

Ein Verfahren zur Bewertung und Voreinstufung des geothermischen Potenzials stillgelegter Bergwerke am Beispiel des Ruhrreviers

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

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



Inhalt

- Frühere Studien und Zielsetzung
- Methode zur Bewertung der geothermischen Systeme
- Ergebnisse der Bewertung und Voreinstufung der Standorte
- Schlussfolgerungen

Projektaktivitäten und Forschungsziel

- Projekt „**Möglichkeiten der Niedrigtemperatur-Stromgewinnung und Energiespeicherung zur Inwertsetzung des energetischen Nutzungspotentials von Grubenwasser**“ (2019-2021)

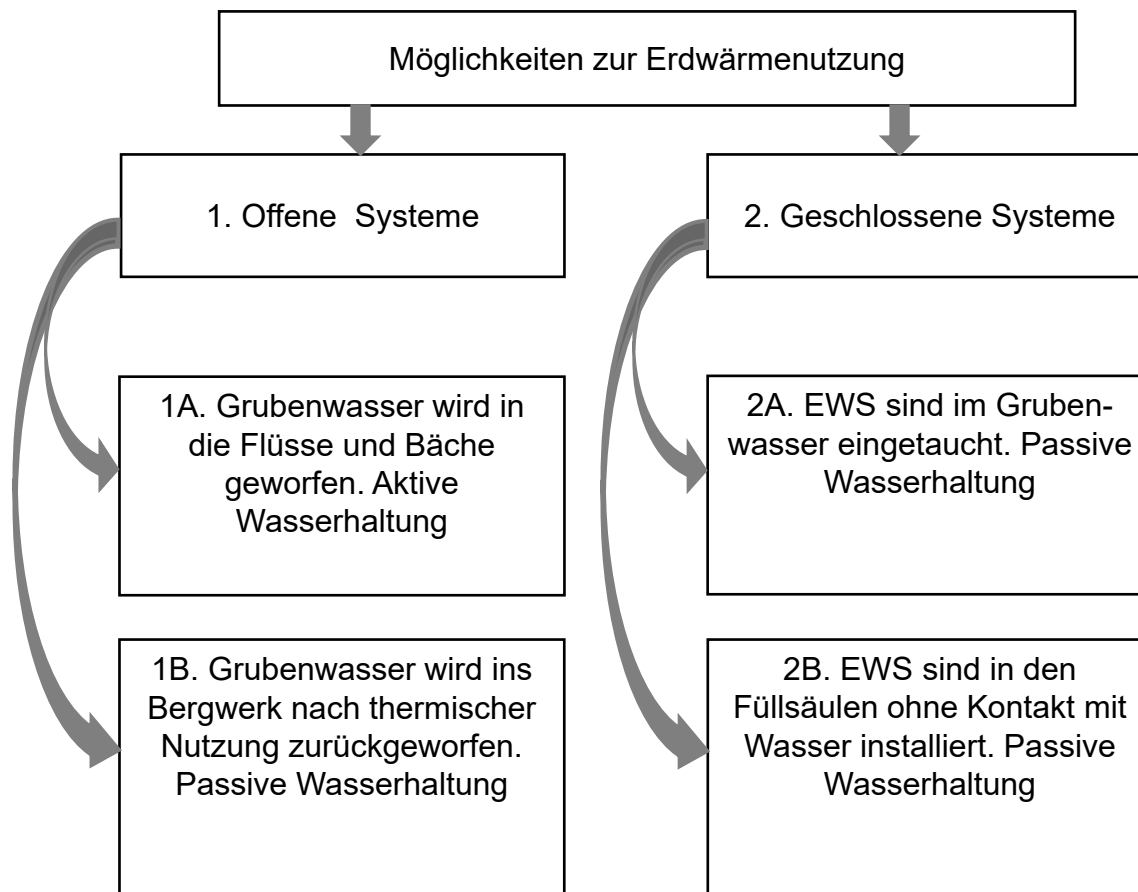


- **Eine der Ziele des Projektes**
Ermittlung des Potenzials der geothermischen Energie an den stillgelegten Bergwerken und zentralen Wasserhaltungen (ZWH) durch der Voreinstufung der Standorte.
- **Betrachtet sind**
 1. Offene geothermische Systeme an den ZWH ohne und mit der Wasserzirkulation.
 2. Geschlossene Systeme in der Form von U-förmigen bzw. coaxialen Erdwärmesonden (EWS).

Frühere Studien

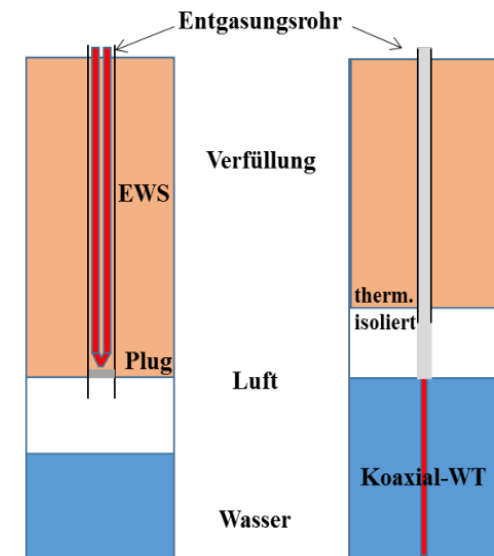
1. Banks, D., Athresh, A., Al-Habaibeh, A., und Burnside N. (2019): Water from abandoned mines as a heat source: practical experiences of open- and closed-loop strategies, United Kingdom. Sustain. Water Resour. Manag. Band 5, S. 29–50.
<https://doi.org/10.1007/s40899-017-0094-7>
2. Bremerich-Ranft, B. Das Erdwärmesonden-Testfeld am Energiezentrum Willich – Vorstellung und bisherige Erkenntnisse. Präsentation an 16. NRW Geothermiekonferenz. 3.9.2020
3. Empfehlungen Oberflächennahe Geothermie – Planung, Bau, Betrieb und Überwachung – EA Geothermie. (2015): Editor(s): Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften e. V., Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.
4. Extraction of geothermal energy from a mine shaft located in the hard coal mining district of Aachen, Germany. (2019): Sustainable Heating. April 9, 2019 in Brussels. Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH, ENERGETICON,D.
5. LANUV NRW (2015): Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW. Teil 4 – Geothermie – Fachbericht 40.
6. LANUV NRW (2018): Potenzialstudie warmes Grubenwasser – Fachbericht 90.
7. Loredó, C., Roqueñí, N., Ordóñez, M.A. (2016). Modelling flow and heat transfer in flooded mines for geothermal energy use: A review, Int. J. Coal Geol., <https://dx.doi.org/10.1016/j.coal.2016.04.013>
8.

