wasser wird durch den Wärmeaustausch abgekühlt und kann dann in den Blautopf geschleußt werden. Da das Grundwasser dauerhaft wärmer wird, kann man im Laufe der Jahre immer mehr Energie daraus gewinnen.

Zur Berechnung der gewonnenen Energie benutzen wir die Formel

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Q steht für die gewonnene Energie in kJ/s

c steht für die spezifische Wärmekapazität von Wasser, also 4,186 kJ/(kgK)

m steht für die Masse des Wassers in kg/s

ΔT steht für den Temperaturunterschied in K

Da wir nach dem 1. Jahr einen Temperaturunterschied von 9K haben und im Durchschnitt 2300L/s in den Blautopf fließt, können wir einsetzen:

$$4,186 \text{ kJ/(kgK)} \cdot 2300 \text{ kg/s} \cdot 9 \text{ K} = 86\,650,2 \text{ kJ/s}$$

86 650,2 kJ entsprechen ca. 24 kWh, heißt wir gewinnen im 1. Jahr ca. 24kWh/s

| Zeit in Jahren | Wärmedifferenz in K | Entstehende Energie pro s in kWh |
|-----------------------|--------------------------------|---|
| 1 | 9 | 24 |
| 2 | 18 | 48 |
| 3 | 27 | 72 |
| 4 | 36 | 96 |
| 5 | 45 | 120 |
| 6 | 54 | 144 |
| 7 | 63 | 168 |
| 8 | 72 | 192 |
| 9 | 81 | 216 |
| 10 | 90 | 240 |

3.2.2 Energieverbrauch der Wasser-Wasser-Wärmepumpe

Um den Stromverbrauch einer Wärmepumpe zu berechnen verwendet man die Formel

Heizleistung (kW) / JAZ * Heizstunden pro Jahr

Wir verwenden sowohl für die Heizleistung, als auch für den JAZ Durchschnittswerte benutzt

$(10 \text{ kW} / 4) * 8766 = 21\,915 \text{ kWh}$

Man bräuchte für den jährlichen Betrieb ca 21 915 kWh.

3. Tunnelsystem:

Um gute Warmwasserrohre zu haben, sollte man CPVC_Rohre benutzen, da diese sehr Hitzebeständig sind. CPVC-Rohre kosten circa pro 50 cm und mit einer Dicke von 90 mm 137,79 Euro. Wir gehen davon aus, dass wir eine Strecke von 3000 Metern verlegen müssen.
-300.000 cm: $50\text{cm} = 6000\text{ cm} * 139,79 = 838740\text{ Euro}$
Die Kosten der Rohre beziehen sich also auf 838740 Euro.

4. Bau des Wasserspeichers:

Einen Wasserspeicher braucht man, um das Wasser, welches von der Wärmepumpe erwärmt wurde zu speichern. Dieses Wasser kann dann der Stadt Blaubeuren zum Heizen oder für Warmwasser zur Verfügung stehen. Um die Größe des Wasserspeichers zu ermitteln, kann man davon ausgehen, dass eine Person circa 33 Liter pro Tag verbraucht. Im Stadtkern von Blaubeuren leben ungefähr 5.600 Menschen.

$$-5.600 * 331 = 184800\text{ l}$$

Es wird also ein Wasserspeicher mit einer Kapazität von 184800 l benötigt.

Wenn es um die Art des Wasserspeichers geht, gibt es die Möglichkeit einen Kombispeicher, der die Funktionen eines Pufferspeichers und eines Wärmespeichers kombiniert oder einfach nur einen Wärmespeicher.

Wenn es um die Kapazität geht, sind Größen von maximal 2.000 Litern bei einem Kombispeicher oder bis maximal 10.000 Litern bei einem Wärmespeicher üblich.

Um das Kapazitätsproblem zu lösen gibt es zwei Möglichkeiten. Entweder muss eine Spezialanfertigung eines Speichers, der dann eine Kapazität von 184800 l hat, oder man benutzt mehrere Speicher, die mit einander verbunden werden.

In unseren Fall entscheiden wir uns für mehrere Wärmespeicher, da diese günstiger sind.

$$-184800:2000=92,4=93\text{ Wärmespeicher}$$

Wenn man Wärmespeicher mit einer Kapazität von 2.000 l nimmt, braucht man 93 Wärmespeicher.

Ein Wärmespeicher mit einer Kapazität von 2000 Litern hat ungefähr einen Umfang von 3 Metern.

$$- 3 * 93 = 297$$

Insgesamt brauchen die Wärmespeicher also einen Platz von 300 m.

