

Bewertung der Betriebsindikatoren eines potenziellen untertägigen niedrigtemperatur Wärmespeichers

**Dmytro Rudakov,
Oleksander Inkin,
Lehrstuhl für Hydrogeologie
und Ingenieurgeologie,
Dnipro University of Technology,
Ukraine**

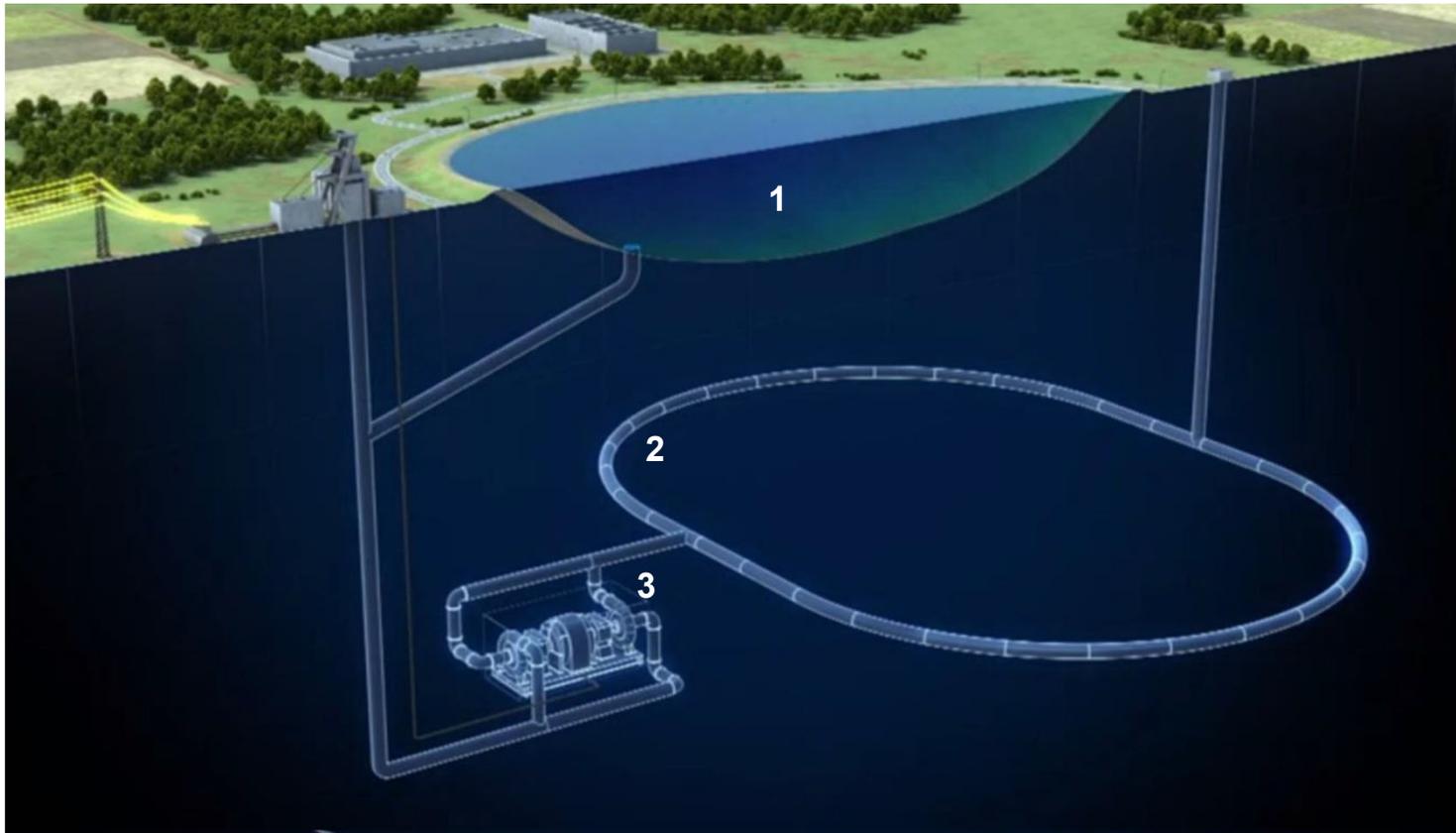
**Stefan Wohnlich,
Rolf Schiffer,
Lehrstuhl für Angewandte
Geologie,
Ruhr Universität Bochum,
Deutschland**

Projektaktivitäten und Forschungsziel

- Projekt „**Möglichkeiten der Niedrigtemperatur-Stromgewinnung und Energiespeicherung zur Inwertsetzung des energetischen Nutzungspotentials von Grubenwasser**“ (2019-2021)
- **Eines der Ziele des Projekts**
Ermittlung des Potenzials der bestehenden unterirdischen Infrastruktur an den stillgelegten Bergwerken für die Stromgewinnung.
- **Untersucht ist**
der Standort am Bergwerk „Prosper-Haniel“ Im Ruhrrevier.