Möglichkeiten zur Erdwärmenutzung in stillgelegten Bergwerken



Varianten zur thermischen Erschließung von Schachtbauwerken:

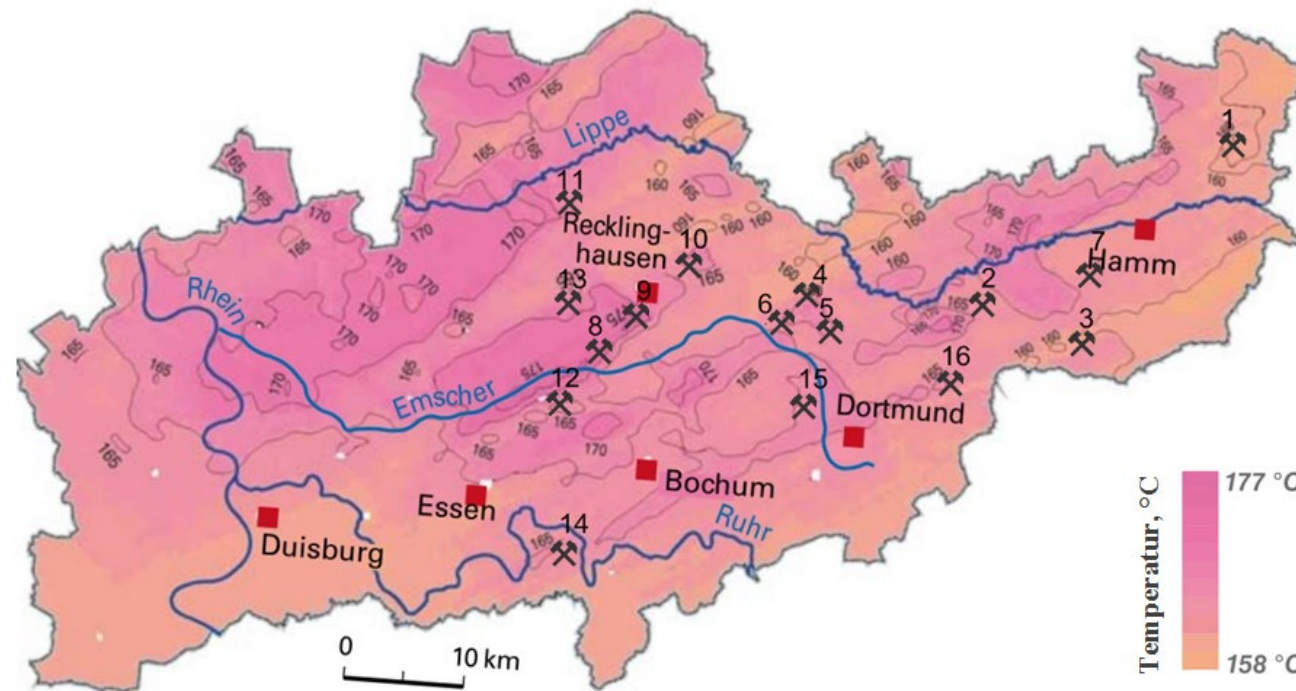
- a) U-förmige EWS,
- b) koaxiale EWS.



LANUV NRW (2018): Potenzialstudie warmes Grubenwasser – Fachbericht 90.

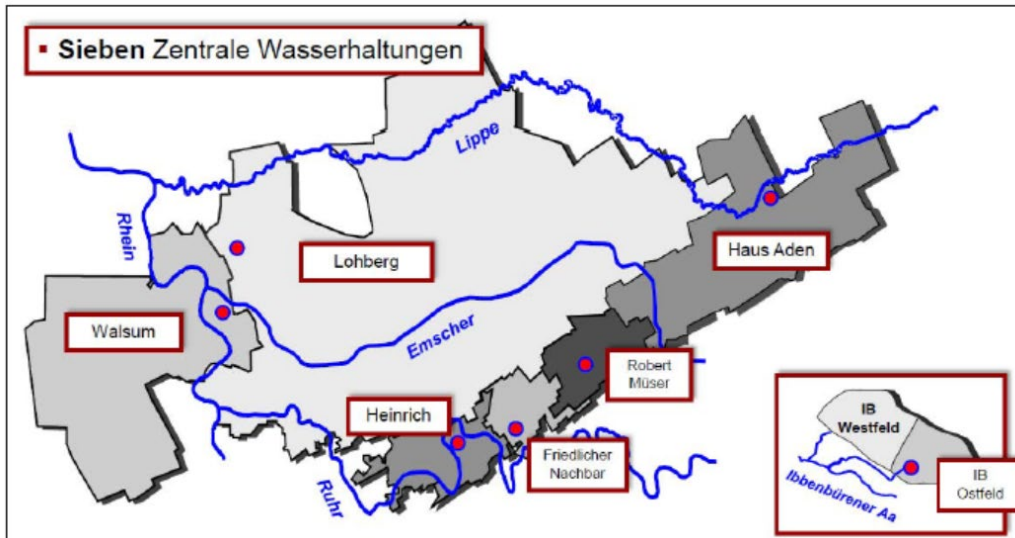
Geothermische Verhältnisse im Ruhrrevier

Temperaturmappe an einer Teufe in 5 km unter Gelände vereinigt mit der Lage der Bergwerke



- 1) Westfalen 1, 2, 6 und 7;
- 2) Grimberg 3;
- 3) Königsborn 4;
- 4) Waltrop 1, 2 und 3;
- 5) Minister Achenbach 1 und 7;
- 6) Ickern 3;
- 7) Haus Aden 6;
- 8) Ewald 3 und 5;
- 9) General Blumenthal 6, 8 und 11;
- 10) Ewald Fortsetzung 1 und 3;
- 11) Auguste Victoria 8 und 9;
- 12) Consol 9;
- 13) Schlägel Eisen 5;
- 14) Wetterschacht Altendorf;
- 15) Hansa 2 und 3;
- 16) Kurl 1.

Zentrale Wasserhaltungen



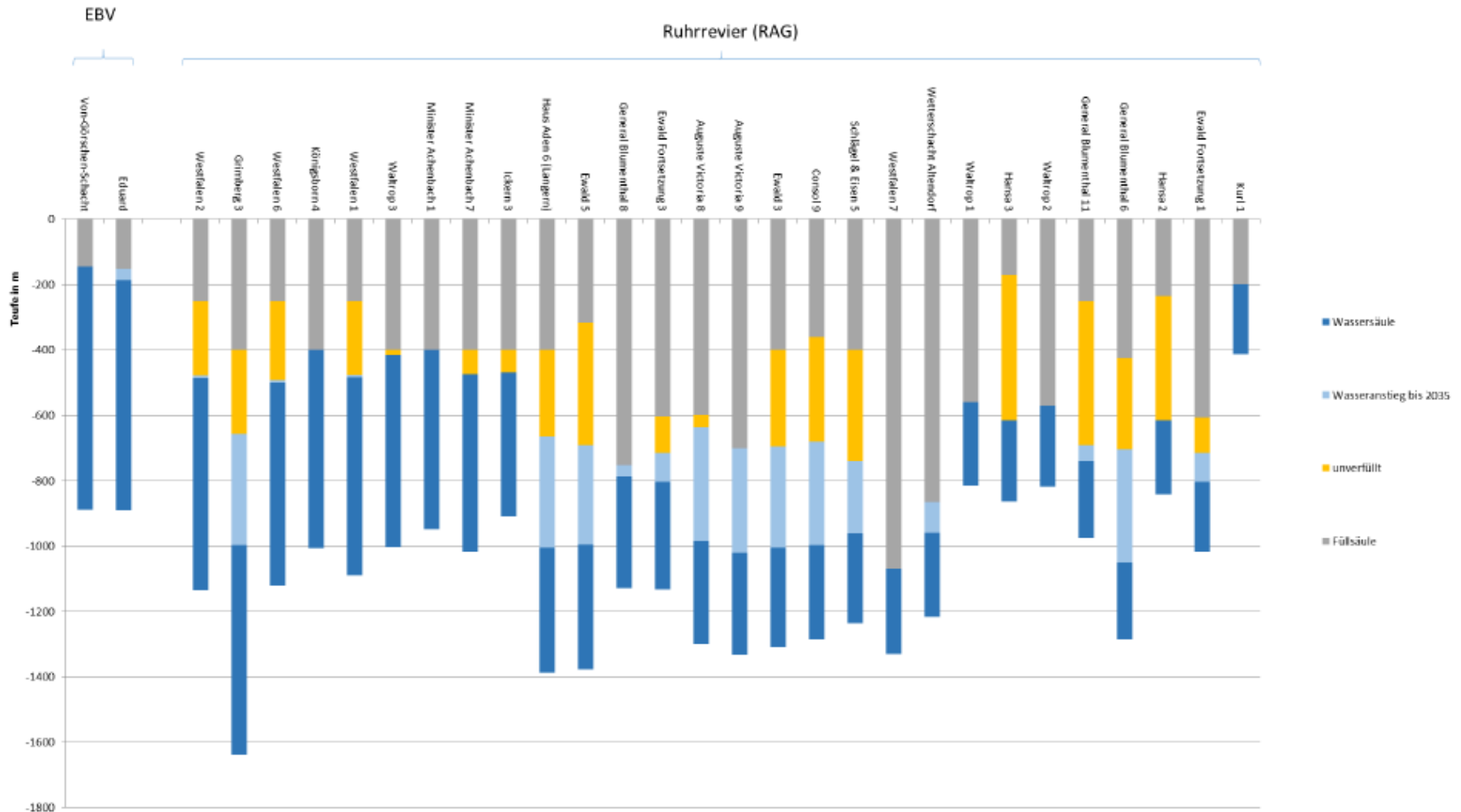
ab 2022



LANUV NRW (2018): Potenzialstudie warmes Grubenwasser – Fachbericht 90.

