



Geothermische Fernwärme in Rumänien

Nutzungspotenzial und Optimierungsstrategien für Lovrin

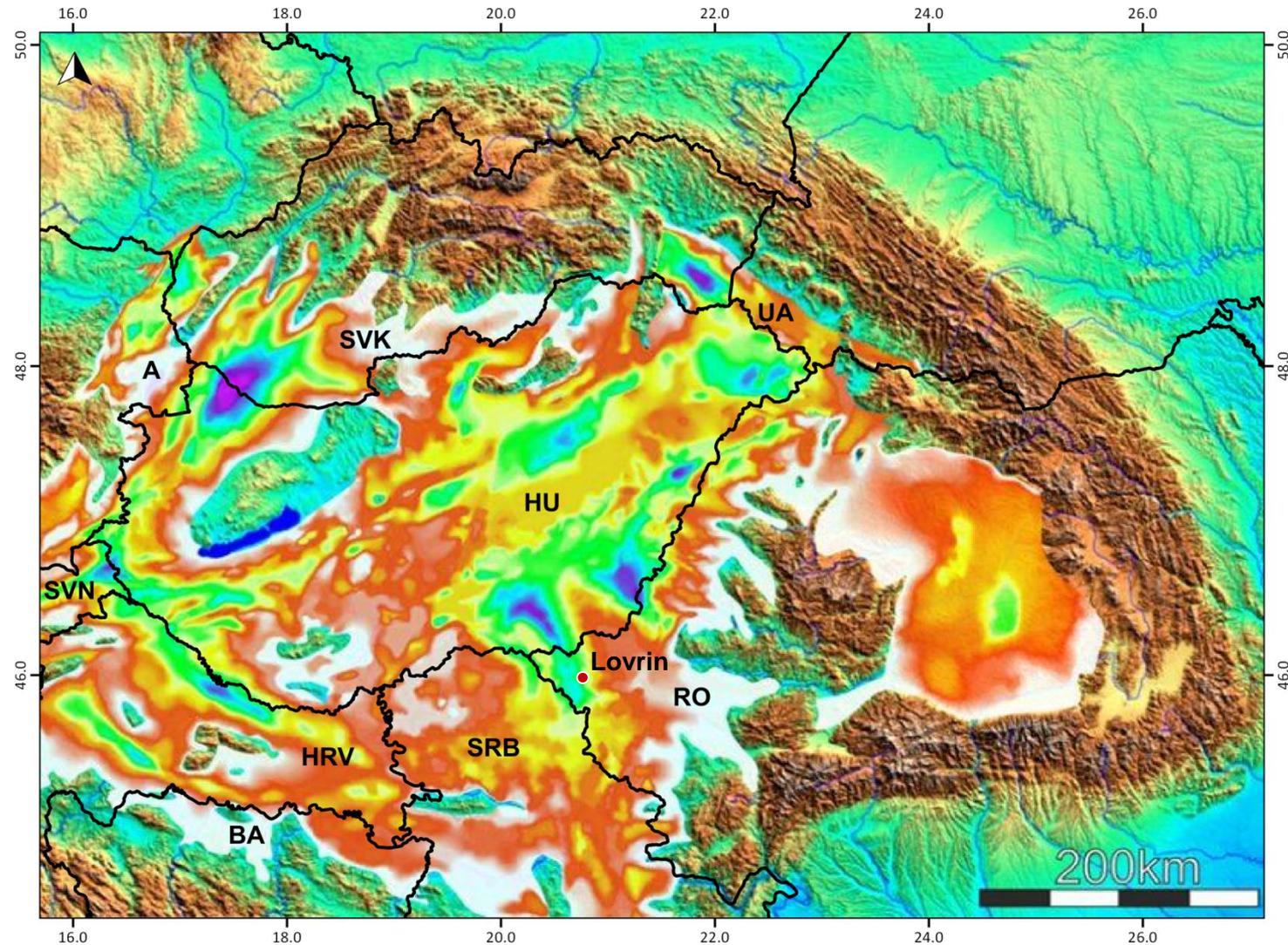
by Dr. Michael Kraml (Senior Geologist/Geochemist)

GeoThermal
ENGINEERING

Agenda

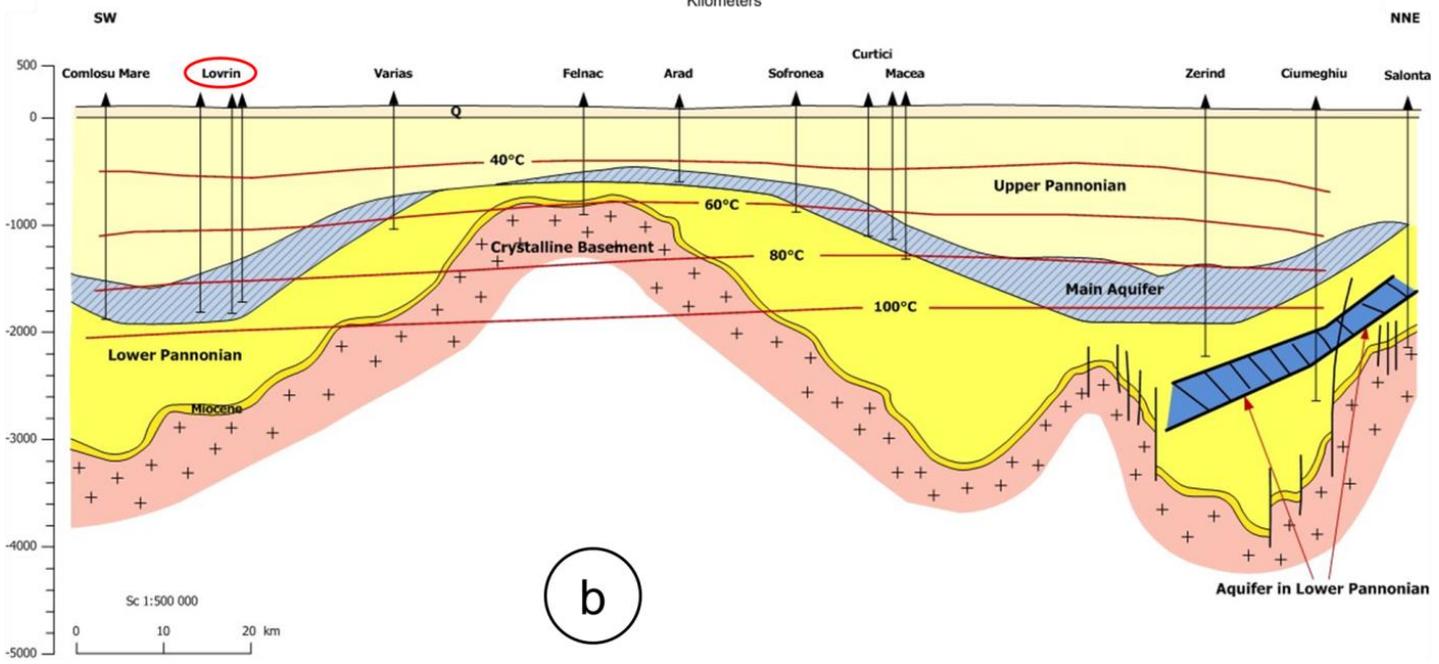
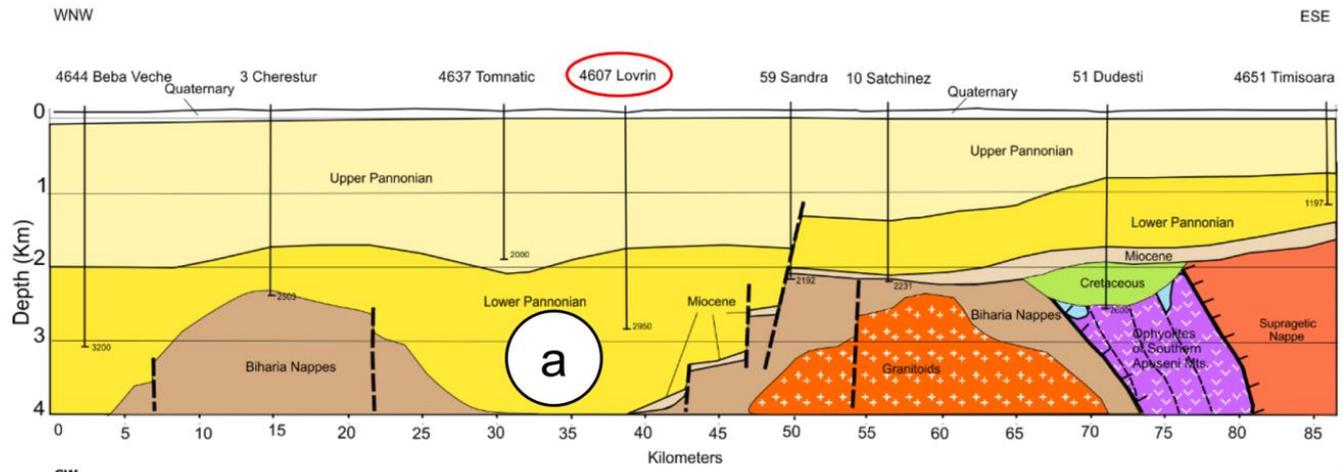
- **Einführung in die Geologie des pannonischen Beckens**
- **Ist-Zustand der Geothermie in Lovrin**
- **Untersuchungen des Thermalwassers und der Ablagerungen**
- **Optimierungsmöglichkeiten**
- **Übertragung auf andere Gemeinden**

DAS PANNONISCHE BECKEN



Quelle: Balázs et al. (2016, modifiziert)

VERTIKALSCHNITT DURCH DAS BECKEN BEI LOVRIN



Quelle: (a) Rotár-Szalkai et al. 2018, modifiziert (b) DARLINGe project; nach Panu et al. 2002

IST-ZUSTAND DER GEOTHERMIE IN LOVRIN (1)



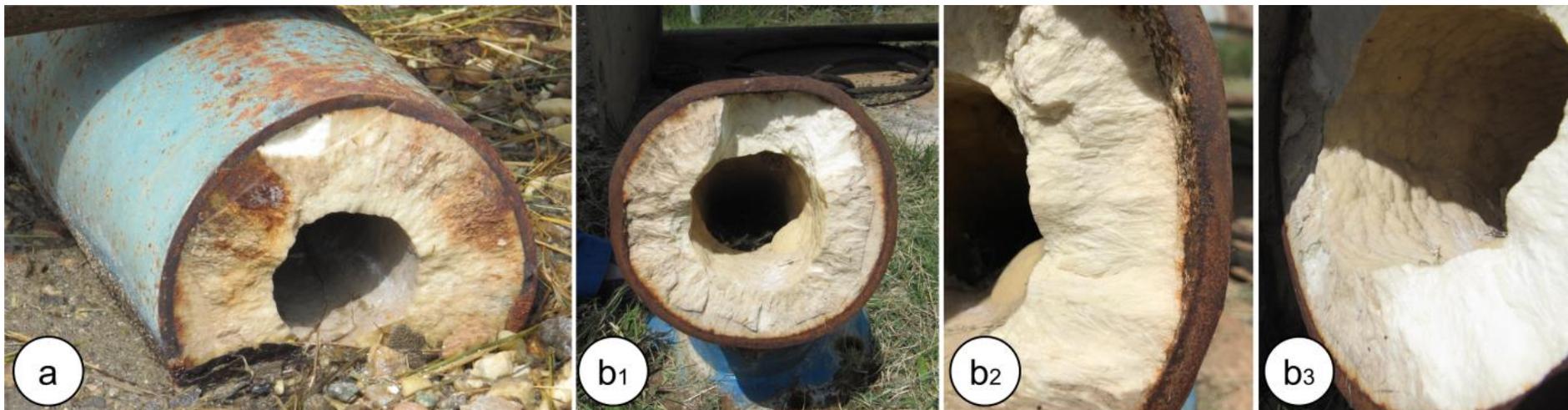
Faktor 1: Das Reservoir-Gestein ist ein Tonhaltiger Sandstein!