5. Kosten

6. Diskussion unseres Konzeptes:

Um die Wassertemperatur des Blautopfes konstant bei 9 °C zu halten, schlagen wir vor, eine Wärmepumpe einzusetzen, die das Wasser, das aus dem Höhlensystem austritt, unterirdisch herunterkühlt. Dabei entzieht die Wärmepumpe dem Wasser Wärmeenergie, die anschließend

genutzt werden kann, um Grundwasser zu erwärmen. Dieses erwärmte Grundwasser kann in der Stadt Blaubeuren zum Heizen oder für andere Zwecke verwendet werden.

Für die Kühlung großer Wassermengen existieren verschiedene technische Möglichkeiten, die jeweils eigene Vor- und Nachteile aufweisen. In unserem Konzept wird die entzogene Wärme weiterverwendet. Dadurch lassen sich zwar nicht direkt die Kosten unserer Anlage reduzieren, jedoch können andere Ausgabenbereiche der Stadt Blaubeuren – wie Heizungs- und Warmwasserkosten – deutlich gesenkt werden. Das eingesparte Geld kann wiederum zur Finanzierung unseres Projekts beitragen.

Die Baukosten für die Wärmepumpe, die Rohrleitungen und den Wärmespeicher sind zwar zunächst höher, allerdings ergeben sich langfristig Einsparungen, insbesondere bei den Heizkosten. Ein weiterer Punkt ist der Platzbedarf der technischen Anlagen. Da jedoch die Wärmepumpe, die Rohrsysteme und auch die Wärmespeicher unterirdisch installiert werden können, bleibt das Stadtbild vollständig erhalten.

Insgesamt ist es eine Herausforderung, ein Konzept zur Kühlung großer Wassermengen zu finden, das gleichzeitig effizient, wirtschaftlich und kostengünstig ist. Unser Projekt beeinträchtigt das Stadtbild nicht und schadet somit auch nicht der touristischen Bedeutung des Blautopfes. Zudem ermöglicht es eine langfristige Kühlung des Wassers – auch bei steigenden Temperaturen. Zwar sind die anfänglichen Investitionskosten hoch, doch amortisieren sie sich im Laufe der Zeit, da eine Wärmepumpe über viele Jahre genutzt werden kann und die Stadt Blaubeuren die gewonnene Wärme zur Heiz- und Warmwasserversorgung einsetzen kann.

Schlussfolgerung:

Mit dem von uns entwickelten Konzept lässt sich die Wassertemperatur des Blautopfes dauerhaft auf **9 °C** stabil halten. □ Hierzu wird eine **unterirdisch installierte Wasserpumpe** eingesetzt, die dem durch vulkanische Prozesse erwärmten Wasser Wärme entzieht. Diese gewonnene Wärmeenergie wird anschließend genutzt, um das Grundwasser von Blaubeuren zum Heizen oder für andere Anwendungen zu erwärmen.

Auf diese Weise wird das warme Wasser dort **abgekühlt**, wo die Wärme unerwünscht ist, und **erwärmt**, wo sie benötigt wird. Das so erwärmte Grundwasser wird in **Wärmespeichern** zwischengelagert und bei Bedarf über **CPVC-Rohre** in die Stadt transportiert.

Zwar existieren auch andere technische Lösungen, etwa Konvektion oder thermodynamische Generatoren, doch sind wir der Überzeugung, dass unser Konzept die **effizienteste, kostengünstigste und wirtschaftlich sinnvollste** Variante darstellt.

Literaturverzeichnis:

Rohre: https://de.grandado.com/products/cpvc-rohr-hallo-wasser-versorgung-rohr-bewasserung-fisch-tank-cpvc-rohr-aquarium-abflussrohr-wasser-rohr-1pcs-50cm?gad_source=1&gad_campaignid=17182770460&gbraid=0AAAAABzEFFGOHt8EaYeB5y8I5g2KY37Nc&gclid=Cj0KCQiA0KrJBhCOARIsAGIy9wAVjQMXVQP-dcTeSiRYxc4-9gKLAfMMrZfSDSwWQn90wGP6E-nWhOYaAk1EEALw_wcB&variant=UHJvZHVjdFZhcmIhbnQ6NDMzMtAxNzI5

<https://www.professionalplastics.com/de/CPVCPipe.html>

<https://www.solarwatt.de/ratgeber/wasser-wasser-waermepumpe>

https://de.wikipedia.org/wiki/Spezifische_Waermekapazitaet

<https://www.buderus.de/de/waermepumpe/wasser-wasser-waermepumpe>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Blautopf>

<https://www.bosch-homecomfort.com/de/de/wohngebaeude/wissen/>

Formelsammlung Freiburger Verlag

Das Große Tafelwerk Cornelsen