Name der ZWH	Pumpniveau [m NHN]	Fördermenge [Mio m ³ /a]	Wassertemperatur [°C] in 2020
Heinrich	-280	20	18
Robert Müser	-445	10,6	20
Friedlicher Nachbar	-165	8,5	20
Naus Aden	-165	12,8	24
Walsum	-746	8	29
Lohberg*	-640	35	30
Ibbenbüren Ostfeld	k.A.	1,05	13
Ibbenbüren Westfeld	k.A.	4	13

Frühere Studien. Nutzung Wassersäulen in Deutschland ab Bezugsjahr 2020



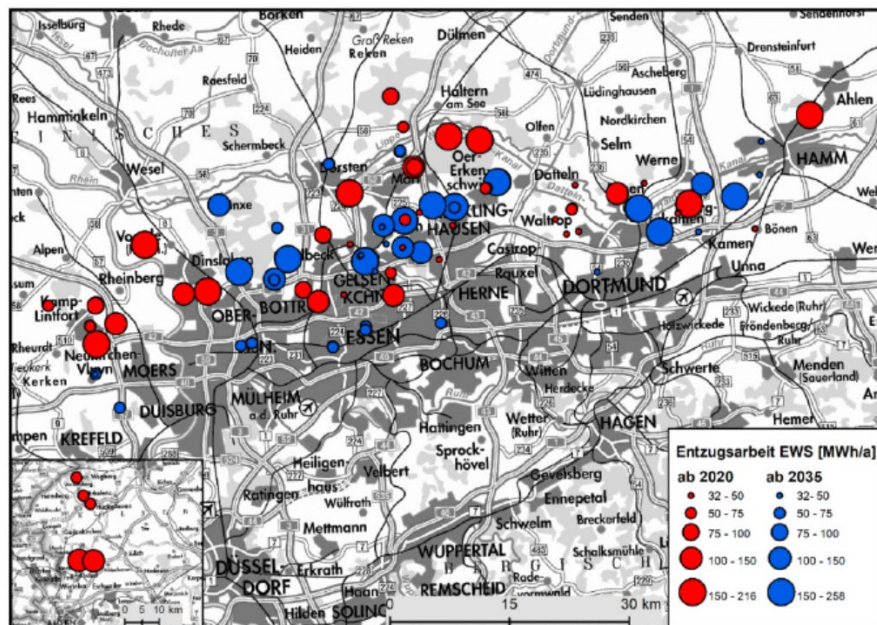
Ausgewertete Schachtstandorte im Ruhrrevier

LANUV NRW (2018): Potenzialstudie warmes Grubenwasser – Fachbericht 90.

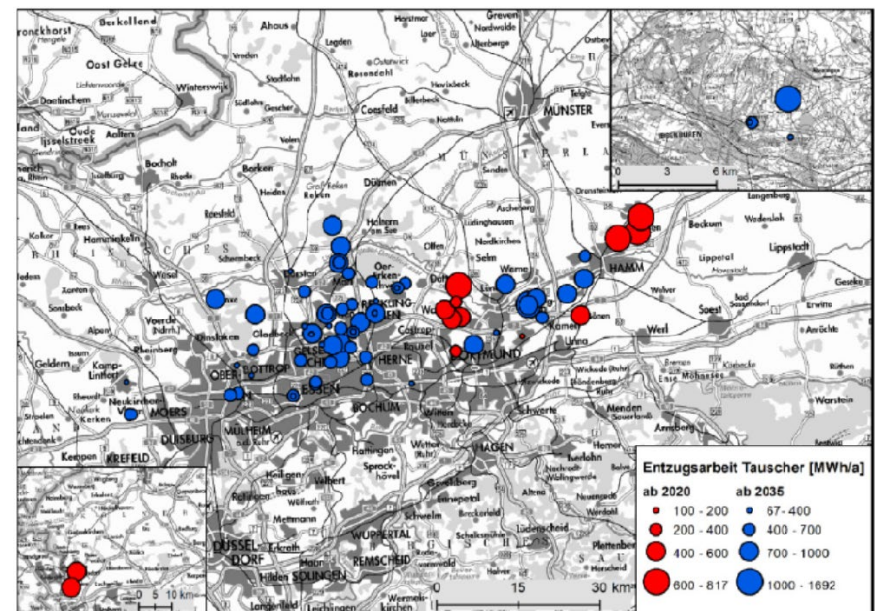
Variante 1. EWS innerhalb der Verfüllsäule (Wärmeaustausch mit den Gebirgen)

Variante 2. EWS innerhalb der Wassersäule (Wärmeaustausch mit dem Grubenwasser)

1.



2.



Vorgehensweise der Studie

- Erarbeitung des energetischen Kriteriums zur Evaluierung der ZWH und Schachtstandorte mit Rücksicht auf Wärmeübertragung, wirtschaftlichen und Umweltschutzaspekten.
- Anwendung des Kriteriums zu den ausgewählten Standorten mit weiterer Rangierung hinsichtlich energetischer Effektivität.
- Identifizierung der Vorzugsstandorte für weiterer Untersuchung und ausführlichen numerischen Modellierung.

Das Energiekriterium zur Bewertung eines offenen geothermischen Systems

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

$P_{GW,th}$ = thermische Leistung eines geothermischen Systems, W;

Δt_B = Betriebsdauer, d;

U_{tr} = Energieverlust beim Transport, W;

$P_{WP,el}$ = elektrische Leistung zur Funktionierung der Wärmepumpen, W;

$P_{tr,el}$ = elektrische Leistung für Wärmetransportierung zu den Verbrauchern, W;

Das thermische Äquivalent der elektrischen Energie

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

η_{KW} = Nutzwirkung eines Kraftwerk, dimensionslose;

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

Bewertung von Nutzwirkung offener Systeme

Die von Wärmepumpen aus dem Grubenwasser der ZWH bereitgestellte maximale thermische Leistung

$$P_{GW,th} = V \cdot C_f \cdot \rho_f (T_{GW,W} - T_0)$$

V = Volumenstrom, der als der jahresmittlere Wert ermittelt wird, l/s;

C_f = spezifische Wärmekapazität des Grubenwassers, KJ/(kg·K);

ρ_f = Dichte des Grubenwassers, kg/m³;

T_0 = Rücklauftemperatur, °C.

Temperatur des Grubenwassers, das in die Wärmepumpenanlage eintritt

$$T_{GW,W} = T_{GW,A} - \Delta T_A$$

$T_{GW,A}$ = Ausgangstemperatur des Grubenwassers an der Teufe des Abpumpens, °C;

ΔT_A = Abkühlung, °C.

$$T_{Nat} = T_{NS} + \Gamma (H - H_{NS})$$

T_{NS} = Temperatur der sog. neutralen Schicht unter der Oberfläche,

wo die Temperaturschwankungen jahreslang vernachlässigt werden können, °C;

Γ = geothermischer Gradient, °C/m;

H = Teufe, m;

H_{NS} = Teufe neutrale Schicht, m.