Kleine Poren im Sandstein verstopfen sich schnell mit feinkörnigen Schwebstoffen im Thermalwasser (Suspensionsfracht), welches die **Reinjektion verhindert** (selbst bei hohen Drücken). Deshalb ist die bisherige Nutzung nicht nachhaltig, d.h. es wird nur Wasser entnommen und bei Erhöhung der Entnahme würde das Reservoir schnell erschöpft sein.

IST-ZUSTAND DER GEOTHERMIE IN LOVRIN (2)

Faktor 2:

Beim Aufstieg des Thermalwassers kommt es zur Druckentlastung und damit verbundener Entgasung (ähnlich dem Öffnen einer Champagner-Flasche). Dabei handelt es sich nicht nur um Methan sondern auch um etwas Kohlendioxid (CO_2). Die Entgasung von CO_2 führt zur Ausfällung von Kalk (CaCO_3) besonders im Rohr zwischen dem Bohrkopf und dem Entgaser. Der jährliche Austausch der Rohre bedingt einen hohen Wartungsaufwand (Zeit und Kosten).



IST-ZUSTAND DER GEOTHERMIE IN LOVRIN (3)

Faktor 3: Das Thermalwasser fließt direkt durch die Heizkörper der Gebäude, welches ebenfalls zu einem erhöhten Wartungsaufwand führt (Zeit und Kosten). Davon gibt es bisher eine Ausnahme (Abbildung). Jedoch wäre es sehr aufwändig und teuer, alle an die Thermalwasserversorgung angeschlossenen Gebäude mit einem kleinen Wärmetauscher zu versehen.



IST-ZUSTAND DER GEOTHERMIE IN LOVRIN (4)

Faktor 4: Die 1,5 km lange Thermalwasserleitung zur Heizzentrale ist nicht isoliert, wodurch ein Teil der Wärme ungenutzt verloren geht.



Quelle: GeoT

IST-ZUSTAND DER GEOTHERMIE IN LOVRIN (5)

Faktor 5: Das Thermalwasser wird in einen Entwässerungsgraben geleitet (im Sommer mit 62 °C welches bei 19 °C Lufttemperatur einer thermischen Energie von 1 MW entspricht). Das Thermalwasser enthält Schadstoffe und die hohe Temperatur führt zu einer Abnahme des Sauerstoffgehalts auch zum Nachteil von Wasserlebewesen. Ein Teil des Wassers sickert in das Grundwasser, welches zur Bewässerung und als Trinkwasser genutzt wird (langfristige Schadstoffanreicherung).



IST-ZUSTAND DER GEOTHERMIE IN LOVRIN (6)

Faktor 6: Das Methan (1 m^3 pro m^3 Wasser) entweicht ungenutzt aus dem Entgaser. Der noch im Wasser gelöste Anteil an Kohlenwasserstoffen erreicht das Thermalbad und entgast dort.

Wasserprobe TH

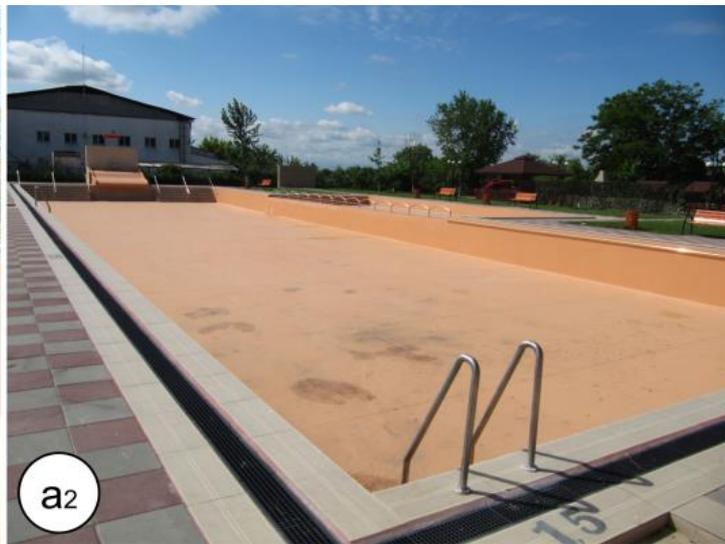


Wasserprobe HB



IST-ZUSTAND DER GEOTHERMIE IN LOVRIN (7)

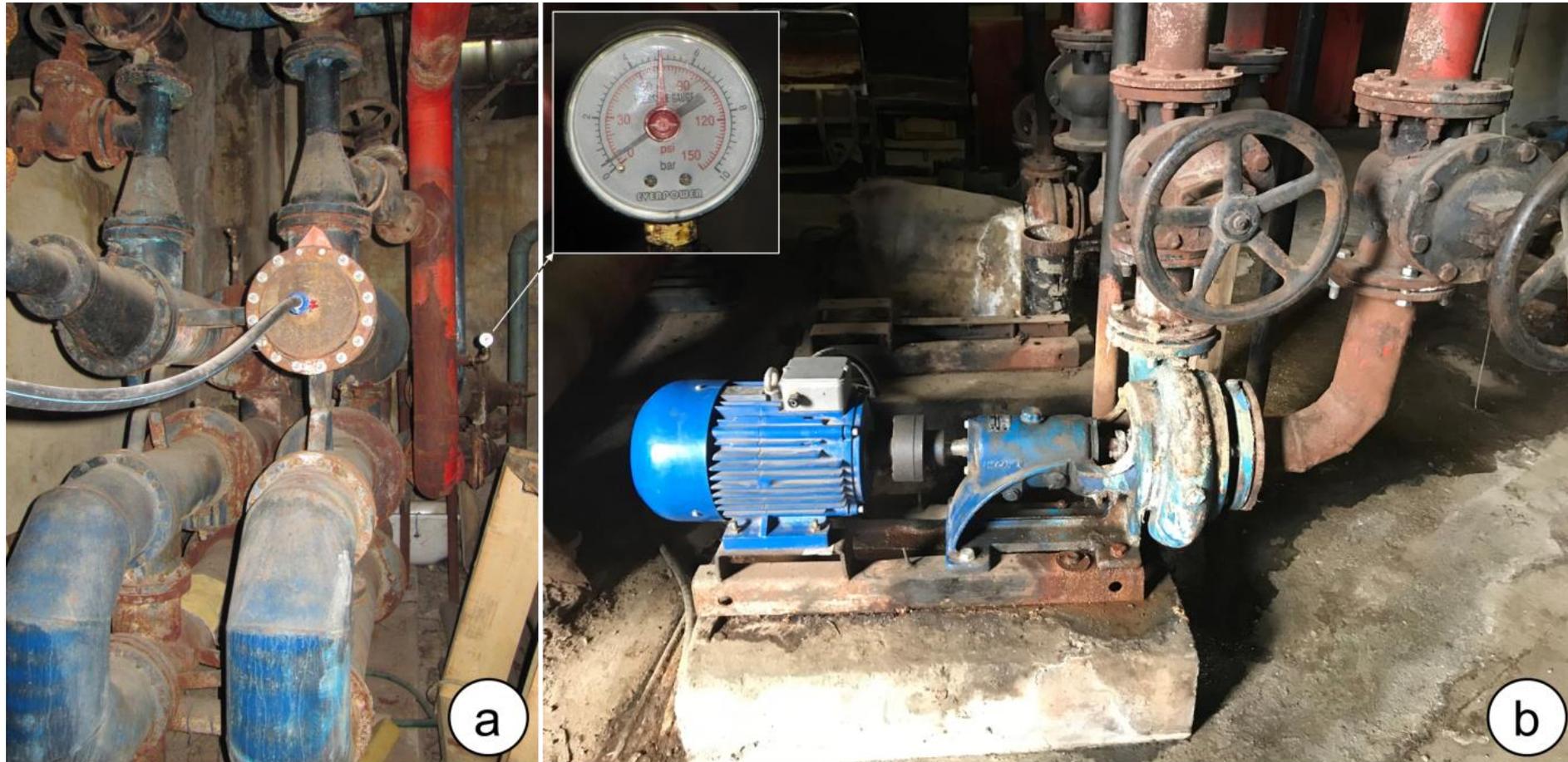
Faktor 7: Das Thermalwasser wird zuletzt auch für ein Thermalbad genutzt, welches in hervorragendem Zustand ist. Allerdings sind einige Inhaltsstoffe des Thermalwassers (Bor und insbesondere Phenole, welche eingeatmet werden) gesundheitsschädlich.



Quelle: GeoT

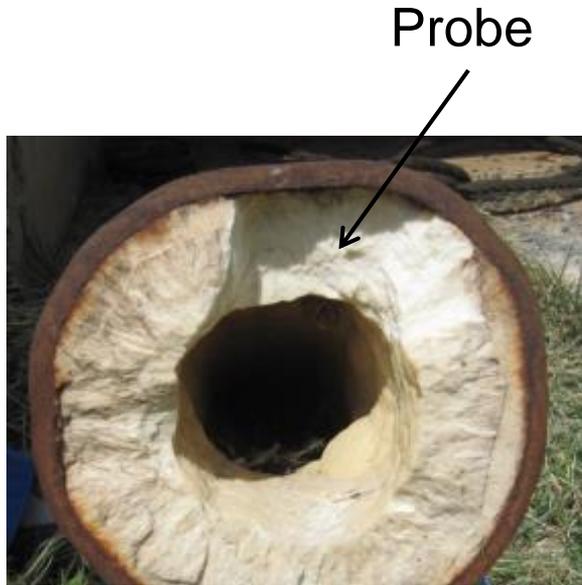
IST-ZUSTAND DER GEOTHERMIE IN LOVRIN (8)

Faktor 8: Einige der Installationen sind nicht mehr in gutem Zustand (korrodiert). Insbesondere ist die Heizzentrale schon längere Zeit außer Betrieb.

