

Kurzfassung

Title:

Wissenschaftliche Studie zur geothermischen Nutzung von Grubenwässern aus Entwässerungsstollen des Mansfelder Reviers für die Gebäudeklimatisierung

Prof. Dr. rer. nat. Matthias Hoffmann

Fakultät Kraftfahrzeugtechnik / Institut für Energie und Verkehr

Westfälische Hochschule Zwickau

No: 4.2.12

No:



Name: Bildungswerk der Unternehmensverbände
Sachsen-Anhalt e.V.

Address: Georg-Kaiser-Straße 3, 39116 Magdeburg

Phone: +49 391 598 17 20

e-mail: info@bdu-international.de

web site: www.bdu-international.de

date and place: 07-10/2012, Lutherstadt Eisleben

Projektmanager
Dr. sc. oec. Lutz Koch

Inhalt:



- 1.0. **Aufgabenstellung**

- 2.0. **Auswahl und Klassifikation der Grubenwasservorkommen des ehemaligen Mansfelder Kupferbergbaus**

- 3.0. **Projekt zur geothermischen Nutzung von Grubenwasser zur Energieversorgung von Gewerbegebieten am Beispiel des Schlüsselstollens bei Friedeburg**
 - 3.1. **Vorstellung des Grubenwasserstandortes Mundloch – Schlüsselstollen bei Friedeburg**
 - 3.2. **Szenario zur geothermischen Klimatisierung eines Gewerbegebietes**

- 4.0. **Betriebswirtschaftliche Bewertung des Szenario**
 - 4.1. **Investitionskosten**
 - 4.2. **Betriebskostenvergleich**
 - 4.3. **Ökologische Bewertung**

- 5.0. **Zusammenfassung**

1.0. Aufgabenstellung

Ziel der Studie ist es, Szenarien zu analysieren, um den CO₂-Ausstoßes durch die verstärkte Anwendung von Wärme aus natürlichen Quellen zu senken. Die wissenschaftlichen Untersuchungen betrachten Grubenwasserableitungen in unterirdischen Stollen des Mansfelder Kupferbergbaugesbietes, um Nutzungsmöglichkeiten für die Gebäudeklimatisierung zu erschließen. Grundlage der Studie sind Ergebnisse eines Ressource-Projektberichts in dem Wassereigenschaften und Volumenströme zugänglicher Vorkommen beschrieben und für die geothermische Gebäudeheizung bewertet worden sind. In der beauftragten Studie sind technische Lösungen zum Wärmeaustausch und der Wärmeverteilung an Verbraucher zu erarbeiten und in Bezug auf ihre Wirtschaftlichkeit und die ökologische Wirksamkeit zu bewerten. Neben dem Einsatz der Anlagen zur Gebäudeheizung sind auch Szenarien zu untersuchen, bei denen neben der Heizung auch eine Kühlung der Gebäude erforderlich ist. Die zur Kühlung abzuführende Wärme ist zuerst anderen Nutzern zur Verfügung zu stellen. Restwärme ist an das Grubenwasser abzugeben.

2.0. Auswahl und Klassifikation der Grubenwasservorkommen des ehemaligen Mansfelder Kupferbergbaus

In der ReSource-Machbarkeitsstudie ¹zur geothermischen Nutzung der Grubenwässer im Landkreis Mansfeld-Südharz sind 18 Grubenwasserstandorte auf ihre montanhydrogeologische und infrastrukturelle Eignung zur Wärmeversorgung untersucht worden. In allen Fällen handelt es sich um Fließgewässer, die der Grubenentwässerung ehemaliger Kupfererzgruben dienen. Wesentliche Restriktionen für die Nutzung sind:

- Wasserqualität
- Volumenstrom des Grubenwassers im Stollen
- Zugänglichkeit von übertage
- Übertägige Infrastruktur, die für eine Nutzung einen Bedarf hat.

Die Wässer weisen einen hohen Salzgehalt auf. Gelöste Bestandteile sind für viele Wärmetauscher in handelsüblichen Wärmepumpen problematisch und führen zu einem

¹ Zusammenfassung im Vortrag „Grubenwasser-Geothermie im Mansfelder Land“, L. Koch, Freiberg, 15. 6. 2012

erhöhten Verschleiß. Dem kann durch den Einsatz resistenter Materialien für die Herstellung der Wärmetauscher begegnet werden. Wirtschaftlich wird der Anschluss der Wärmepumpen über einen hydraulischen Zwischenkreis sein.