Bewertung von Nutzwirkung offener Systeme

Die theoretisch erreichbare Leistungszahl (COP)

$$COP = \eta_{WP} \frac{T_h}{T_h - T_{min}}$$

η_{WP} = Wirkungsgrad der Wärmepumpenanlage, dimensionslos;

T_h = höchste Temperatur im Heizkreislauf, °C;

T_{min} = minimale Temperatur in Wärmetauscher, °C.

Der Profit vom Betrieb eines offenen geothermischen Systems

$$C_{Ges} = C_{th} - C_{el}$$

Die Kosten der vom System erzeugte Wärmeenergie C_{th} und die verbrauchte elektrische Energie C_{el}

$$C_{th} = a_{th} P_{GW}$$

$$C_{el} = a_{el} P_{sum,el}$$

$$P_{sum,el} = P_{WP,el} + P_{GW,el} + P_{R,el}$$

a_{th} = Tarif für Wärmeenergie; a_{el} = Stromtarif;

P_{GW} = Thermische Leistung eines geothermischen Systems, W;

$P_{GW,el}$ = die elektrische Leistung für Hebung des Grubenwassers, W;

$P_{R,el}$ = die elektrische Leistung für den Rücklauf des Grubenwassers, W.

Bewertung von Nutzwirkung offener Systeme

Zu ermitteln sind die potentiellen CO₂-Emissionen, die durch die Verwendung von Wärmepumpen anstelle konventionellen Energiequellen (Kohle, Erdöl und Erdgas) vermieden werden können.

Die CO₂-Emissionen (tonne pro Tag) für jede Kraftstoffart

$$E = K_1 K_2 K_3 \Delta P_{th} \Delta t_H$$

K_1 = Oxidationsfaktor von Kohlenstoff im Brennstoff ($K_1 = 0,98$ für Kohle, $K_1 = 0,99$ für Erdölprodukte, und $K_1 = 0,995$ für Gas);

K_2 = Kohlenstoffemissionsfaktor ($K_2 = 25,58$ t/TJ für Kohle, $K_2 = 20,84$ t/TJ für Erdölprodukte, $K_2 = 15,04$ t/TJ für Gas);

K_3 = Umrechnungskoeffizient von Kohlenstoff in Kohlendioxid ($K_3 = 44/12 \approx 3.67$);

= zusätzliche thermische Leistung des geothermischen Systems, W;

Δt_H = Dauer der Heizperiode, d.

Bewertung von Nutzwirkung geschlossener Systeme

Die geothermische Ergiebigkeit der Sonde q_{ext} an einer Teufe z

$$q_{ext}(z) = \frac{T_{nat}(z) - T_0}{R_{sum}}$$

$T_{nat(z)}$ die Temperatur des Grubenwasser bzw. Füllsäule an der Teufe, °C
 T_0 = Eintrittstemperatur der Wärmeträgerflüssigkeit, °C.

Der mit der Sonde entzogene Gesamtwärmefluss q_{ent}

$$q_{\Sigma} = \int_{H_{mw} - H_w}^{H_{mw}} q_{ext}(z) dz$$

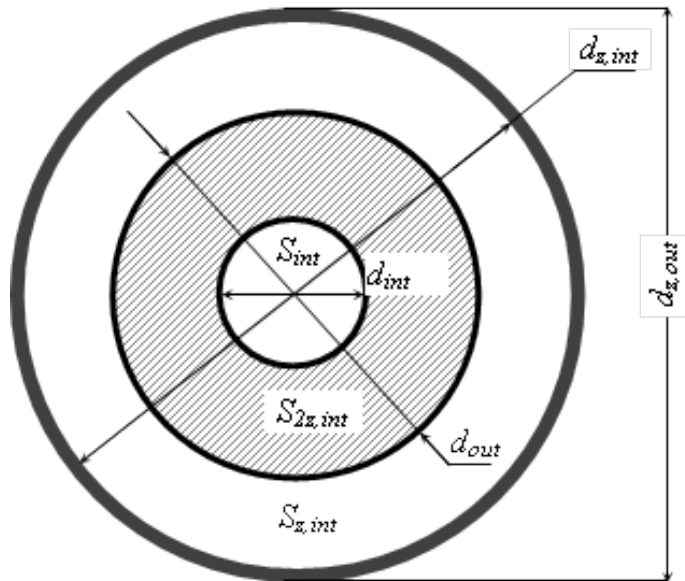
H_{mw} = Grubenwasserniveau, m;
 H_w = Länge des getauchten Teils der EWS, m.

Die Ausgangstemperatur der Wärmeträgerflüssigkeit

$$T_2 = \left(\frac{q_{\Sigma}}{\dot{V} C_f \rho_f} \right) + T_0$$

Thermische Widerstand in den EWS

Querschnitt einer coaxialen Sonde. Der Gesamtwärmewiderstand einer U-förmigen und coaxialen EWS
 Thermische Isolation ist gestrichen.



$$R_{sum} = R_{pr} + R_w$$

$$R_{pr} = \frac{1}{2\lambda_s\pi} \ln\left(\frac{d_{z,out}}{d_{z,int}}\right) \quad R_w = \frac{1}{2\lambda_w\pi} \ln\left[\frac{2y_0}{d_{z,out}} + \sqrt{\left(\frac{2y_0}{d_{z,out}}\right)^2 - 1}\right]$$

R_{pr} = Wärmewiderstand der Wand, W/(m·°C);

R_w = Wärmewiderstand des Füllmaterials und Gebirge in Umgebung der Sonde, W/(m·°C).

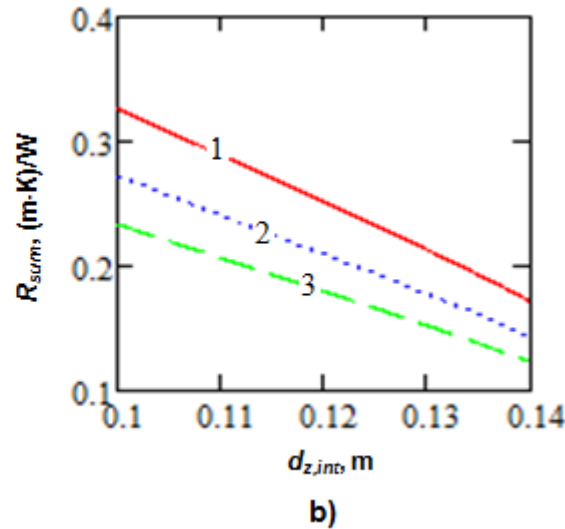
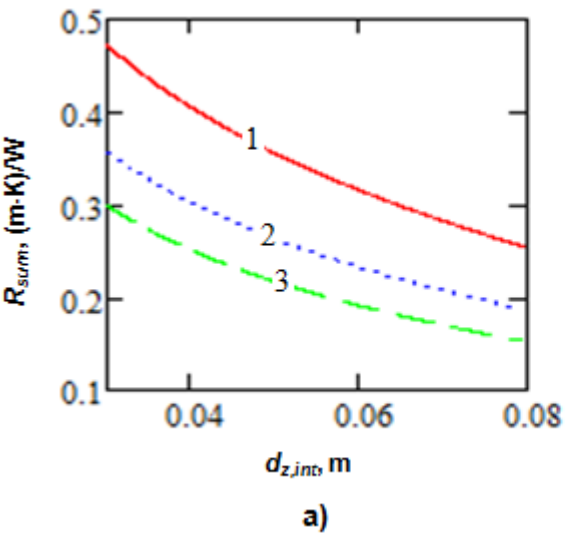
λ_s = Wärmeleitfähigkeit der Rohrwand, W/(m·°C);

λ_w = Wärmeleitfähigkeit des Grubenwasser bzw. Böden, W/(m·°C);

$d_{z,out}$, $d_{z,int}$ = äußerer bzw. innerer Durchmesser, m;

y_0 = Abstand von der Kontur der Sonde zum äußeren Schachtrand, m.