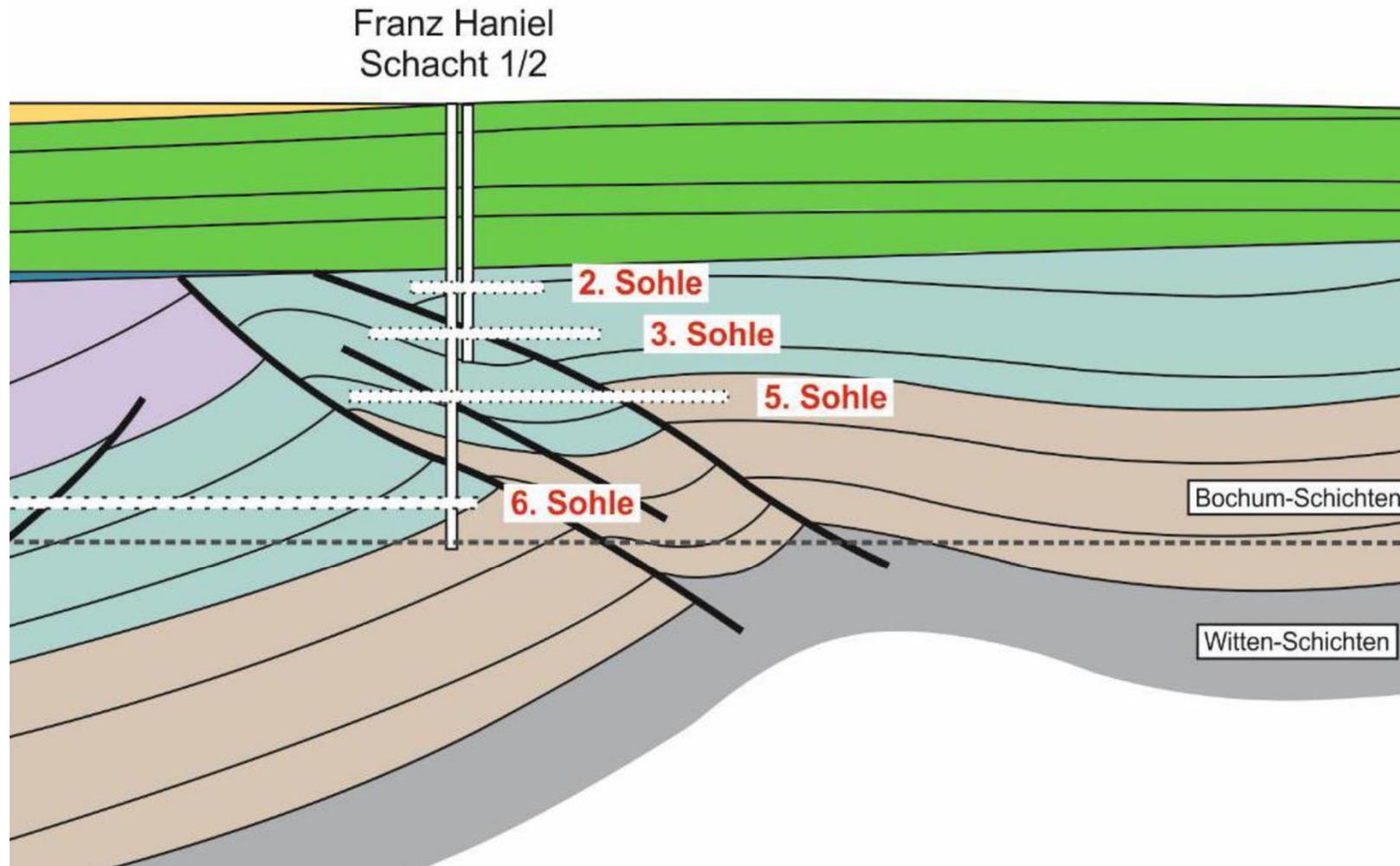
Das Konzept des untertägigen niedrigtemperatures Energiespeichers



Schema eines Energiespeichers

- 1 – übertägiger Speichersee, 2 – untertägiger Speicherring,
3 – Maschinen und Elektrotechnik in untertägigen Kavernen