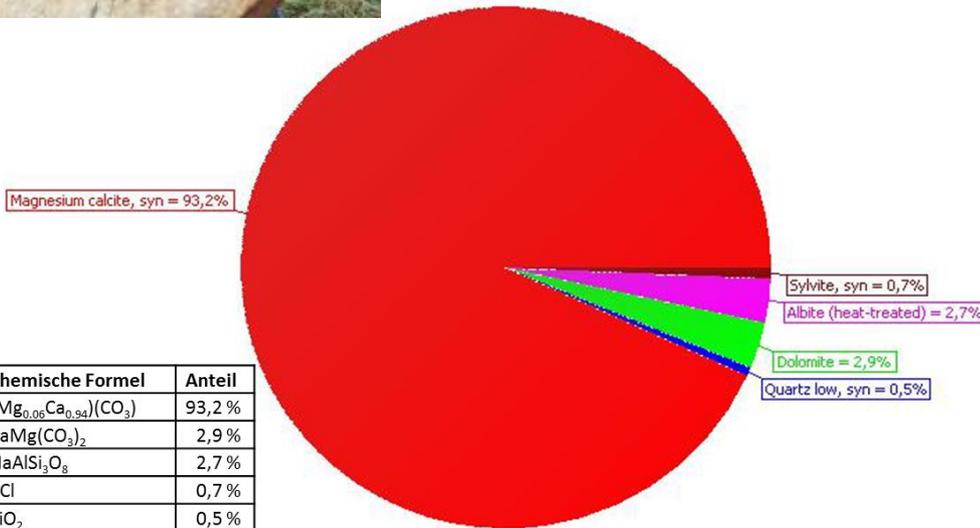
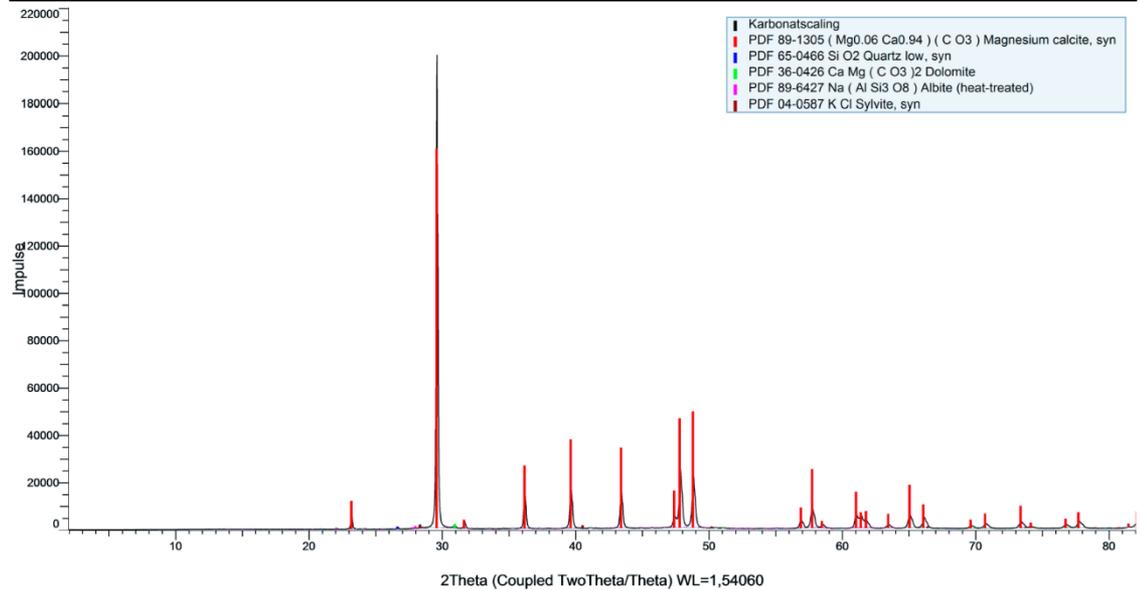


Quelle: GeoT

UNTERSUCHUNGEN: THERMALWASSER UND SCALES

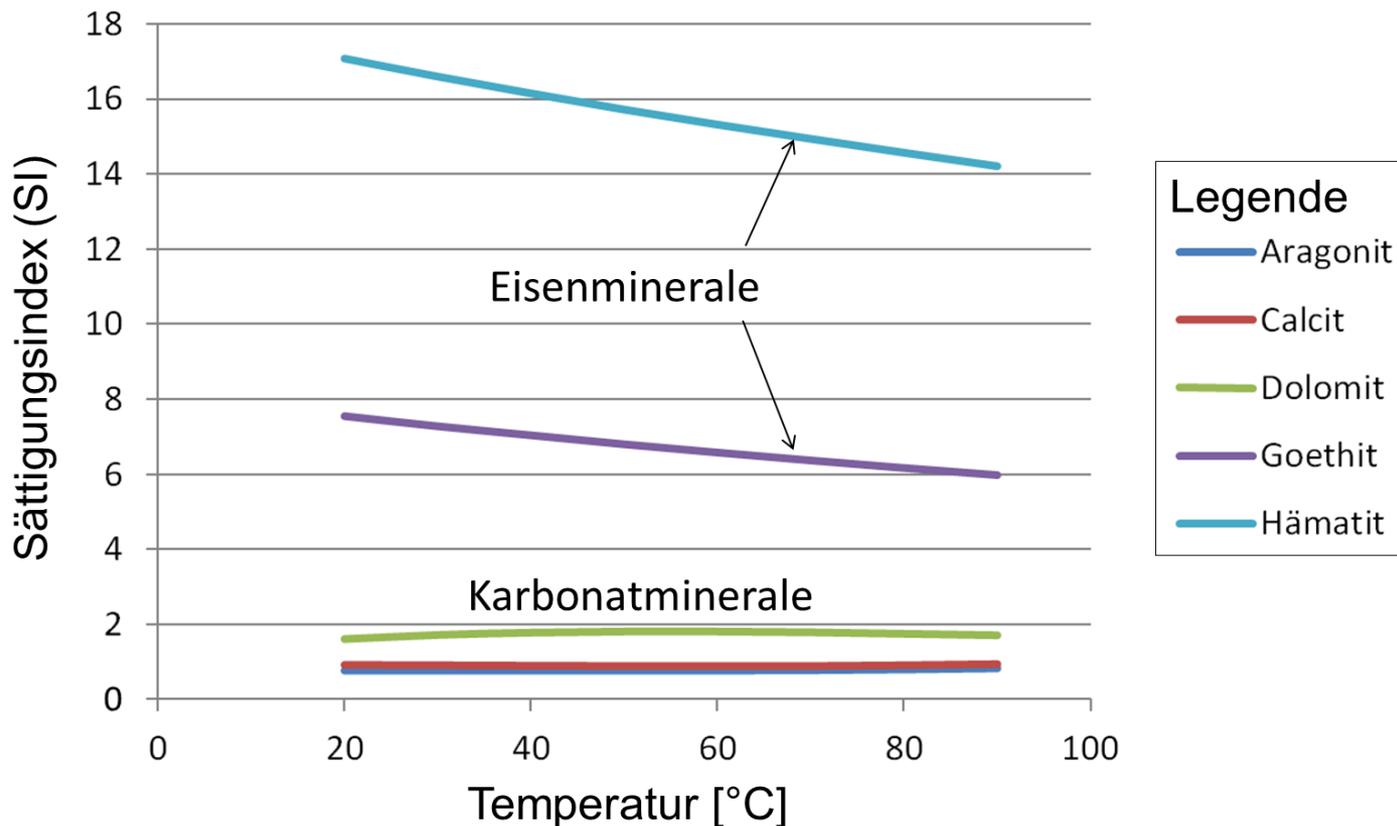


(Coupled TwoTheta/Theta)



Karbonat (Probe TH)	Chemische Formel	Anteil
Magnesium-Calcit	(Mg _{0,06} Ca _{0,94})(CO ₃)	93,2 %
Dolomit	CaMg(CO ₃) ₂	2,9 %
Albit (getempert)	NaAlSi ₃ O ₈	2,7 %
Sylvin	KCl	0,7 %
Quarz (Tiefquarz)	SiO ₂	0,5 %

UNTERSUCHUNGEN: THERMALWASSER UND SCALES



Quelle: GeoT

Thermalwasser:
Bei der geochemischen Modellierung der Wasserzusammensetzung zeigt sich, dass die Karbonatminerale Calcit, Dolomit sowie Aragonit und die Eisenminerale Hämatit sowie Goethit über den gesamten modellierten Temperaturbereich deutlich übersättigt sind.

UNTERSUCHUNGEN: THERMALWASSER UND SCALES

Thermalwasser:

Die Messung der vor-Ort-Parameter und die chemischen Analysen haben ergeben, dass die Temperatur, Chlorid, Gesamtsalzgehalt, Ammonium und Phenole über den Grenzwerten zur Einleitung in natürliche Gewässer (NTPA 001) liegen.

Zieht man noch die Grenzwerte der WHO (2017) heran, liegt auch das in höheren Konzentrationen giftige Bor deutlich darüber.

Bei der Einleitung in eine Kanalisation (NTPA 002) wäre nur die Temperatur zu hoch.

Messgröße	Einheit	22.05.19 (TH)	22.05.19 (HB)	WHO	NTPA 001	NTPA 002
Temperatur	[° C]	72	66		35	40
Cl ⁻	[mg/l]	893	878		500	
NH ₄ ⁺	[mg/l]	21 - 30		1,5	2	
Bor	[mg/l]	5,2	5,1	2,4		
TDS	[mg/l]	3050 - 3800	3090		2000	
Phenole	[mg/l]	2,3 - 4,5			0,3	30