Die Volumenströme der in der ReSource-Studie untersuchten Vorkommen waren teilweise gering, so dass eine wirtschaftliche geothermische Nutzung ausgeschlossen werden kann. Als untere Schwelle für eine Nutzung ist ein Volumenstrom von 0,3 m³/min empfohlen worden. Den ergiebigsten Wasserstrom von 20 m³/min hat der Schlüsselstollen bei Friedeburg.



Abb. 1: Lage in der ReSource-Studie untersuchter Grubenwasserstandorte

Für die Vorkommen kann die potentielle Wärmeentzugsleistung festgestellt werden, wenn die

- Abkühlung des Wasserstromes bei Wärmentzug um 1 K oder die
- Erwärmung bei Wärmeeinleitung um 1 K

nicht überschritten werden sollen.

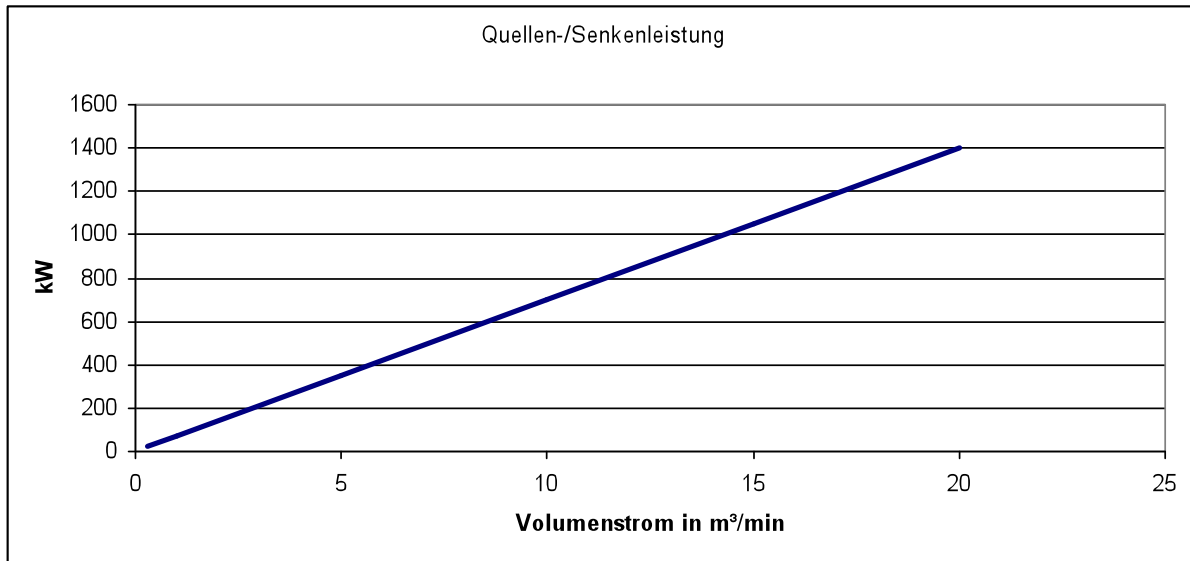


Abb. 2: Leistung bei Änderung der Wassertemperatur um 1 K

An der unteren Schwelle nutzungswürdiger Vorkommen wird bei 0,3 m³/min eine Leistung von 21 kW übertragen. Am Standort mit einem Volumenstrom von 20 m³/min kann ein Wärmestrom von 1400 kW ausgetauscht werden.

Die Leistung, die dem Nutzer übertragen werden kann, hängt weiterhin von den Temperaturen der Quelle und den Anwendungstemperaturen des Nutzers ab. Für die Beheizung sind Vorlauftemperaturen zwischen 35 °C und 55 °C zurzeit üblich. Soll außerdem Warmwasser bereitgestellt werden, muss es aus hygienischen Gründen auf mindestens 60 °C erwärmt werden können. Das kann mit Wärmepumpen erfolgen, die in einem thermodynamischen Kreisprozess durch Zuführung von Energie die Temperatur anheben können.