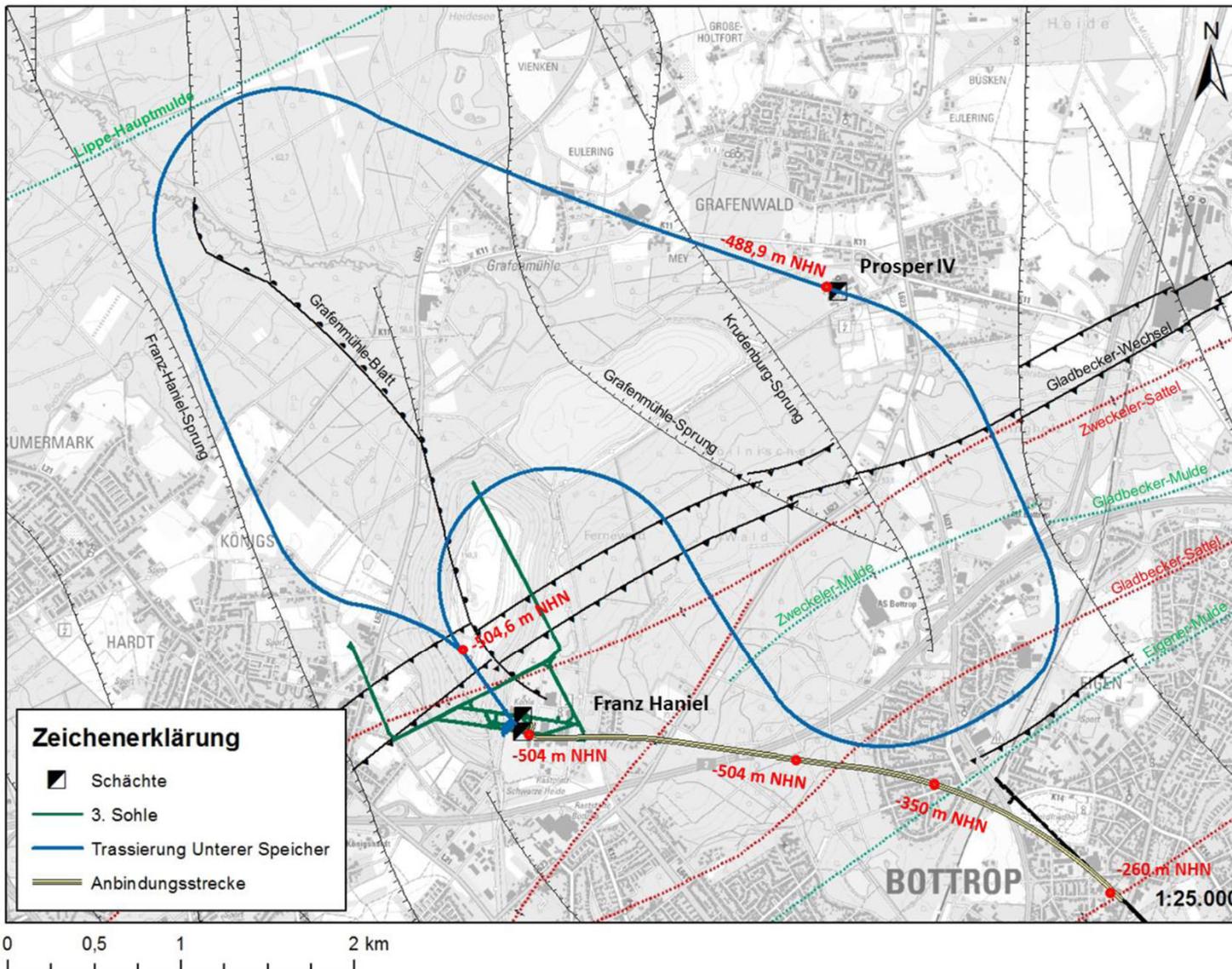
Schematischer geologischer Schnitt des Standortes



Niemann A. Das Konzept für ein untertägliches Pumpspeicherwerk (UPSW) im Bergwerk Prosper-Haniel. Universität Duisburg-Essen. Energetische Nutzungen in der Bergbaufolge. Präsentation am 2 Juli 2019. 35 S.