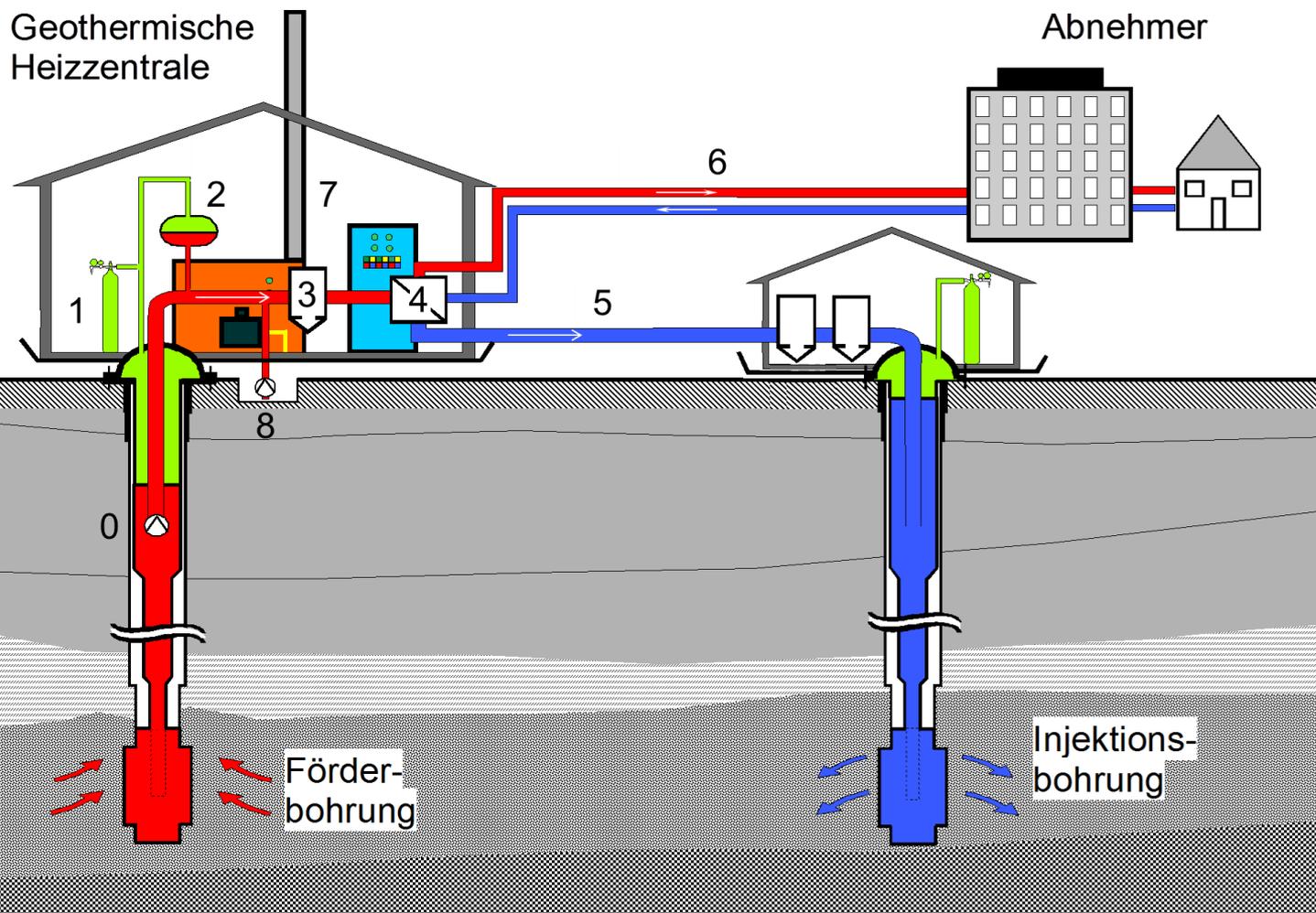
Wertebereiche durch Berücksichtigung von früheren Analysen

Quelle: GeoT und frühere Analysen

OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN (1)

Geothermische
Heizzentrale

Abnehmer



Variante 1a:

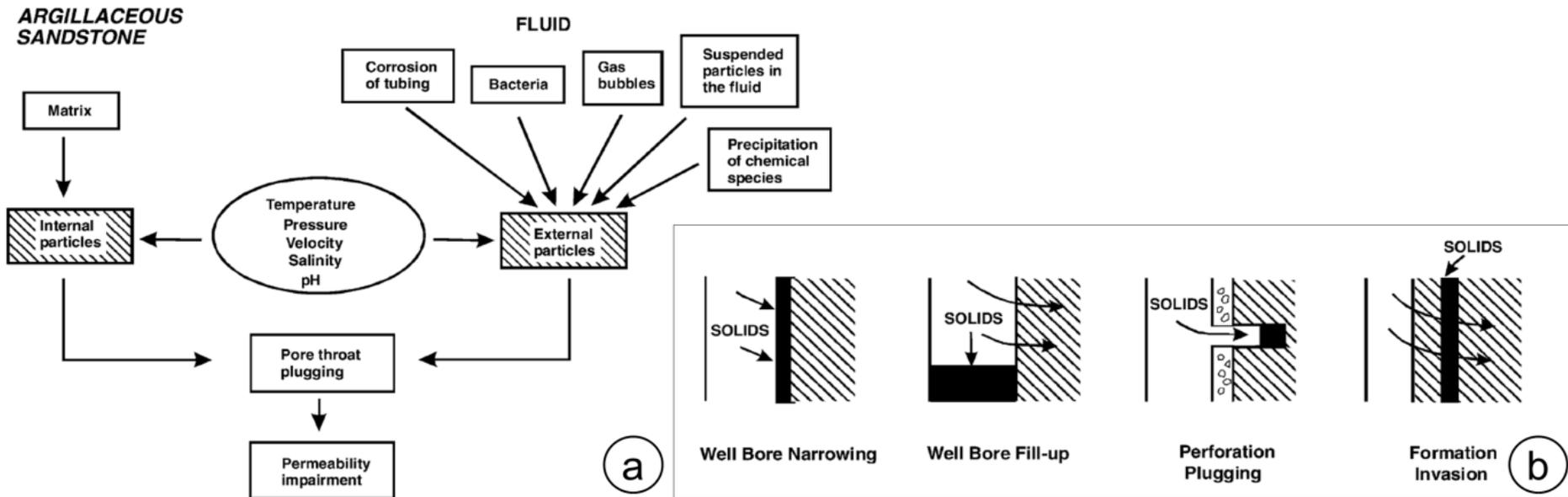
Geschlossener Thermalwasserkreislauf mit Reinjektion, maximaler Druckhaltung, zentralem großen Wärmetauscher und Filterung mit drei Filtern. Vollständig getrennter Heizkreislauf mit ent-ionisiertem Leitungswasser & Übergabestationen in den Gebäuden.

Quelle: Huenges & Erbas (1999), modifiziert

OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN (1)

Optimierung 1: Reinjektion

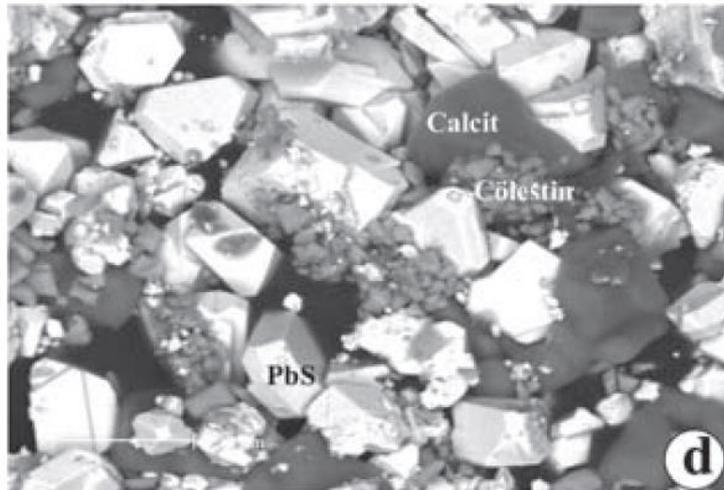
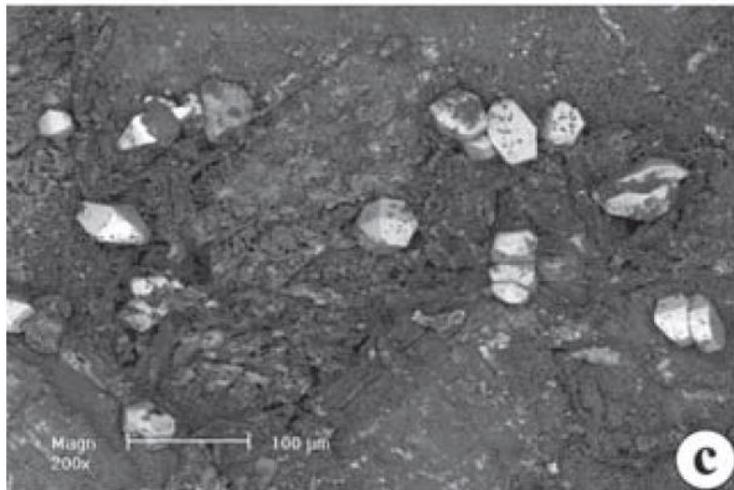
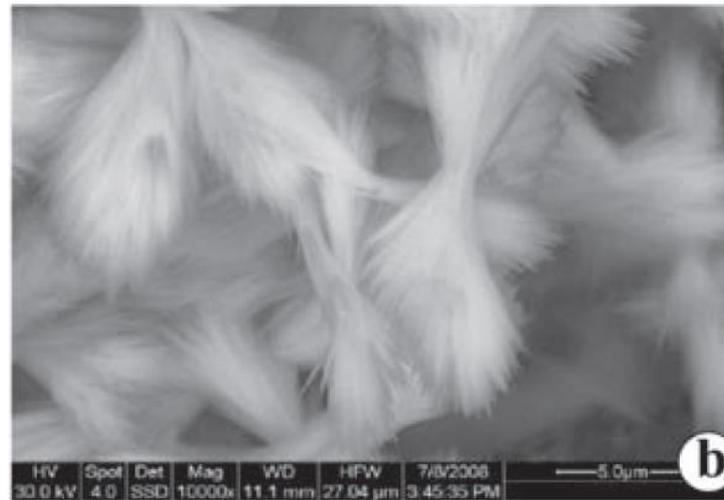
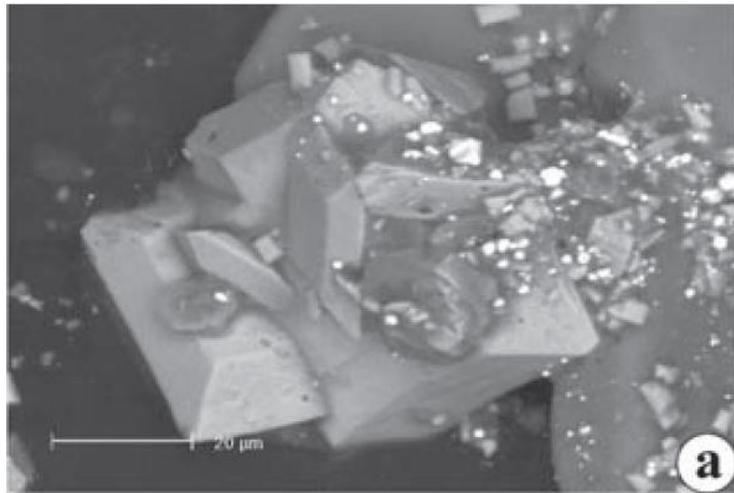
Zuvor: Untersuchung der Faktoren (siehe unten), welche bisher zur Verhinderung der Reinjektion geführt haben => hydrologisches Gutachten.