3.0. Projekt zur geothermischen Nutzung von Grubenwasser zur Energieversorgung von Gewerbegebieten am Beispiel des Schlüsselstollens bei Friedeburg

Für die weiteren Untersuchungen in der Studie soll der Einsatz des Grubenwassers zur Heizung und Kühlung in einem Gewerbegebiet mit einer Wärme- und einer Kälteleistung im

Bereich von 0,8 MW untersucht werden. Dafür ist ein Grubenwasservorkommen, wie es der Schlüssel-Stollen bei Friedeburg bietet, geeignet.

3.1. Vorstellung des Grubenwasserstandortes Schlüsselstollen bei Friedeburg

Der Schlüssel-Stollen ist der für die Mansfelder Mulde tiefste mögliche Stollen mit einem niveaugleichen Anschluss an einen Vorfluter. Er wurde etwa 1 km westlich der Saale bei Friedeburg an der Schlenze angesetzt. Er liegt lediglich nur 4 m über der Hochwassermarke der Saale bei 71,7 m über NN.

Der Schlüssel-Stollen ist mit einer Länge von 32,3 km einer der längsten bergmännisch hergestellten Stollen in Europa. Er wurde auf seinem etwa halbkreisförmigen Verlauf entlang des ausgehenden des Kupferschiefers vom Mundloch über Gerbstedt, Hettstedt, Klostermansfeld und Helbra bis nach Eisleben maximal rd. 185 m unter dem Geländeniveau angelegt und weist ein Gefälle von 7,9 m (das sind nur 0,24 m/km) auf. Damit ist er auch ein imponierendes, im internationalen Vergleich hochrangiges Denkmal für die Kunst der Bergleute und das Ingenieurwissen des 18. und 19. Jahrhunderts.





Abb. 3: Mundloch des Schlüßelstollens

Der Schlüßel-Stollen ermöglichte mit der Abführung von durchschnittlich 80 m³/min bis 90 m³/min in den Jahren um 1890 bis 1900 den Erhalt des Mansfelder Bergbaus während einer Phase der großen Wassereinbrüche am Ende des 19. Jahrhunderts. Auch heute noch erfüllt der Schlüßel-Stollen mit der Abführung von 20 m³/min bis 25 m³/min Grubenwasser aus der seit 1981 gefluteten Mansfelder Mulde seine Pflicht bei der Erhaltung des bestehenden hydrologischen Zustands.