Spannbreite des thermischen Widerstands von EWS



Änderung des gesamten Wärmewiderstands:

a) U-förmige EWS: $\lambda_s = 0,3 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$,
 1) $\lambda_w = 1 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$, 2) $\lambda_w = 1,5 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$, 3) $\lambda_w = 2 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$;

b) koaxiale EWS: $\lambda_s = 45 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$;
 1) $\lambda_w = 0,5 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$, 2) $\lambda_w = 0,6 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$, 3) $\lambda_w = 0,7 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$

Berechneter Wertebereich zum Wärmewiderstand verschiedener EWS-Typen

Typ der Sonde	$\lambda_w, \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	$R_{sum}, (\text{m}\cdot\text{K})/\text{W}$
Einfache U-förmige	0,6	0,441 – 0,766
	1,5	0,204 – 0,419
	2	0,165 – 0,361
Doppelte U-förmige	0,6	0,311 – 0,641
	1,5	0,130 – 0,340
	2	0,105 – 0,290
Koaxiale	0,5	0,172 – 0,327
	0,6	0,143 – 0,272
	0,7	0,123 – 0,234

Validierung des thermischen Widerstands mit früheren Studien

Quelle	$\dot{V}$, m^3/St	R_{pr} , $(\text{m}\cdot\text{°C})/\text{W}$	R_w , $(\text{m}\cdot\text{°C})/\text{W}$	R_{sum} , $(\text{m}\cdot\text{°C})/\text{W}$	$T_{2,ber}$, $^{\circ}\text{C}$	$T_{2,exper}$, $^{\circ}\text{C}$
[4]	16	0,028	0,206	0,234	22,03	22-23
[2]	0,6	0,216	0,124	0,340	24,76	25

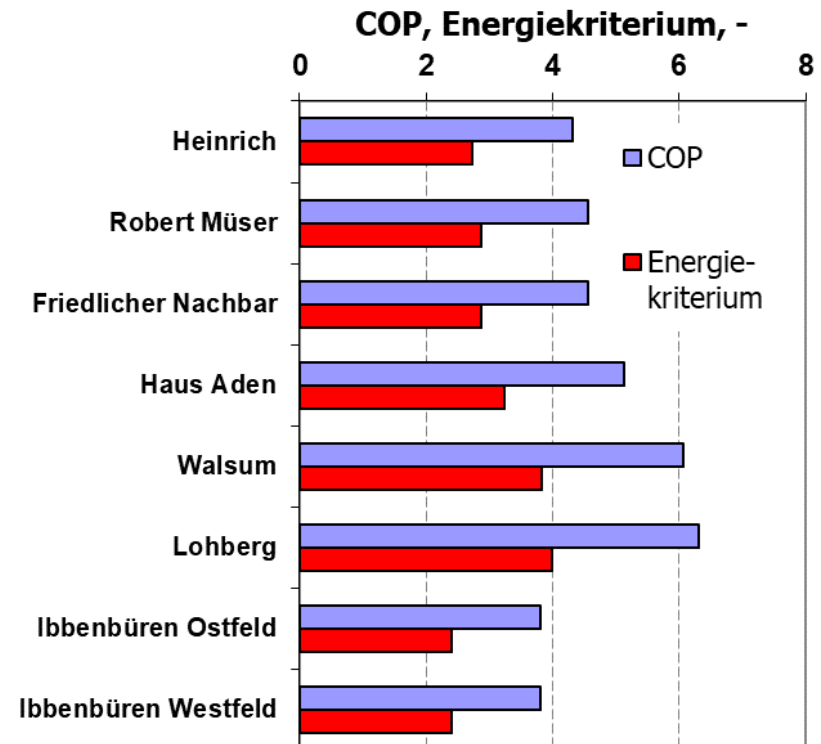
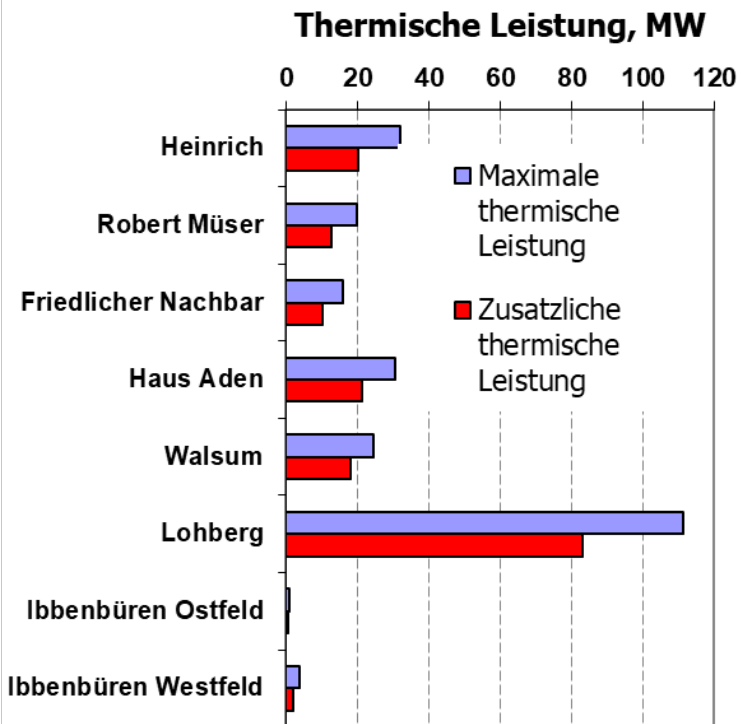
Bewertungsmatrizen der geothermischen Systeme

sind in der Excel-Tabellen erstellt und die Daten analysiert

Nr	Name der Wasserhaltung	H_p, m	GOK, m	L, m	$V_p, Mio m^3/a$	$V_p, m^3/d$	$T_{GW,A}, ^\circ C$	$T_{GW,W}, ^\circ C$	P_{GW}, MW	COP	COP Rang	$P_{WP,el}, MW$	$P_{th,eq}, MW$	ξ_E	ξ_E Rang	dP_{th}, MW	$C_{GW,th}, Taus. \text{ €/d}$	$C_{GW,el}, Taus. \text{ €/d}$	$C_{P,S}, Taus. \text{ €/d}$	$C_{ges}, Tausend \text{ €}$	$E_{CO_2}, Tonnen$
1	Heinrich	-280	60	340	20.0	54795	18	17	31.96	4.32	6	7.41	16.66	1.92	6	15.30	84.4	55.1	29.3	3660.2	15.2
2	Robert Müser	-445	60	505	10.6	29041	20	19	19.76	4.56	4	4.34	9.76	2.02	4	10.00	52.2	32.3	19.9	2487.4	9.9
3	Friedlicher Nachbar	-165	60	225	8.5	23288	20	19	15.85	4.56	4	3.48	7.83	2.02	5	8.02	41.8	25.9	16.0	1994.6	8.0
4	Haus Aden	-600	60	660	12.8	35068	24	23	30.68	5.13	3	5.99	13.47	2.28	3	17.21	81.0	44.5	36.5	4557.8	17.1
5	Walsum	-746	60	806	8.0	21918	29	28	24.51	6.07	2	4.03	9.08	2.70	2	15.43	64.7	30.0	34.7	4334.8	15.3
6	Lohberg	-640	60	700	34.8	95342	30	29	111.23	6.31	1	17.63	39.68	2.80	1	71.56	293.7	131.2	162.5	20306.8	71.0
7	Ibbenbüren Ostfeld	-640	60	700	1.1	2877	13	12	0.98	3.81	7	0.26	0.58	1.70	7	0.40	2.6	1.9	0.7	84.3	0.4
8	Ibbenbüren Westfeld	65	65	0	4.0	10959	13	12	3.73	3.81	7	0.98	2.20	1.70	7	1.53	9.8	7.3	2.6	321.3	1.5