Trassierung des untertägigen Stollens für Energienutzung

Grubengebäude der Sohle 3. Potenzielle Trassierung der unterirdischen Bauwerke



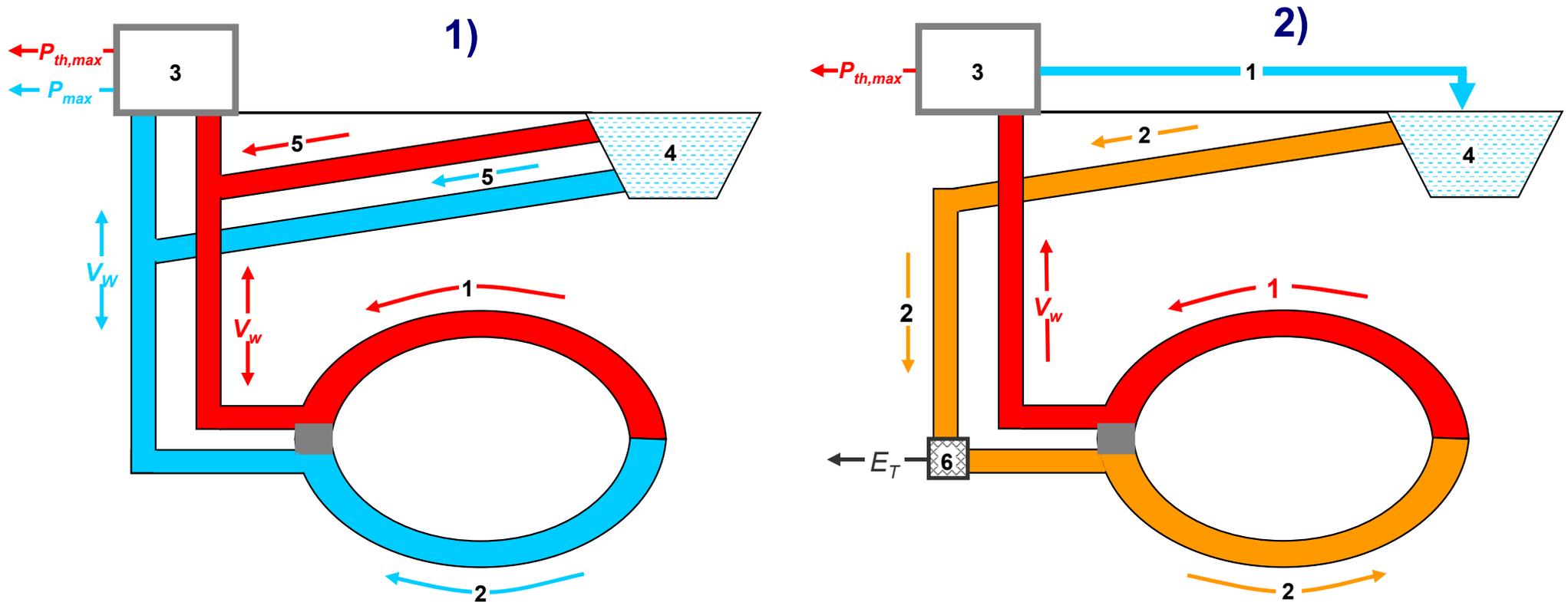
Rote Punkte markieren Höhenpunkte der Trassierungen

Ewert Th. Geologische und hydrogeologische 3D-Modelle als Planungsgrundlage für geowissenschaftliche Fragestellungen im Rahmen des Projektes zur Nutzung von Anlagen des Steinkohlebergbaus als untertägige Pumpspeicherwerke am Bergwerk Prosper-Haniel. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades Dr. rer. nat. Essen, 2019. 119 P.

Das Konzept der Speicherung und Nutzung der Energie im untertägigen Speicher

Phase	Monate	1. Ohne Nutzung der Turbinen	2. Nutzung der Turbinen
1	Jul - Aug	Ersetzung des kalten Wassers im Speicher mit warmem Wasser aus dem übertägigen Speichersee	Freie Auslauf des warmen Wassers aus dem übertägigen Speichersee in den unterirdischen Speicher und Stromgeneration
2	Sep – Okt	Pause	
3	Nov – Mär	Ersetzung des warmen Wassers im Speicher mit kaltem Wasser nach thermischer Nutzung mithilfe der Wärmepumpen oder kaltem Wasser aus dem übertägigen Speichersee	Abpumpen des warmen Wassers aus dem Speicher, thermische Nutzung mithilfe der Wärmepumpen, Akkumulierung des abgekühlten Wassers im übertägigen Speichersee
4	Apr – Jun	Pause	

Schemen der Wasserzirkulation



Aufbau eines untertägigen ringförmigen Wärmespeichers:

1) Fall 1. Keine Nutzung der Turbinen: 2) Fall 2. Nutzung der Turbinen.