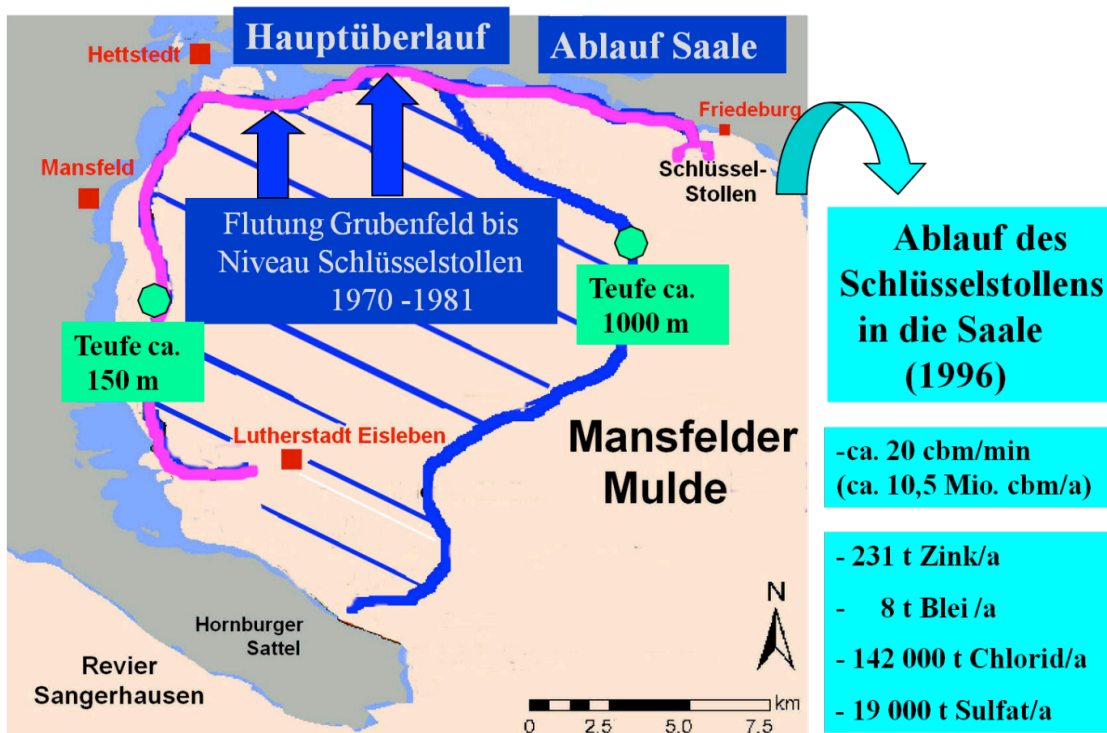


Abb. 4: Das luftgefüllte Grubenfeld oberhalb des Schlüssel-Stollens

Der Austritt des Schlüssel-Stollens bietet einen ausreichenden Wasserstrom, um eine energetische Nutzung mit einer Leistung von 1,4 MW zu betreiben, ohne die Temperatur am Auslauf um mehr als ein Kelvin zu senken. Da er bei Friedeburg zutage tritt, ist der Zugang ohne aufwändige bergbauliche Maßnahmen möglich. Diese Voraussetzungen prädestinieren den Standort für eine wirtschaftliche geothermische Nutzung.

3.2. Szenario zur geothermischen Klimatisierung eines Gewerbegebietes

Die Satellitenaufnahme in Abb. 5 zeigt die Austrittsstelle des Schlüssel-Stollens nahe Friedeburg. Gut zu erkennen ist das kanalisierte Flussbett, bevor sich das Wasser in den Vorfluter, das Flüsschen Schlenze ergießt.