Nr.	Bergwerk	$T_{G,5 km}, ^\circ C$	$\Gamma, ^\circ C/m$	$q, mW/m^2$	H_{max}, m	H_{mw}, m	H_w, m	H_{FS}, m	$T_{G,HFS}, ^\circ C$	$T_{G,FS}, ^\circ C$	$q_{s,d}, W/m$	$q_{ent,s}, kW$	$T_2, ^\circ C$	H_{DV}, m	COP	COP Rang	$P_{WP,el}, kW$	$P_{S,el}, kW$	$P_{el,sum}, kW$	$P_{th,eq}, kW$	ξ_E	ξ_E Rang	$C_{GW,th}, \text{ €/d}$	$C_{GW,el}, \text{ €/d}$	$C_{P,S}, \text{ €/d}$	$C_{ges}, \text{ €}$	dP_{th}, kW	$W_s, MWSt$	$E_{CO_2}, Tonnen$
1	Westfalen 2	160	0.0301	54.2	1150	460	690	250	17.5	13.8	25.9	6.5	6.8	3.50	3.40	23	1.90	0.13	2.03	3.22	2.01	23	17.1	15.1	1.9	242.6	3.25	9.7	3.2
2	Grimberg 3	160	0.0301	54.2	1390	1000	390	400	22.0	16.0	33.4	13.4	7.6	5.60	3.46	18	3.86	0.21	4.06	6.43	2.08	18	35.3	30.2	5.0	628.8	6.92	20.8	6.9
3	Westfalen 6	160	0.0301	54.2	1130	510	620	240	17.2	13.6	25.4	6.1	6.7	3.36	3.40	24	1.79	0.13	1.92	3.04	2.00	25	16.1	14.3	1.8	224.1	3.05	9.1	3.0
4	Königsborn 4	160	0.0301	54.2	1000	400	600	400	22.0	16.0	33.4	13.4	7.6	5.60	3.46	18	3.86	0.21	4.06	6.43	2.08	18	35.3	30.2	5.0	628.8	6.92	20.8	6.9
5	Westfalen 1	160	0.0301	54.2	1090	480	610	230	16.9	13.5	24.9	5.7	6.7	3.22	3.40	26	1.68	0.12	1.81	2.86	2.00	26	15.1	13.4	1.7	206.4	2.86	8.6	2.8
6	Waltrop 3	165	0.0311	56.0	1000	420	580	400	22.4	16.2	34.1	13.6	7.7	5.60	3.47	14	3.93	0.21	4.14	6.55	2.08	14	36.0	30.8	5.2	647.8	7.07	21.2	7.0
7	Minister Achenbach 1	170	0.0321	57.8	950	400	550	400	22.8	16.4	34.7	13.9	7.7	5.60	3.47	12	4.00	0.21	4.21	6.67	2.08	12	36.7	31.3	5.3	666.9	7.22	21.7	7.2
8	Minister Achenbach 7	170	0.0321	57.8	1030	470	560	400	22.8	16.4	34.7	13.9	7.7	5.60	3.47	12	4.00	0.21	4.21	6.67	2.08	12	36.7	31.3	5.3	666.9	7.22	21.7	7.2
9	Ickern	165	0.0311	56.0	900	460	440	400	22.4	16.2	34.1	13.6	7.7	5.60	3.47	14	3.93	0.21	4.14	6.55	2.08	14	36.0	30.8	5.2	647.8	7.07	21.2	7.0
10	Haus Aden 6	165	0.0311	56.0	1390	1010	380	400	22.4	16.2	34.1	13.6	7.7	5.60	3.47	14	3.93	0.21	4.14	6.55	2.08	14	36.0	30.8	5.2	647.8	7.07	21.2	7.0
11	Ewald 5	175	0.0331	59.6	1370	1000	370	320	20.6	15.3	31.0	9.9	7.2	4.48	3.43	21	2.89	0.17	3.06	4.84	2.05	21	26.2	22.7	3.4	430.0	5.08	15.2	5.0
12	General Blumenthal 8	175	0.0331	59.6	1150	790	360	760	35.2	22.6	55.3	42.0	11.1	10.64	3.74	3	11.22	0.39	11.61	18.38	2.28	3	110.9	86.4	24.5	3061.7	23.61	70.8	23.4
13	Ewald Fortsetzung 3	165	0.0311	56.0	1150	810	340	600	28.7	19.3	44.4	26.7	9.3	8.40	3.59	5	7.43	0.31	7.74	12.25	2.18	5	70.4	57.6	12.8	1601.8	14.41	43.2	14.3
14	Auguste Victoria 8	162	0.0305	54.9	1300	980	320	600	28.3	19.1	43.8	26.3	9.2	8.40	3.58	7	7.34	0.31	7.64	12.10	2.17	7	69.4	56.9	12.6	1569.6	14.19	42.6	14.1
15	Auguste Victoria 9	162	0.0305	54.9	1350	1030	320	700	31.3	20.7	48.9	34.2	10.2	9.80	3.66	4	9.35	0.36	9.70	15.36	2.23	4	90.4	72.2	18.2	2272.6	18.87	56.6	18.7
16	Ewald 3	175	0.0331	59.6	1300	1010	290	400	23.2	16.6	35.4	14.2	7.7	5.60	3.47	11	4.08	0.21	4.29	6.79	2.09	11	37.4	31.9	5.5	686.1	7.37	22.1	7.3
17	Consol 9	165	0.0311	56.0	1280	1000	280	380	21.8	15.9	33.0	12.5	7.5	5.32	3.46	20	3.63	0.20	3.83	6.06	2.07	20	33.1	28.5	4.7	581.3	6.49	19.5	6.4
18	Schlägel & Eisen 5	165	0.0311	56.0	1230	970	260	400	22.4	16.2	34.1	13.6	7.7	5.60	3.47	14	3.93	0.21	4.14	6.55	2.08	14	36.0	30.8	5.2	647.8	7.07	21.2	7.0
19	Westfalen 7	160	0.0301	54.2	1340	1080	260	1070	42.2	26.1	67.0	71.7	14.8	14.98	4.08	1	17.57	0.54	18.11	28.67	2.50	1	189.2	134.7	54.5	6815.4	43.01	129.0	42.7
20	Wetterschacht Altendorf	160	0.0301	54.2	1220	970	250	850	35.6	22.8	56.0	47.6	11.8	11.90	3.80	2	12.52	0.43	12.95	20.50	2.32	2	125.6	96.3	29.3	3658.1	27.07	81.2	26.9
21	Waltrop 1	165	0.0311	56.0	810	580	230	570	27.7	18.9	42.9	24.4	9.0	7.98	3.57	9	6.85	0.29	7.14	11.31	2.16	9	64.5	53.1	11.4	1420.8	13.13	39.4	13.0
22	Hansa 3	170	0.0321	57.8	850	620	230	170	15.5	12.7	22.4	3.8	6.5	2.38	3.38	28	1.13	0.09	1.22	1.94	1.97	28	10.1	9.1	1.0	121.6	1.88	5.6	1.9
23	Waltrop 2	165	0.0311	56.0	810	580	230	580	28.0	19.0	43.4	25.2	9.1	8.12	3.57	8	7.04	0.30	7.34	11.62	2.17	8	66.4	54.6	11.8	1479.5	13.55	40.6	13.4
24	General Blumenthal 11	175	0.0331	59.6	980	770	210	250	18.3	14.1	27.1	6.8	6.8	3.50	3.41	22	1.99	0.13	2.12	3.36	2.02	22	17.9	15.8	2.1	261.9	3.42	10.3	3.4
25	General Blumenthal 6	175	0.0331	59.6	1280	1060	220	420	23.9	17.0	36.5	15.3	7.9	5.88	3.48	10	4.40	0.22	4.62	7.32	2.10	10	40.5	34.4	6.1	762.1	8.02	24.0	8.0
26	Hansa 2	170	0.0321	57.8	830	610	220	230	17.4	13.7	25.6	5.9	6.7	3.22	3.40	25	1.73	0.12	1.86	2.94	2.00	24	15.6	13.8	1.7	217.1	2.95	8.9	2.9
27	Ewald Fortsetzung 1	165	0.0311	56.0	1010	800	210	600	28.7	19.3	44.4	26.7	9.3	8.40	3.59	5	7.43	0.31	7.74	12.25	2.18	5	70.4	57.6	12.8	1601.8	14.41	43.2	14.3
28	Kurl 1	162	0.0305	54.9	410	200	210	200	16.1	13.0	23.5	4.7	6.6	2.80	3.39	27	1.39	0.11	1.50	2.37	1.98	27	12.4	11.1	1.3	159.4	2.33	7.0	2.3