Quelle: Ungemach (2003)

HYDROLOGISCHES GUTACHTEN (1): SCHWEBSTOFFE

1. Untersuchung der Art, Menge und Korngröße der Schwebstoffe im Thermalwasser (an heutiger Einleitungsstelle).

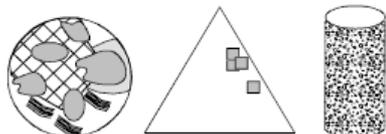


Quelle: Wolfgramm et al. (2011)

HYDROLOGISCHES GUTACHTEN (2): DURCHFLUSS-TEST

1. Petrographie

- Mikroskopische Untersuchungen (z.B. "point-counting"),
- Auswahl geeigneter Kernproben

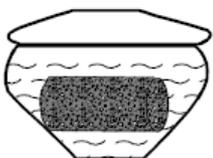


Daten, Ergebnisse

Mineralogie, Diagenese, Fazies der Gesteine (Ab-lagerungsbedingungen)

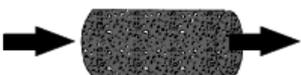
2. Sättigen des Kerns:

48 Stunden in einem Exikator mit künstliches Sättigungsfluid



Zusammensetzung des Sättigungsfluids

3. Durchströmen mit Sättigungsfluid



Zusammensetzung des Fluids nach der Durchströmung, Permeabilität

4. Petrographie

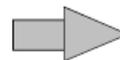
- Mikroskopische Untersuchungen



Lösungs- und Fällungs-erscheinungen, Partikelumlagerungen

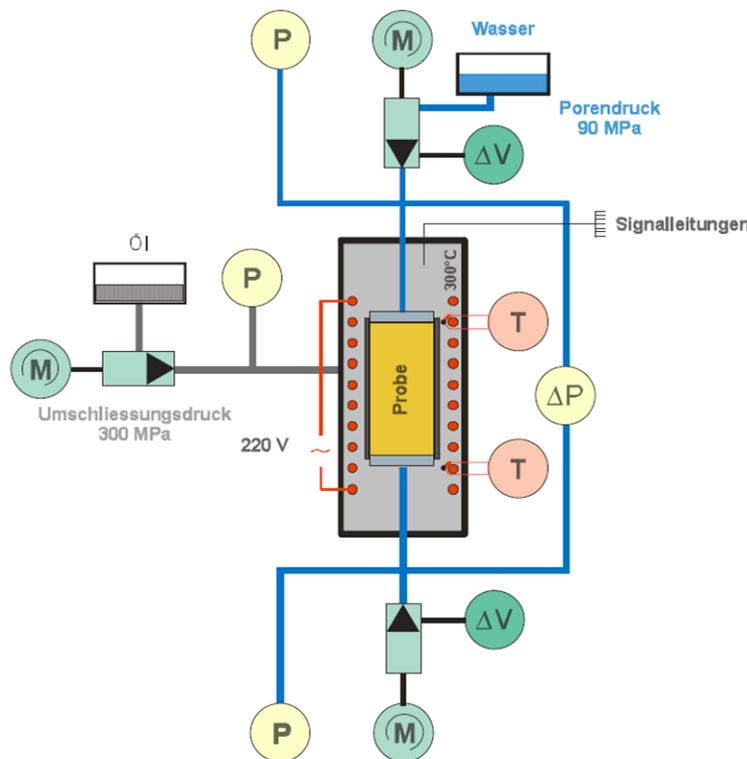
5. Chemische Unter-suchungen der Wässer

- Leitfähigkeit, pH,
- Fe, Mn, Na, Cl, K



Lösungs- und Fällungs-reaktionen

Durchfluss-Test: Untersuchung der Bohrkerne im Labor (siehe Abbildungen).



6. Tonmineral-Röntgenbeugungsanalyse der Ton-haltigen Sandsteine zur Überprüfung, ob quellfähige Tonminerale enthalten sind.

HYDROLOGISCHES GUTACHTEN (3): DRUCKSÄUERUNG

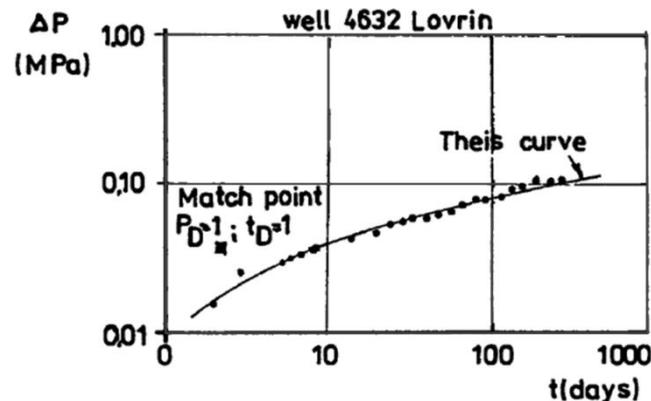
Inspektion mit Drucksäuerung einer bestehenden Bohrung zur Vorbereitung der Reinjektion. Dabei werden die verstopfenden Partikel aufgelöst und die Integrität der Verrohrung der Bohrung (Casing) sowie des Bohrkopfes geprüft.



HYDROLOGISCHES GUTACHTEN (4): INTERFERENZTEST

a r e a	a n u f.	obs. well	production well	flow rate	dist. km	Δp MPa	time days	Match point		kh D.m	δch m/Pa
								$P_{\eta=1}$ Δp MPa	$t_{\eta=1}$ t days		
I O V R T N	med.	1544	4607	+ 9.0	0.750	0.018	14	0.023	1.8	23.0	1.79×10^{-8}
			4636	+ 9.0	0.675	0.041	17	0.024	1.4	22.1	1.65×10^{-8}
			4632	+14.0	0.400	0.092	8	0.052	0.6	15.8	1.44×10^{-8}
			4632+4636	+20.0	0.525	0.153	127	0.062	2.3	18.4	3.72×10^{-8}
		1543	4607	-10.0	1.875	0.017	15	0.024	7.0	24.5	1.18×10^{-8}
			1544+4636	+20.0	1.450	0.084	150	0.050	15.0	23.6	4.08×10^{-8}
			1636+4632	+20.0	1.425	0.055	123	0.045	2.7	26.2	8.45×10^{-7}
		1538	1544+4636	-20.0	1.500	0.030	175	0.044	115.0	26.8	3.32×10^{-7}
			4636+4632	+20.0	1.375	0.036	183	0.046	100.0	25.6	3.30×10^{-8}
		4632	4607	- 8.0	0.750	0.009	14	0.065	1.0	72.5	5.94×10^{-7}
			1544+4636	+20.0	0.450	0.101	185	0.040	3.0	29.4	1.05×10^{-8}
		4636	4607	-10.0	0.375	0.056	12	0.046	1.6	12.8	3.54×10^{-8}
		4632	+14.0	0.475		12	0.012	0.5	71.7	3.85×10^{-8}	
	1535	4607	-10.0	1.500	0.028	16	0.030	5.5	19.6	1.16×10^{-8}	
		1544+4636	+20.0	1.250	0.094	150	0.050	7.5	19.6	2.20×10^{-8}	

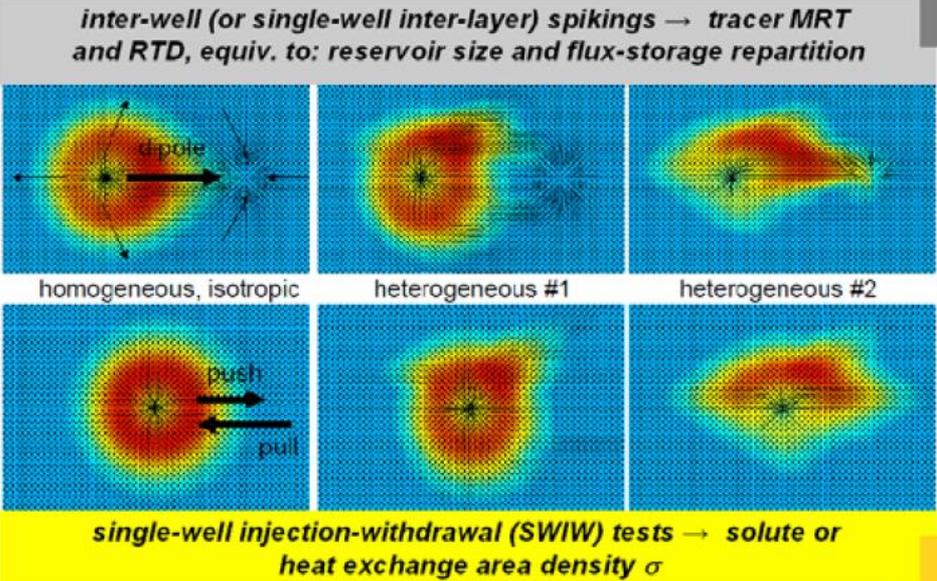
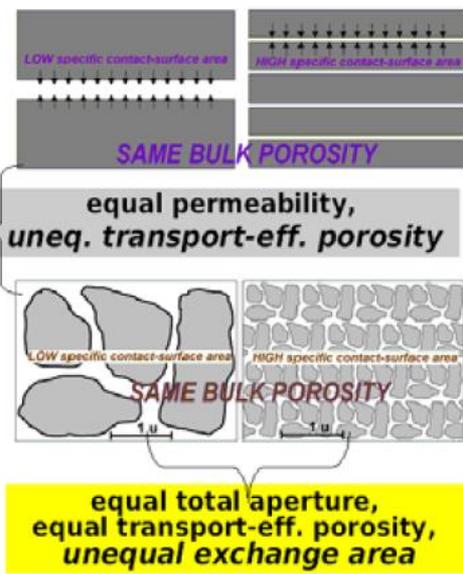
Quelle: Plavită & Cohut (1990)



HYDROLOGISCHES GUTACHTEN (5): TRACER-TEST

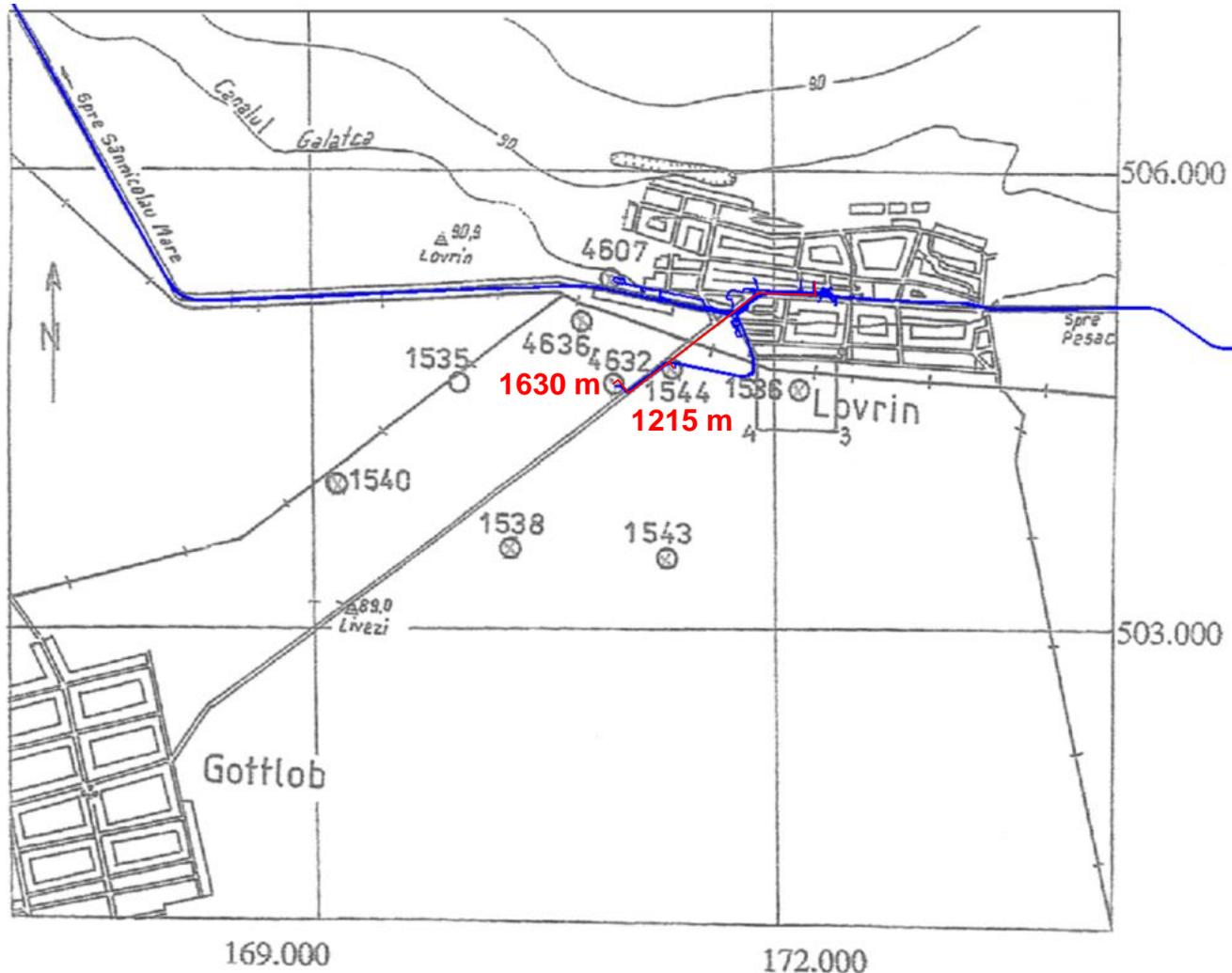
Examples of flow-path spikings:
(a) single-well dipole, forced vertical inter-layer gradient
(b) forced-gradient monopole in a two-phase system (with several observation wells)

hydraulic methods cannot, whereas tracer methods can discern between:



Principle of a single-well injection-withdrawal (SWIW) or 'push-pull' test:
 tracer BTCs from single-well push-pull tests using solutes with **(a)** fast-equilibrium sorption, or with **(b)** kinetic exchange or matrix diffusion (heat and solutes as tracers); the latter suffers from a certain degree of ambiguity between non-AD parameters

OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN (1)



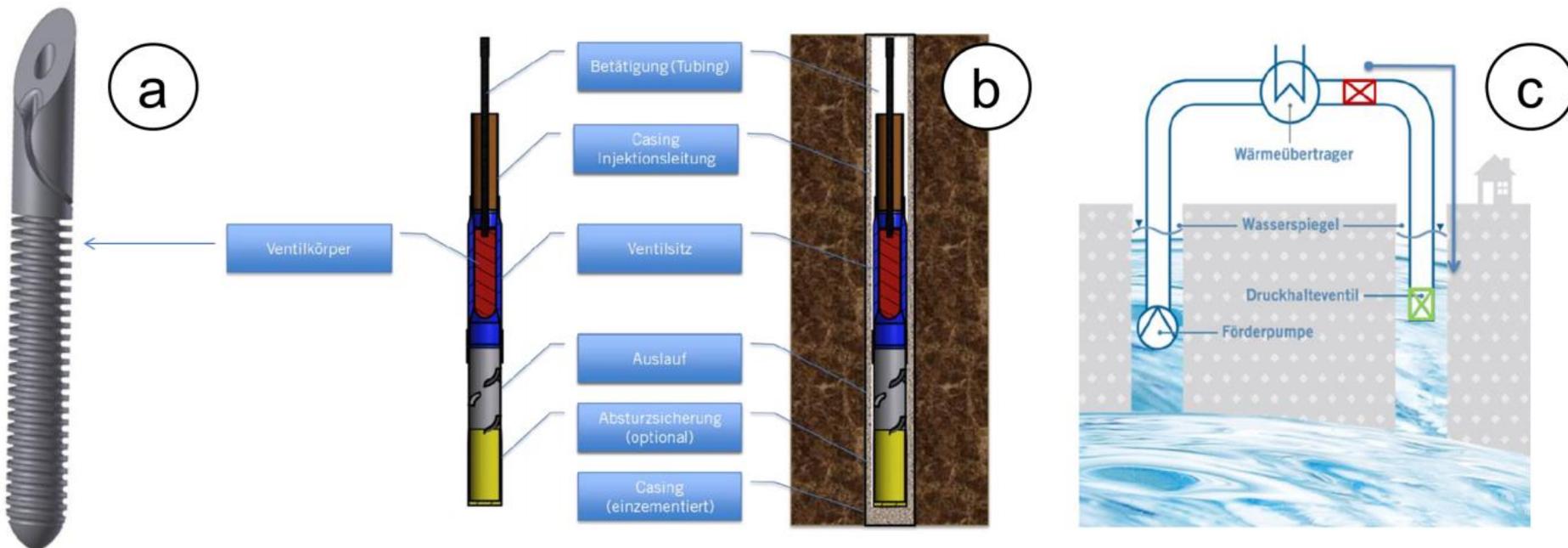
Optimierung 1:
Bau einer 1630 m langen Reinjektionsleitung zu Bohrung 4632, Druckhaltung mit Stickstoff-Beaufschlagung, großem Wärmetauscher, und drei Doppel-Filtern.

OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN (2)

Variante 1a (Reinjektion):

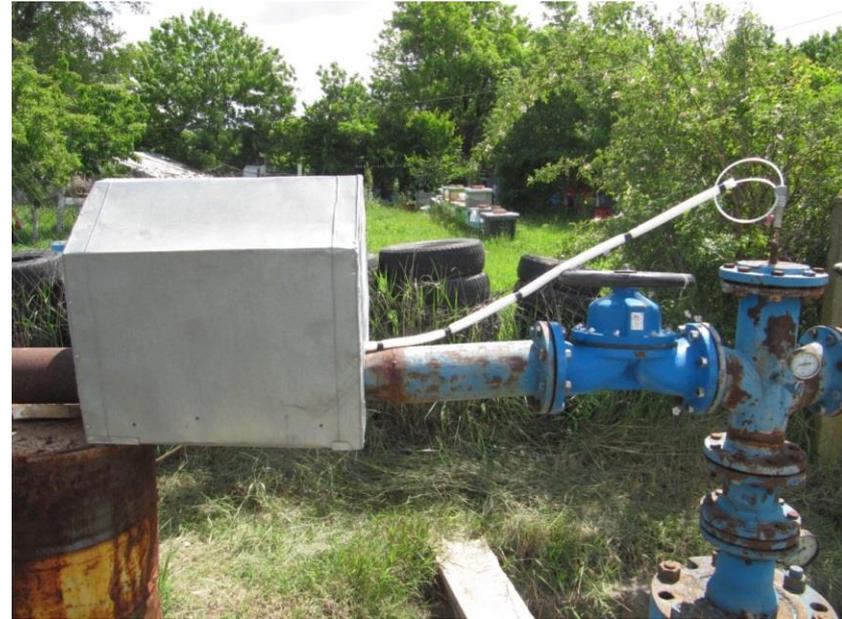
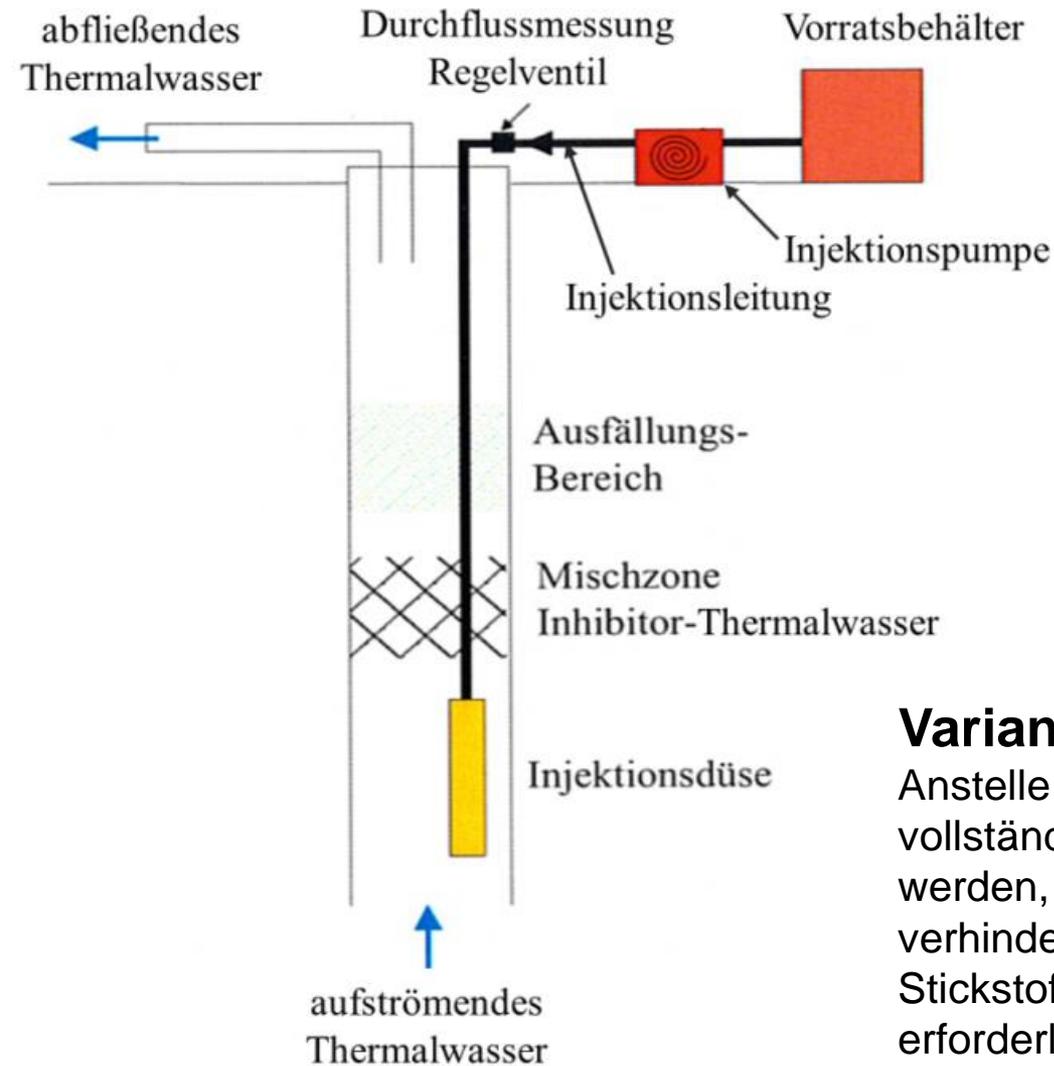
Optimierung 2:

Zusätzliche Druckhaltung in der Reinjektionsbohrung zur Verhinderung von Ausfällungen



Quelle: gec-co (2017)

OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN (3)



Quelle: GeoT

Variante 1b (Reinjektion mit Inhibition):

Anstelle der maximalen Druckhaltung kann ein vollständig biologisch abbaubarer Inhibitor eingesetzt werden, um die Bildung von Kalkablagerungen zu verhindern. Eine minimale Druckhaltung mit Stickstoffbeaufschlagung ist aber auf jeden Fall erforderlich, u.a. um die Bildung von Metalloxiden/-hydroxiden zu verhindern.

OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN (4)

Variante 2 (Wasseraufbereitung):

Aufgrund des hohen Chlorid-Gehalts kommt noch nicht einmal eine Wasseraufbereitungsanlage (auf Ionentauscherbasis) zur Abtrennung von Bor in Frage. Selbst wenn es ginge, hätte dies gravierende Nachteile: (i) eine zusätzliche Belastung des Thermalwassers mit Chlorid und (ii) die Verlagerung des Entsorgungsproblems durch Verbringung der Regenerierlösung auf eine Sondermülldeponie.



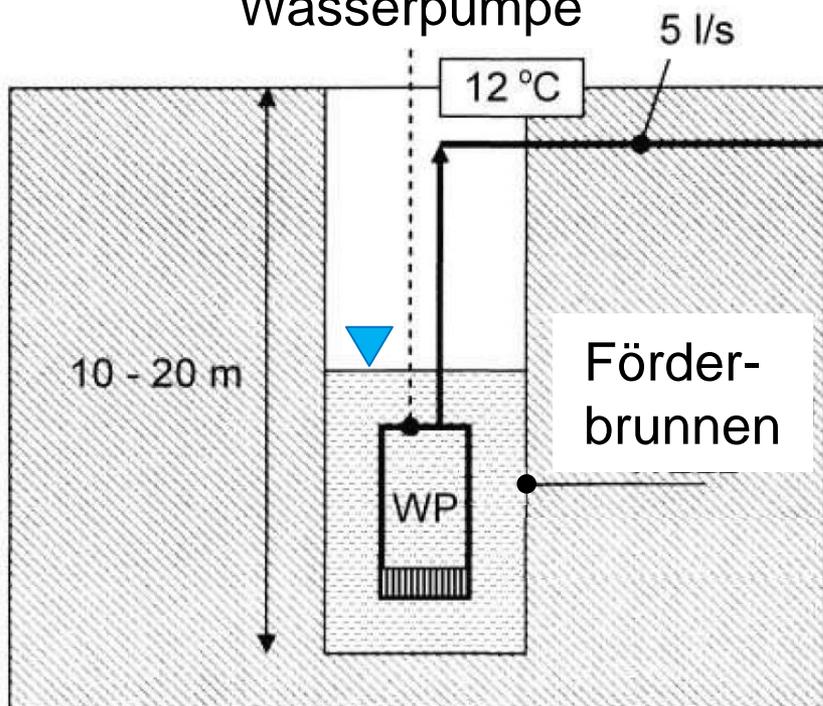
Quelle: www.hydroisotop.de

OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN (5) GW-VERDÜNNUNG

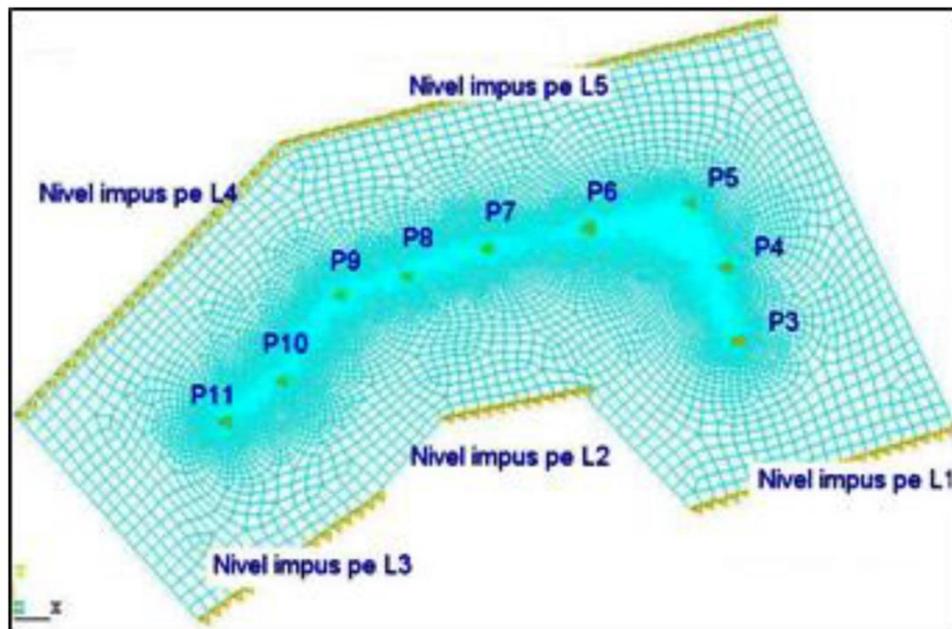
Variante 3 (Verdünnung mit Grundwasser):

Anstelle der Wasseraufbereitungsanlage kann eine Verdünnung mit Grundwasser durchgeführt werden, um eine Überschreitung der Grenzwerte zu verhindern. Dazu sind 3 neue Brunnen im Bereich des Thermalbades notwendig (2 plus 1 für Redundanz). Pumpversuche müssen die Ergiebigkeit der Einzelbrunnen und eine Modellierung des regional integrierten Wasserressourcenmanagement (IWRM) klären.

Wasserpumpe



Quelle: Sarbu & Sebarchievici (2016, modifiziert)



Quelle: Lazăr et al. (2014)

OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN (6) KANALISATION



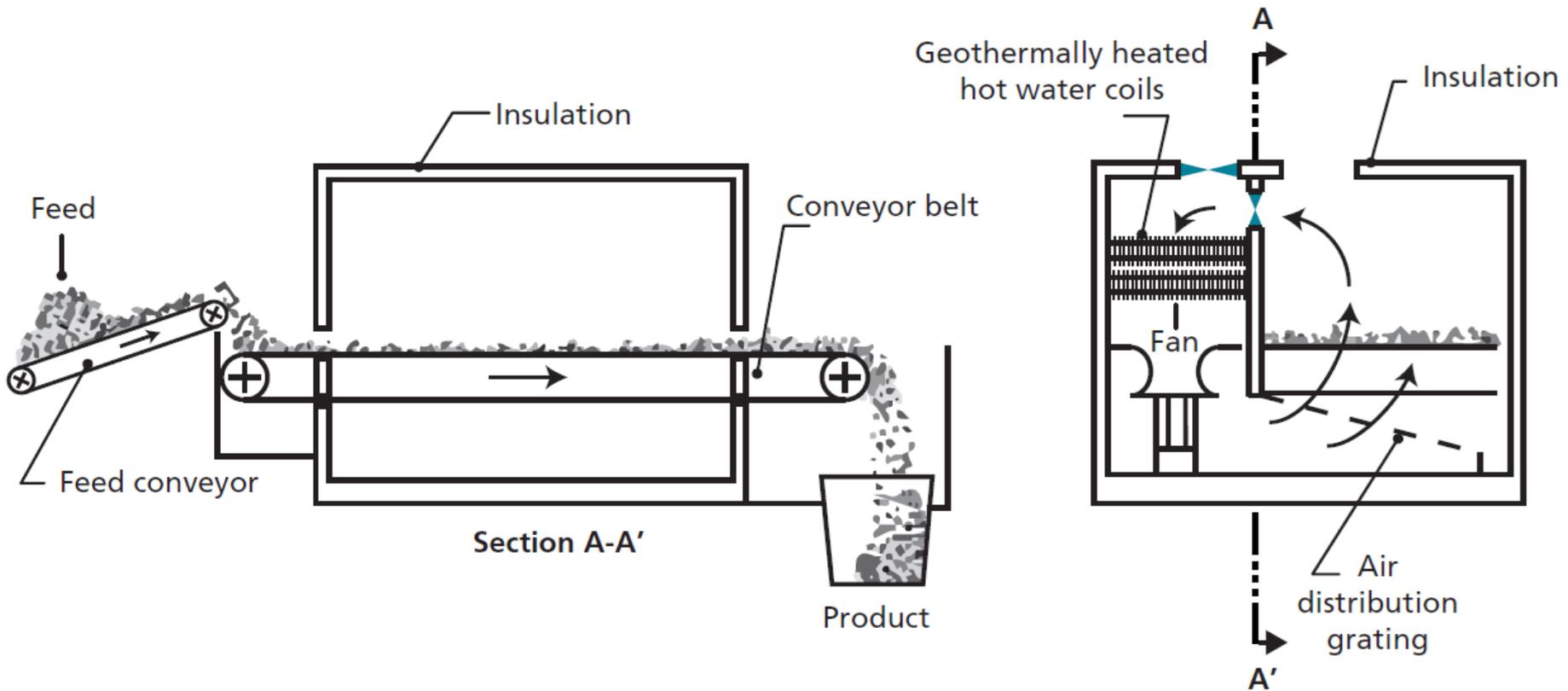
Kanalisation (Beispiel Banat Businesspark in Sânmăndrei)

Variante 4
Dann muss nur noch die Temperatur mittels eines Wärmetauschers gesenkt werden. Dessen thermische Energie kann zudem noch verwendet werden.

Quelle: <https://banatbusinesspark.ro/de/infrastruktur/>

OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN (7)

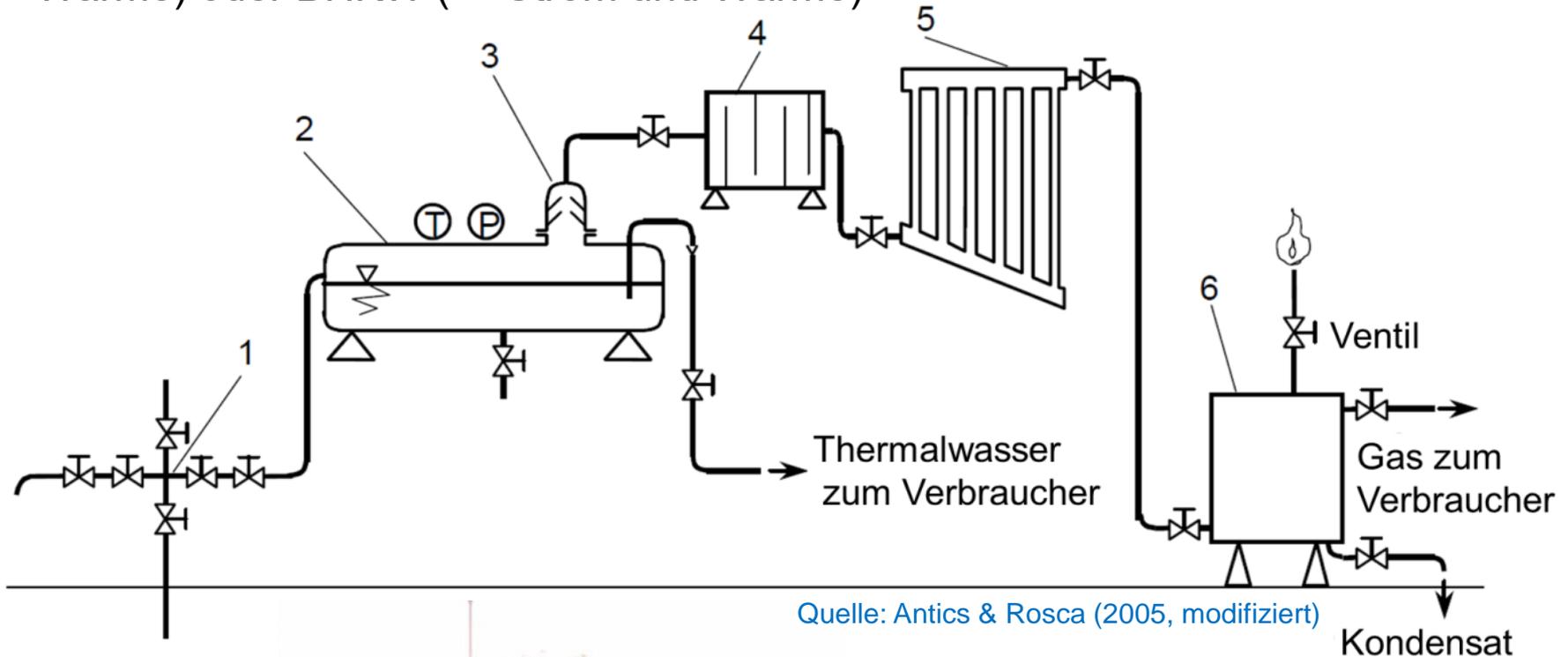
Nutzung der thermischen Energie des Wärmetauschers zur Senkung der Einleitetemperatur im Sommer. Diese steht z.B. zur gleichmäßigen Trocknung von landwirtschaftlichen Produkten wie z.B. Zwiebeln, Tomaten etc. oder zum Betrieb einer Bio-Sauna zur Verfügung.