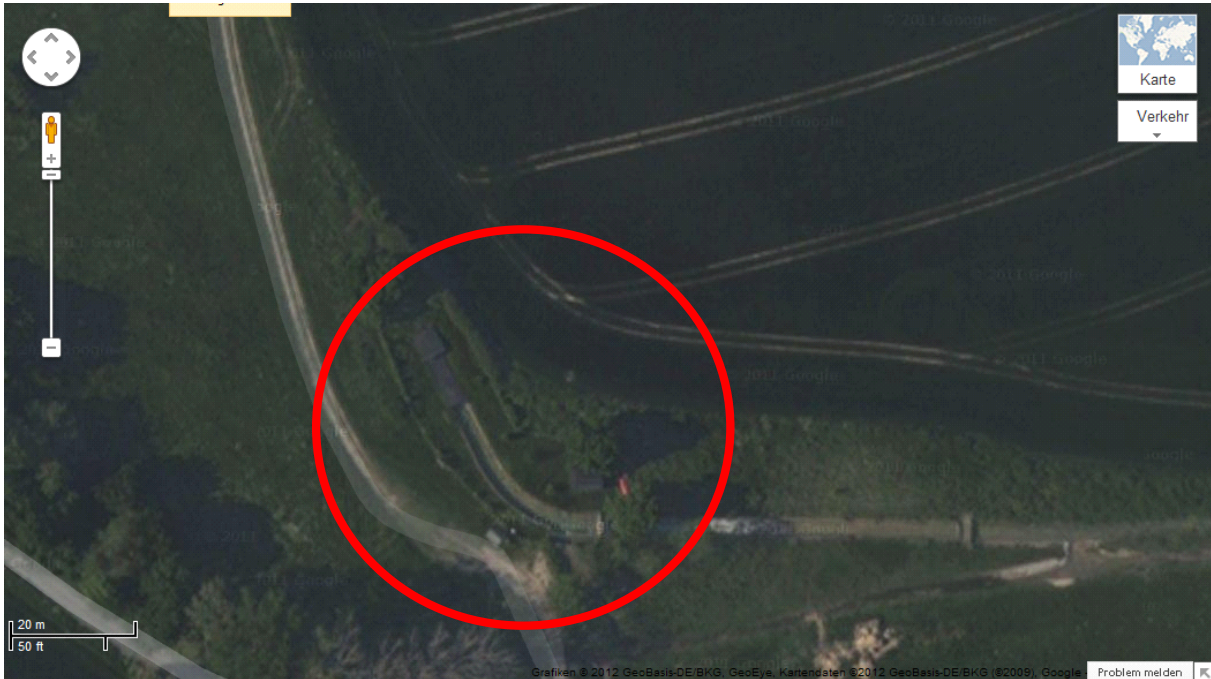


Abb. 5: Satellitenaufnahme Austritts des Schlüsselstollens über Tage²

In der Umgebung des Mundloches befindet sich eine Fläche, die offensichtlich zurzeit landwirtschaftlich genutzt wird. Das Grubenwasser des Schlüssel-Stollens, das mit einem Volumenstrom von 20 m³/min und Temperaturen zwischen 8 und 12°C zur Verfügung steht, kann ganzjährig genutzt werden. Bei den angetroffenen Temperaturen sind sowohl ein wirtschaftlicher Wärmeentzug im Winter als auch Wärmeaufnahme im Sommer zu Kühlzwecken möglich.

² Quelle Google Maps, 31. 7. 12

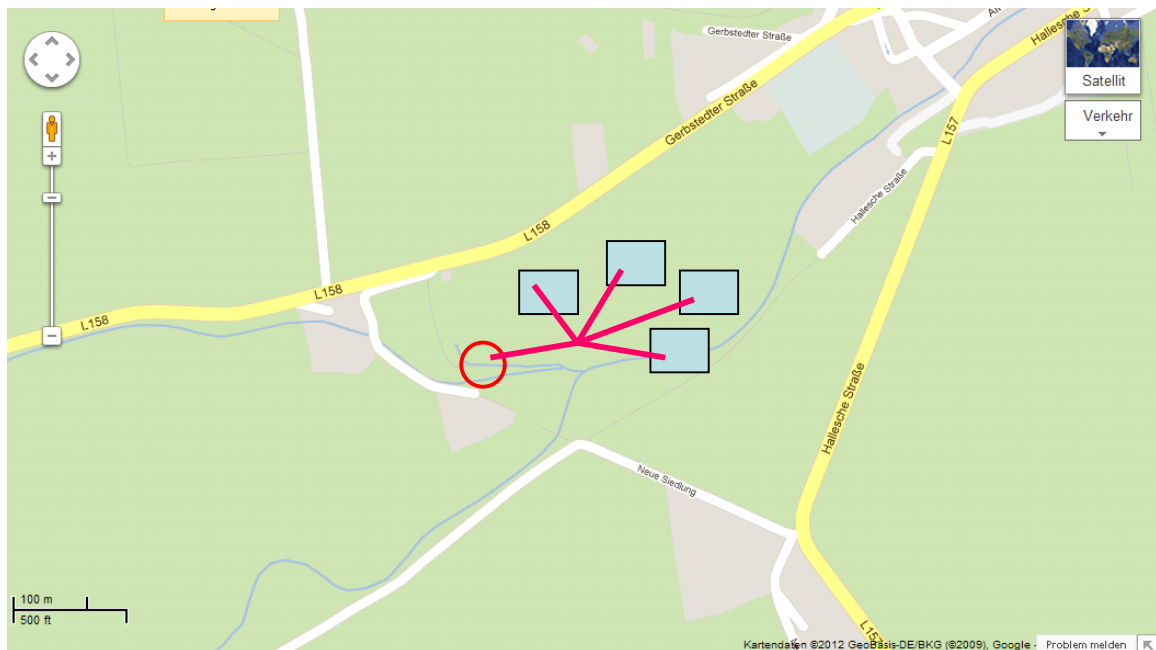


Abb. 6: Experimentelle Anordnung eines zu versorgenden Gewerbegebietes auf einer derzeitigen Freifläche³

In der vorliegenden Studie soll das Gewerbegebiet wie in Abb. 6 dargestellt, angeordnet sein. Vier Gewerbebetriebe werden mit thermischer Energie über ein Thermisches Smart Grid versorgt. Bei angemeldetem Wärme- oder Kältebedarf werden über das Netz Wärmeströme zwischen den angeschlossenen Teilnehmern ausgetauscht oder durch Kapazitäten der Wärmeüberlagerstation am Schlüsselstollen gedeckt. Die Anschlussleistungen für die Wärmeversorgung der Betriebe betragen in Summe 600 kW in folgenden Temperaturbereichen:

- 200 kW Dauerlast für technologische Zwecke mit einer Vorlauftemperatur von 50 °C
- 400 kW zum Gebäudeheizung – witterungsabhängig.