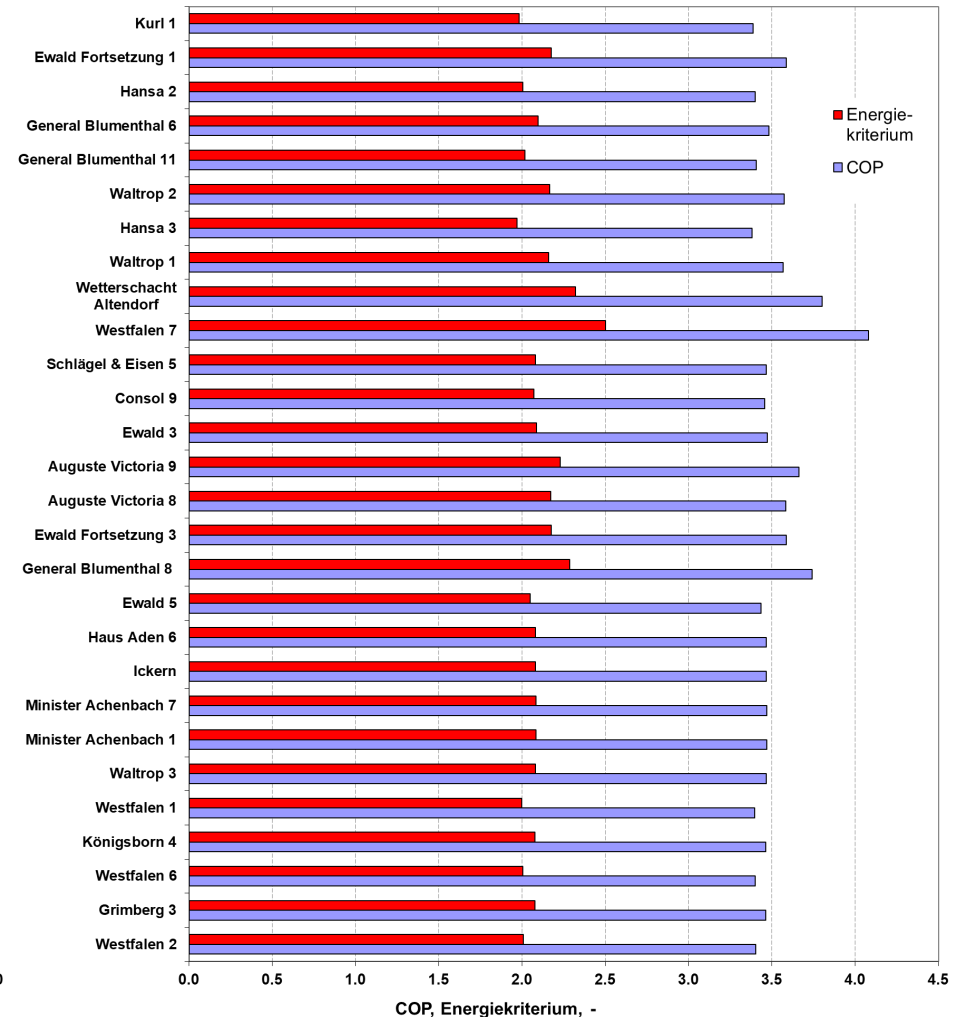
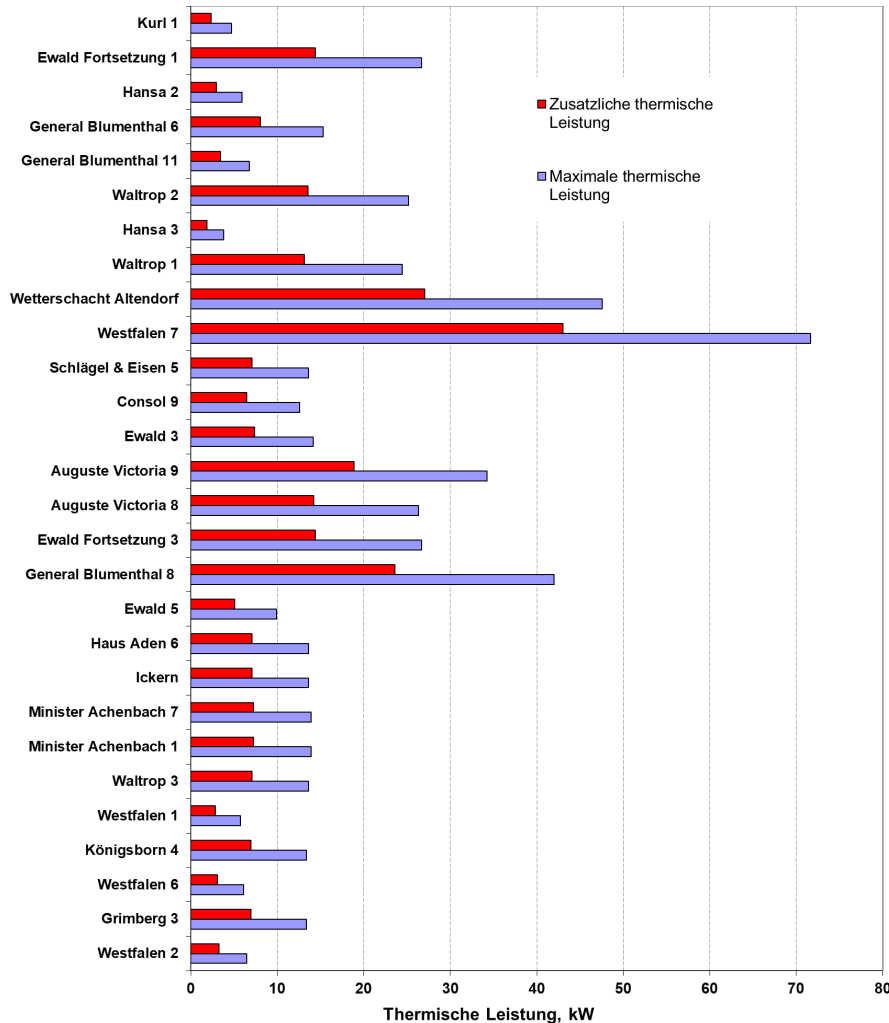
Bewertung der offenen Systeme an den ZWH (Stand 2020)