1 – Flussrichtung des Wassers im Winter; 2 – Flussrichtung des Wassers im Sommer;
 3 – Wärmepumpe; 4 – übertägiger Speichersee; 5 – Wasserleitung zwischen dem Schacht und übertägiger Speichersee; 6 – Turbine(n) für Stromgewinnung

Modell des untertägigen Wärmespeichers

Elektrische Leistung der Pumpe für Wasserhebung

$$P_{GW,el} = \kappa_S \frac{g \dot{V}_{GW} H_{\Sigma} \rho_W}{\eta_p \eta_{UW}}$$

κ_S = Sicherheitsfaktor, abhängig vom Pumpenmotor, -;

\dot{V}_{GW} = Volumenstrom des Abpumpens, m³/s;

$H_{\Sigma} = H + H_{Rb}$;

H = Höhenunterschied von der Pumpenhöhe und der Geländeoberkannte, wo die Wärmepumpe installiert ist, m;

H_{Rb} = Druckreibungsverlust, m;

η_p = Wirkungsgrad der Pumpe, -;

η_{UW} = Übertragungswirkungsgrad der Pumpe, -.

Elektrische Leistung beim Betrieb der Wärmepumpe

$$P_{WP,el} = \frac{P_{GW,th}}{COP} \quad P_{GW,th} = \dot{V} C_f \rho_f (T_{GW,max} - T_{WP,min})$$

$P_{GW,th}$ = maximale thermische Leistung der Wärmepumpe, W;

$T_{GW,max}$ = Temperatur des Grubenwassers, das in die Wärmepumpenanlage eintritt, °C;

$T_{WP,min}$ = Rücklauftemperatur der Wärmepumpe, °C;

Modell des untertägigen Wärmespeichers

Elektrische Leistung der Turbinen

$$P_T = \eta_T \rho_f g \dot{V}_W H_D$$

P_T ist die elektrische Leistung der Turbine(n), W;

\dot{V}_W = Flussrate des fallenden Wassers, m³/s;

η_T = Wirkungsgrad der Turbine(n), –.

H_D = Höhenunterschied zwischen dem Wasserstand im übertägigen Speichersee und des Niveaus der Turbine(n), m.

Die Stromaufwände der Pumpe, Wärmepumpe und Stromgewinn durch den Turbinenbetrieb

$$E_P = P_{P,el} \cdot \Delta t_B, E_{WP} = P_{WP,el} \cdot \Delta t_B, E_T = P_T \cdot \Delta t_B$$

Druckreibungsverlust im Rohrnetz und Speicherring

$$H_{Rb} = \frac{\alpha_R L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}, v = \frac{\dot{V}}{F}, F = \frac{\pi d^2}{4}$$

α_R = Reibungsfaktor, –;

L = Länge des Rohrs bzw. Speichers für Wasserlauf, m;

d und F = Durchmesser und innere Querschnittsfläche des Rohrs bzw. Speichers, m und m²;

v = Strömungsgeschwindigkeit im Rohr (Speicher), m/s.

Kriterium der energetischen Effektivität der Speichernutzung

$$\xi_E = \frac{P_{GW,th} \Delta t_B - U_{tr}}{\omega (P_{WP,el} + P_{tr,el}) \Delta t_B}$$

$P_{GW,th}$ = thermischen Leistung,

$P_{WP,el}$ = elektrische Leistung der Wärmepumpe,

$P_{tr,el}$ = elektrische Leistung der Wärmetransportierung zu den Verbrauchern,

U_{tr} = Energieverlusten bei der Transportierung,

ω = thermische Äquivalent der elektrischen Energie, dimensionslos,

Δt_B = Betriebsdauer.

$$\omega = \frac{\eta_H}{\eta_{KW}}$$

η_{KW} = Nutzwirkung eines Kraftwerks,

η_H = Nutzwirkung einer Heizungsanlage, die Gas bzw. Kohle benutzt.

Eingabeparameter zu den Berechnungen

Parameter	Wert	Einheit
Länge des Speicherrings	16 270	m
Durchmesser vom Speicher	7	m
Speichervolumen	626 151	m ³
Tiefenbereich	-504...-488.9	mNN
Temperatur des warmen Wassers	18...22	°C
Temperatur des abgekühlten Wassers	6	°C
Temperatur im Heizungskreislauf	55	°C
Wirkungsgrad der Wärmepumpe	0,5	–
Länge des Rohrs zwischen den Speicher und übertägigen Speichersee	650	m
Länge des Rohrs zwischen den Speicher und Wärmepumpen	1 150	m
Durchmesser des Rohrs	0.35	m
Dauer der Heizungsperiode im Winter	115...155	Tage
Dauer der Periode der Ersetzung des kalten Wassers im Sommer	40...60	Tage
Spezifischer Wärmebedarf während der Heizungsperiode	0.63	kW _{th} /Person
Stromtarif für Nicht-Haushalte	24	ct/kWh
Fernwärmetarif für Haushalte	13	ct/kWh
Wirkungsgrad der Turbine(n), –	0.92	–