Ähnlich ist in der Studie auch der Kältebedarf strukturiert. Die maximale Leistung beträgt 600 kW mit der Aufteilung nach Temperaturbereichen:

- 200 kW Dauerlast für technologische Zwecke mit einer Vorlauftemperatur von 12 °C

³ Vorlage Google Maps, 31. 7. 12

- 400 kW zum Gebäudeklimatisierung – witterungsabhängig.

Für die Bereitstellung der Wärme und Kälte werden umschaltbare Wärmepumpen eingesetzt. Die Steuerung übernimmt die Bereitstellung der Wärme in den geforderten Temperaturbereichen. Für die energetischen Betrachtungen ist es von untergeordneter Bedeutung, ob in einem Gebäude mehrere Geräte für die Bereitstellung der unterschiedlichen Temperaturniveaus arbeiten, oder eine Lösung mit einer Kombination aus einer Maschine und mehreren Speichern gewählt wird. Vorausgesetzt wird allerdings, dass Wärmebedarfe und Wärmefreisetzung möglichst nahe am Ort der Entstehung ausgeglichen werden, um Wärmetransporte über das Leistungsnetz zu minimieren. Die energetische Bilanz wird durch die Wärmetauscheranlage am Schlüsselstollen ausgeglichen.

4.0. Betriebswirtschaftliche Bewertung des Szenario

4.1. Investitionskosten

In den bisherigen Betrachtungen sind stets summarische Energiebedarfswerte diskutiert worden. Bei der Abschätzung der Investitionskosten sind die Größe der Einzelanlage und die individuelle Ausstattung wesentliche Kostenfaktoren. Vereinfachend soll von vier gleich ausgestatteten Anlagen zu Versorgung ausgegangen werden.

Pos.		EP		Thermisches Smart Grid	Heizkessel und Kälteerzeugung
1	Wärmepumpe	150 kW	45.000 €	4	180.000 €
2	Bivalenter Knoten		15.000 €	4	60.000 €
3	Multivalenter Knoten		25.000 €	1	25.000 €
4	Leitungen DN 100		200 €	400	80.000 €
5	Leitungen DN 200		250 €	100	25.000 €
6	Wärmetauscherstation	400 kW	60.000 €	1	60.000 €
7	Heizkessel	150 kW	38.000 €	4	152.000 €
8	Kältemaschine mit Kühlturm	150 kW	68.000 €	4	272.000 €
Summe				430.000 €	424.000 €

Die Investitionskosten der konventionellen Lösung sind nur unwesentlich geringer als die der Thermischen-Smart-Grid-Lösung. Die konventionelle Lösung benötigt je ein Gerät für die

Wärme- und die Kälteerzeugung. Die umsteuerbare Wärmepumpe kann sowohl Wärme des Verbrauchers abführen als auch Wärme für die Heizung liefern.

4.2. Betriebskostenvergleich

In diesen Gliederungspunkt werden die Betriebskosten abgeschätzt. Zugrunde liegen die Verbrauchskosten, die nach den Bedarfswerten für das Thermische Smart Grid und die konventionelle Lösung mit folgenden spezifischen Energiepreisen ermittelt werden:

Tarif elektrischer Strom	0,19 €/kWh
Tarif Erdgas	0,07 €/kWh

Betriebsbedingte Kosten enthalten die geschätzten jährlichen Wartungskosten.

Pos.	EP	Menge	Thermisches Smart Grid	konventionelle Lösung
Thermisches Smart Grid				
1.1. Elektroenergie	0,19 € /kWh	643160 kWh	122.200 €	
1.2. Wartung Wärmepumpe	5.000 € /a	4	20.000 €	
Wartung				
1.3. Grubenwasserwärmeübertrager	10.000 € /a	1	10.000 €	
1.4. Wartung Netzknoten	2.000 € /a	6	12.000 €	
Konventionelle Lösung				
2.1. Elektroenergie	0,19 € /kWh	480945 kWh		91.380 €
2.2. Gas	0,07 € /kWh	3204565 kWh		224.320 €
2.3. Wartung Heizkessel	1.000 €	4		4.000 €
2.4. Wartung Kälteerzeuger	5.000 € /a	4		20.000 €
Summe			164.200 €	339.699 €

Der Wirtschaftlichkeitsvergleich wird mittels Annuitätsverfahren durchgeführt. Der Kalkulationszinssatz ist mit 5%, die Nutzungsdauer mit 20 Jahren angesetzt worden.