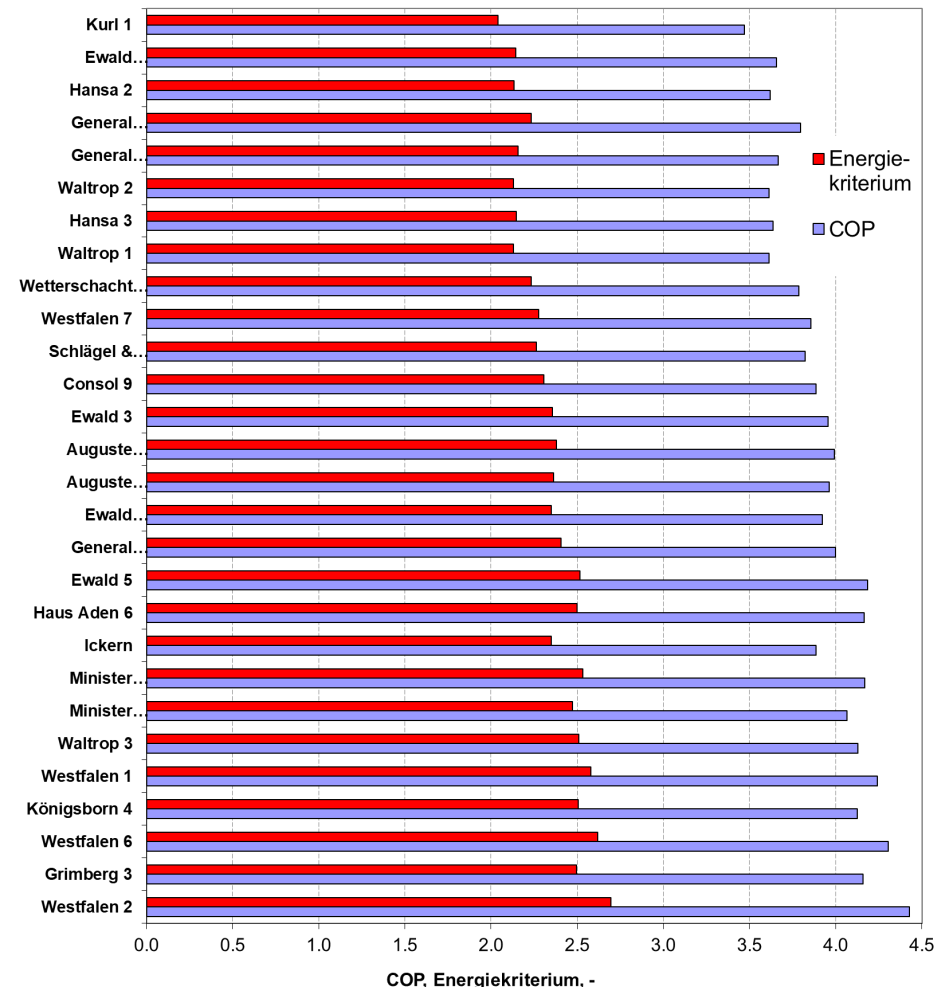
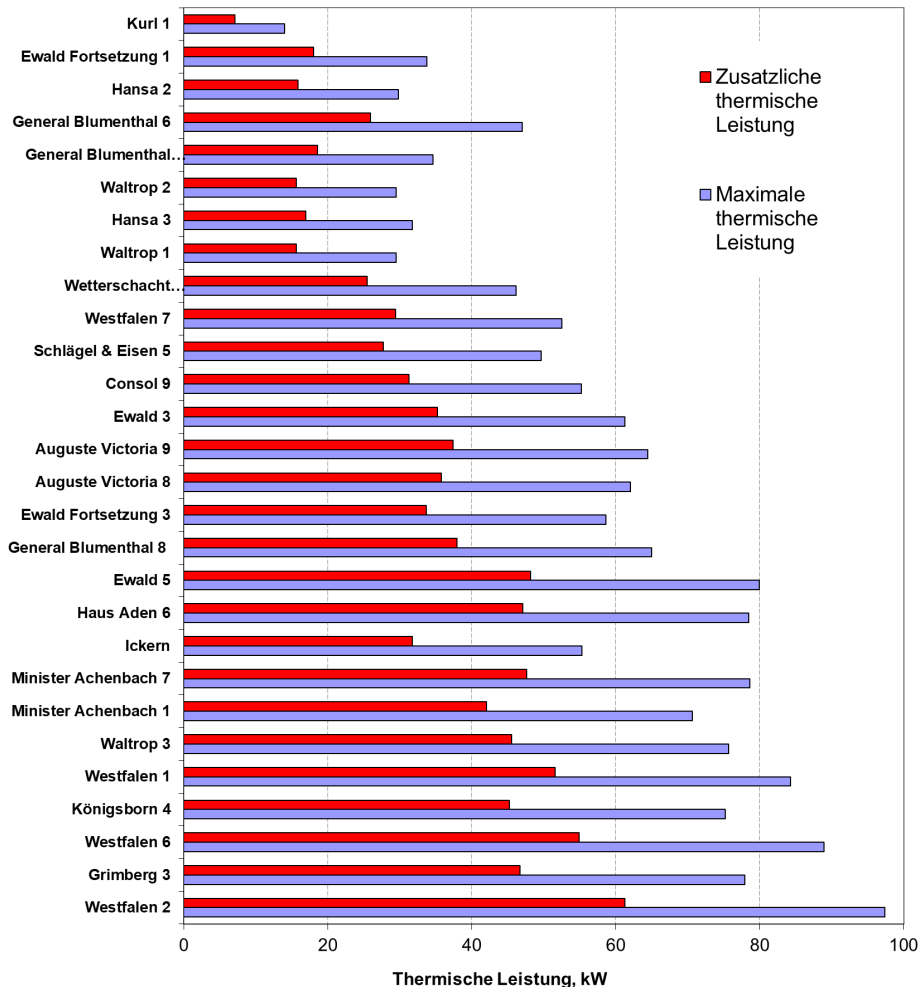
- **Zusätzliche therm. Leistung = Maximale therm. Leistung – Therm Äquivalent des verbrauchten elektrischen Energie**
- **Das Energiekriterium $\xi_E = 2.2 - 3$ bedeutet, dass beim Stromverbrauch mit thermischem Äquivalent 1 kWh_{th} man $2.2 - 3 \text{ kWh}_{th}$ gewinnen kann.**

Annahme: Strom wird an den Gaskraftwerken produziert

Bewertung U-förmiger EWS in Füllsäulen an den Schachtstandorten (Stand 2020)



Bewertung der coaxialen EWS in Wassersäulen an den Schachtstandorten (Stand 2020)



Annahme: Strom wird an den Gaskraftwerken produziert

Faktoren zur weiteren Berücksichtigung

- Temperaturänderung des Wärmeträgerfluides entlang des Kreislaufs im geschlossenen System
- Detaillierung vom Wärmeaustausch mit den Gebirgen und dem Wasser
- Verfeinerung der Temperaturprofile in den Gebirgen und gefluteten Bergbaue Gebäuden

Schlussfolgerungen

- Die entwickelte Methode erzielt auf der Bewertungen zur Effizienz von Gewinnung der Erdwärmeenergie an den stillgelegten Bergwerken.
- Das vorgeschlagene Energiekriterium steht in Beziehung die gewonnene Wärmeenergie mit dem Stromverbrauch für den Betrieb des geothermischen Systems zueinander, was die Energieeffizienz und zusätzlich gewonnene Wärmeenergie auswerten lässt.
- Mit dem entwickelten Kriterium und Bewertungsmatrix wurden 8 ZWH und 28 Schachtstandorten im Ruhrrevier plus EBV und Ibbenbüren bezüglich ihres Erdwärmeenergienutzungspotenzials bewertet, eingestuft; darauf wurden die Vorzugsstandorte identifiziert.

Neuheit der Methode

- Das energetische Kriterium lässt die Effektivität der Wärmeenergiegewinnung mit geothermischen Installationen verschiedenen Typen umfassend bewerten.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!