Berechnungen zum Wasser- und Wärmeaustausch

Evaluierten Parameter der Wasserumtausch im Speicher

Parameter	Fall 1	Fall 2	Einheit
Thermische Leistung während der Heizungsperiode	2.84 3.34	2.75 3.61	MW _{th}
Förderrate im Winter während der Heizungsperiode	3636 4900	4040 5445	m ³ /d
Geschwindigkeit der Wasserbewegung im Speicher während der Heizungsperiode	94.5 127.3	-	m/d
Wassergeschwindigkeit im Rohr im Winter	0.44 0.59	0.49 0.65	m/s
Förderrate im Sommer	10440 15650		m ³ /d
Wassergeschwindigkeit im Rohr im Sommer	1.26 1.88	-	m/s

$\Delta t_{B,Heizung}$ = 155 Tage (erste Zeile), 115 Tage (zweite Zeile)

$\Delta t_{B,Sommer}$ = 60 Tage (erste Zeile), 40 Tage (zweite Zeile)

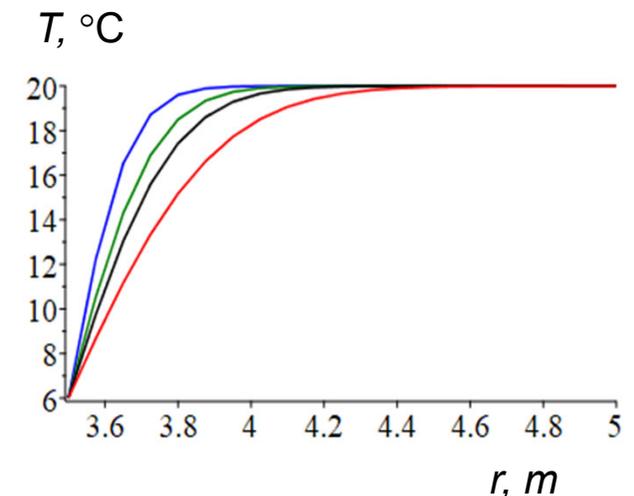
Abkühlung der Gebirge herum des Speichers bei temporaler Speicherung des kalten Wassers:

$t = 30$ Tage (blau),

$t = 60$ Tage (grün),

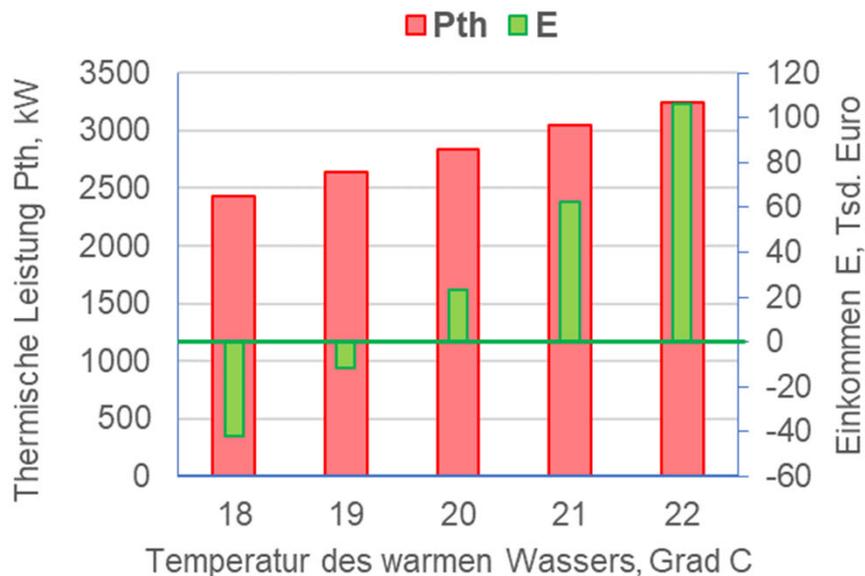
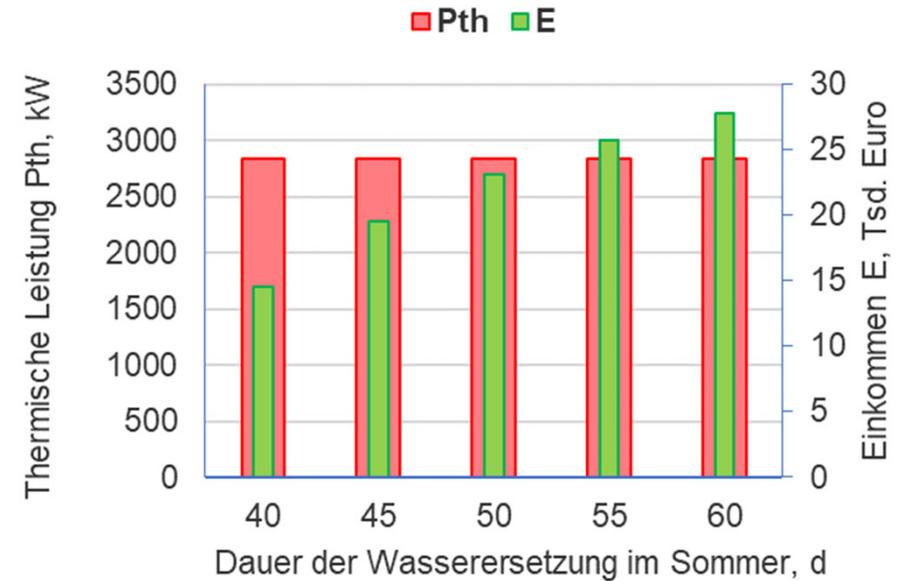
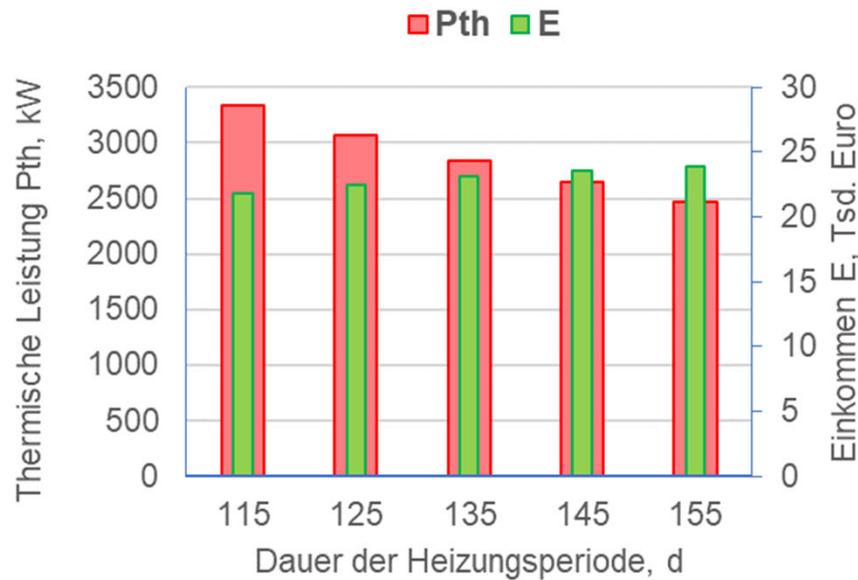
$t = 91$ Tage (schwarz),