Kalkulationszinssatz	5%
Nutzungsdauer	20 a
Annuitätsfaktor	0,08

	Thermisches Smart Grid	konventionelle Lösung
Investition	430.000 €	424.000 €
Auszahlungen	164.200 €	339.699 €
Jährliche Gesamtzahlung	198.705 €	373.722 €

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung sind in folgendem Diagramm dargestellt:

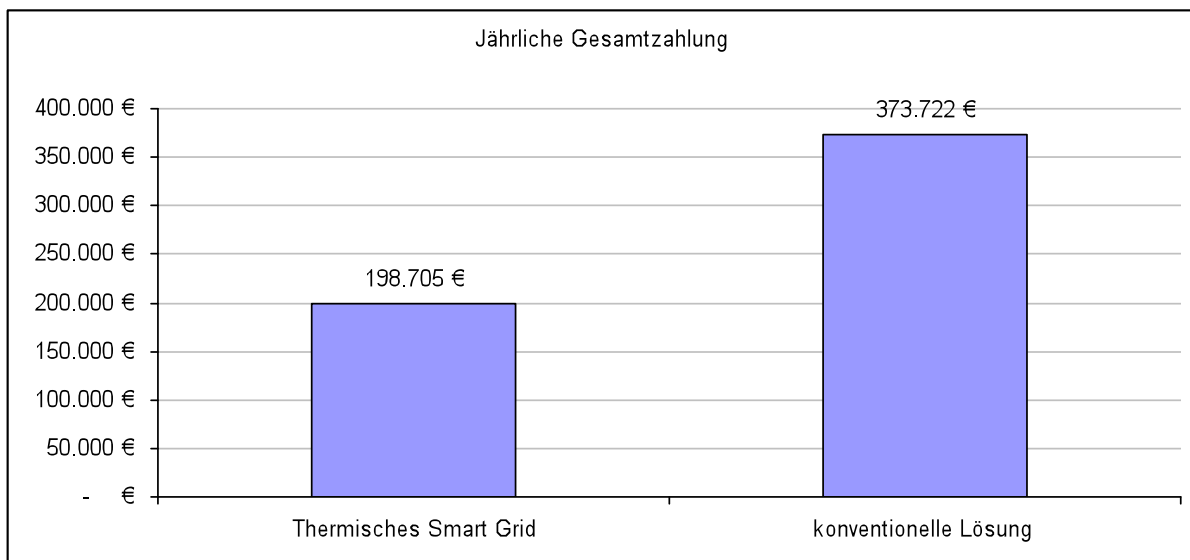


Abb. 7: Gegenüberstellung der jährlichen Gesamtzahlungen

Die Betriebskosten fallen für das Thermische Smart Grid sehr niedrig aus, da für die Heizung Abwärme der technologischen Kälteerzeugung mit hoher Arbeitszahl genutzt wird. Die Kühlkosten sind ebenfalls wesentlich geringer, da die gesamte Raumkühlung mit Grubenwasser erfolgt.

4.3. Ökologische Bewertung

Die ökologische Bewertung der Lösungen stützt sich auf die spezifischen CO₂-Emissionswerte für Strom und Erdgas.

Erdgas: 0,215 kg/kWh
Strommix UCTE: 0,5148 kg/kWh

Mit den ermittelten Jahresbedarfswerten für den Strom- und Erdgasverbrauch ergeben sich für die zu vergleichenden Lösungen folgende CO₂-Emissionen:

Pos.	Spezifische CO ₂ -Emission	Menge	Thermisches Smart Grid	konventionelle Lösung
Thermisches Smart Grid				
1.1. Elektroenergie	0,515 kg /kWh	643160 kWh	331,1 t	
Konventionelle Lösung				
2.1. Elektroenergie	0,515 kg /kWh	480945 kWh		247,6 t
2.2. Gas	0,215 kg /kWh	5 kWh		689,0 t
CO₂-Emission			331,1 t	936,6 t

Die CO₂-Emission des Thermischen Smart Grid beträgt ca. ein Drittel der konventionellen Lösung.