$t = 182$ Tage (rot)



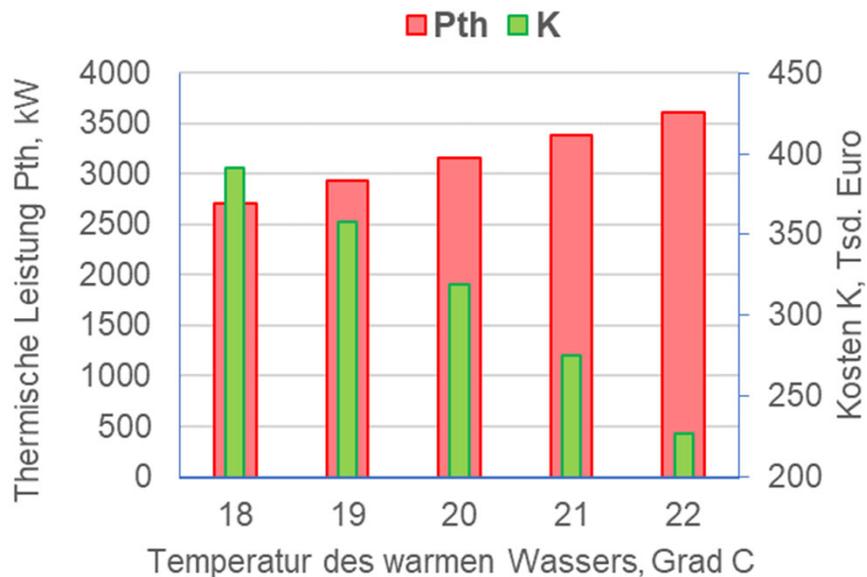
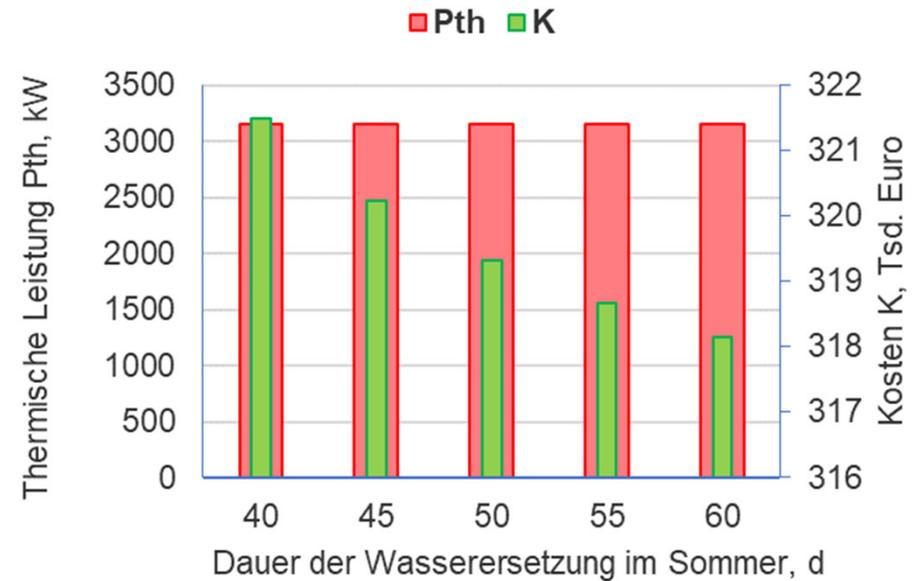
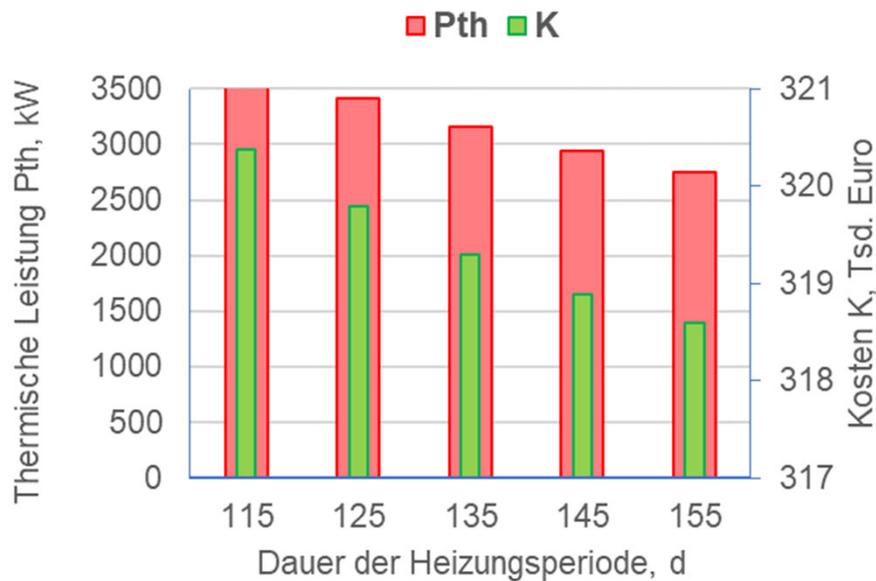
Mögliche Abkühlung des warmen Wassers bis 1 °C

Ergebnisse im Fall 1 (ohne Nutzung der Turbine)



1. Reduzierung der thermischen Leistung und Vergrößerung des Einkommens bei längerer Heizungsperiode.
2. Höhere Einkommen bei längerer Wasserersetzung im Sommer durch geringerer Stromaufwand
3. Größere thermische Leistung und Einkommen bei höherer Wassertemperatur
4. Die Jahresenergiebilanz des Systems bleibt positive, die energetische Effektivität ξ_E variiert vom 1.6 bis 1.9.

Ergebnisse im Fall 2 (Nutzung der Turbine)



1. Positive Jahresenergiebilanz ($\xi_E = 1.4$ bis 1.6) bei der Nutzung der Turbinen; aber das System ist unprofitabel und braucht die Kosten für den Betrieb.
2. Verlängerung der Heizungsperiode reduziert die thermische Leistung und die Kosten.
3. Verlängerung der Periode der Stromgenerierung im Sommer reduzieren die Kosten.
4. Höhere Wassertemperatur vergrößert die thermische Leistung und reduziert die Kosten.

Fazit

- Die Berechnungen wiesen energetische Effektivität des Zirkulationssystems aufgrund des unterirdischen Speichers in beiden Fällen auf.
- Ohne Nutzung der Turbinen ist das System profitabel bei der Temperatur des warmen Wassers über 20 °C.
- Die Anwendung der Turbinen reduziert die energetische Effektivität des Speichers und braucht zusätzliche Betriebskosten.
- Wasserchemismus und Wärmeaustausch sollen in weiterem detailliert untersucht werden.
- Die Nutzung des kalten Wassers für die Raumabkühlung im Sommer kann die Energiebilanz deutlich verbessern.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!