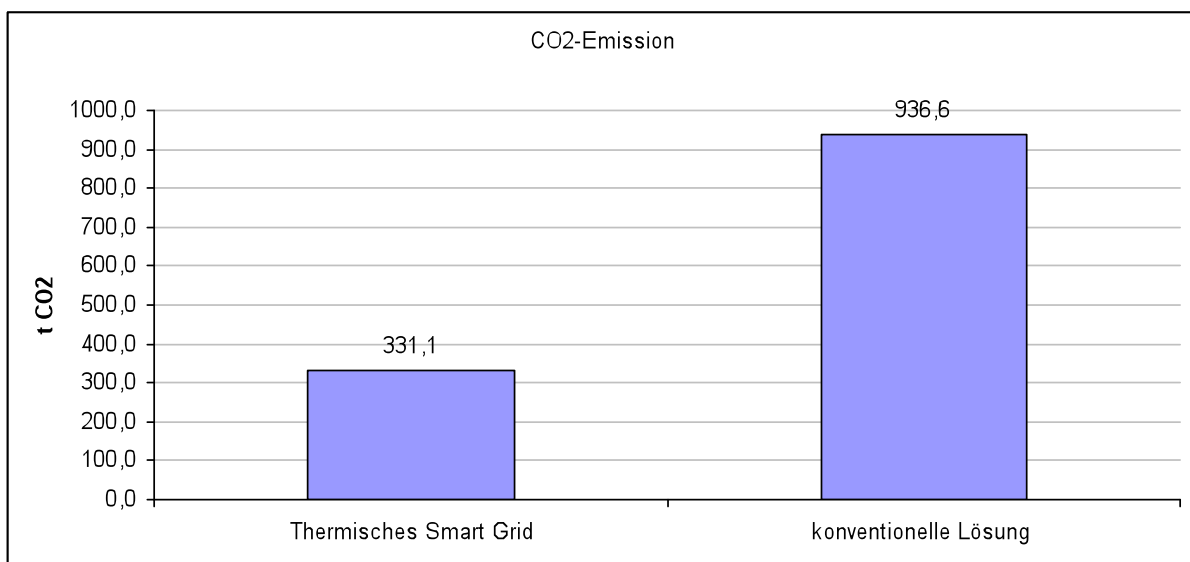


Abb. 8: Vergleich der jährlichen CO₂-Emissionen

5.0. Zusammenfassung

Im Mansfelder Revier sind zahlreiche Grubenwasservorkommen vorhanden, die im Projekt ReSource untersucht worden sind. In der Mehrzahl sind es Entwässerungstollen. Das

Wasser ist stark salzhaltig und hat Temperaturen zwischen 8 und 12 °C. Die Volumenströme der untersuchten Vorkommen liegen zwischen 0,3 und 25 m³/min. Die Vorkommen sind an einigen Orten von über Tage zugänglich oder treten ans Licht. Grubenwasser ist an diesen Stellen ohne das Teufen von Förderbohrungen zugänglich und bietet sich für eine energetische Nutzung an. Der festgestellte Temperaturbereich empfiehlt die Nutzung des Grubenwassers für die Gebäudeheizung und –kühlung.

In der Studie wird die Wärme- und Kälteversorgung eines typischen kleinen Gewerbegebietes mit einem Thermischen Smart Grid untersucht und einer konventionellen Lösung, die erdgasbefeuerte Brennkessel zur Heizung und Kompressionskältemaschinen mit Kühltürmen einsetzt, gegenübergestellt.

Bei der Smart-Grid-Lösung werden

- Wärmepumpen zur Bereitstellung und Abführung von Wärme eingesetzt und der
- Wärmeaustausch mit der Umwelt erfolgt mit einer zentralen Wärmetauscherstation am Grubenwasservorkommen.

Dadurch unterscheiden sich die Investitionskosten nur geringfügig.

Die Betriebskosten für den Energieverbrauch sind wegen des intensiven Einsatzes von Ab- und Umweltwärme wesentlich geringer. Die jährlichen Gesamtzahlungen der Smart-Grid-Lösung betragen nur 53% der Gesamtzahlungen bei der konventionellen Lösung. Die CO₂-Emissionen können mit einem Thermischen Smart Grid auf 35% der Emissionen bei konventioneller Technik gesenkt werden.

Im untersuchten Beispiel sind hervorragende Bedingungen für die Wärme- und Kälteversorgung eines Gewerbegebietes mit hoher Energieeffizienz vorhanden.