Quelle: Van Nguyen et al. (2015)

OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN (8A)

Abtrennung von Methan zur zusätzlichen Energiegewinnung durch Verbrennung (→ Wärme) oder BHKW (→ Strom und Wärme)



Quelle: Rosca (2007)

OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN (8B)

Beispiel für ein BHKW (von TEDOM SCHNELL GmbH) zur Verbrennung von „unreinem“ Biogas

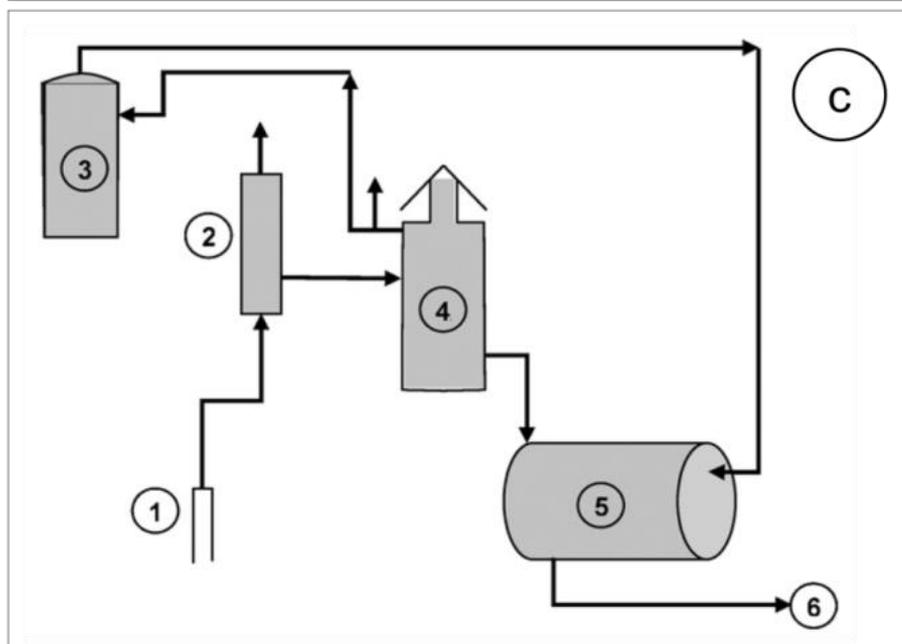
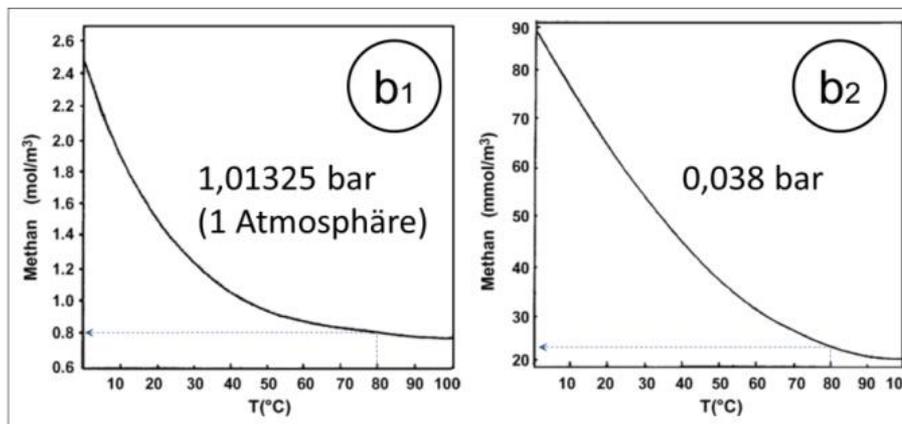
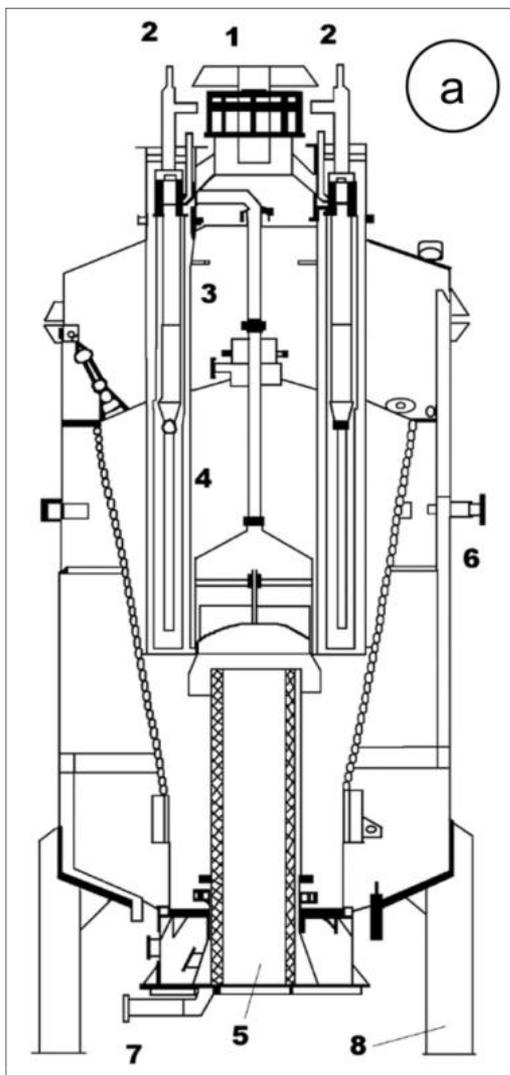
Typ	Motor	Elektrische Leistung [kW]	Thermische Leistung [kW]	Elektrischer Wirkungsgrad [%]	Thermischer Wirkungsgrad [%]	Feuerungswärmeleistung [kW]
FLEXI 130	MAN	104	159	34,8	53,2	299



Quelle: <https://www.tedom-schnell.de/produkte/biogas-bhkw/flexi/>

OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN (8C)

Zusätzliche Abtrennung von im Thermalwasser gelöstem Methan

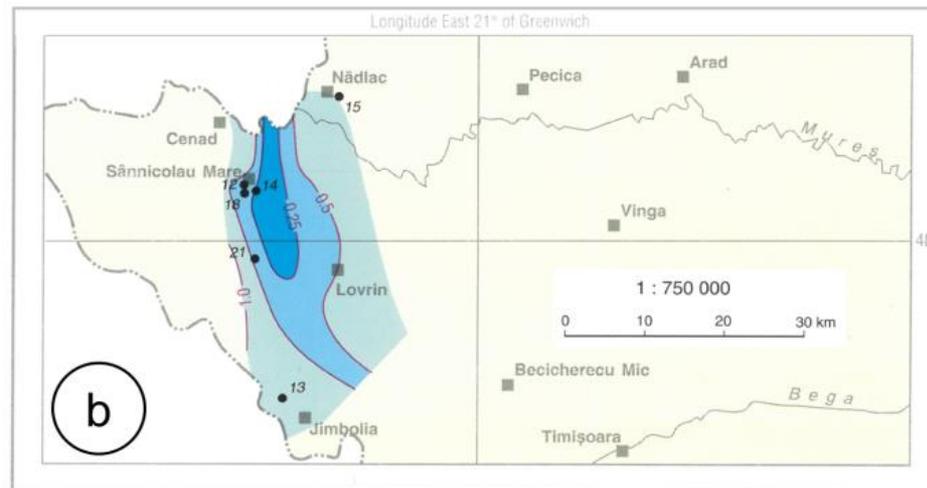
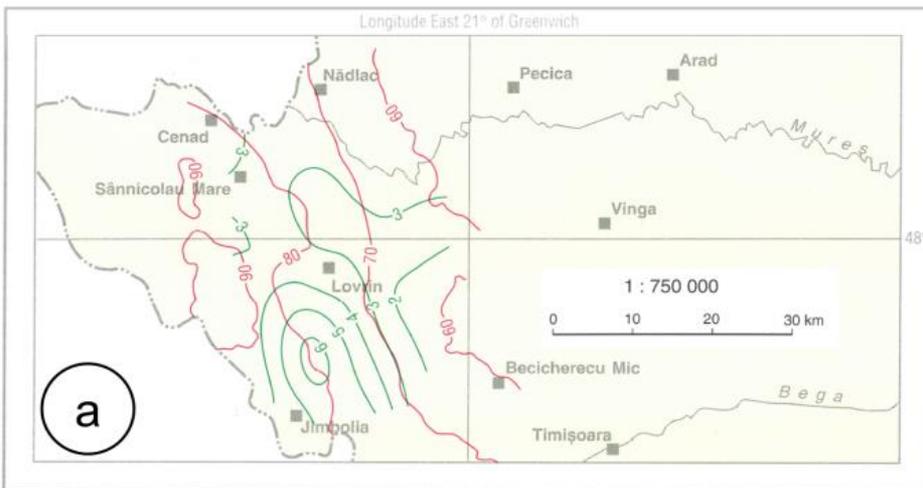


KOSTEN

#	Variante	Kosten [€]	Bemerkung
1	Reinjektion + Druckhaltung	1.500.000	Nachhaltigste Maßnahme (ob dies möglich ist, müssen Voruntersuchungen klären)
2	Inhibition (ohne Reinjektion)	8.500 / Jahr	Falls keine Reinjektion möglich: Variante 2 plus 4 oder 5
3	Wasseraufbereitung + Wärmetauscher	-	Nicht umsetzbar
4	Verdünnung mit Grundwasser	150.000	Günstigste Maßnahme, falls keine Reinjektion möglich ist
5	Kanalisation + Wärmetauscher	2.500.000 10.000	Empfohlene Maßnahme, falls keine Reinjektion möglich ist

Die Methan-Abtrennung als zusätzliche Maßnahme ist immer sinnvoll, da diese Energie bisher ungenutzt blieb

ÜBERTRAGUNG AUF ANDERE GEMEINDEN (1)

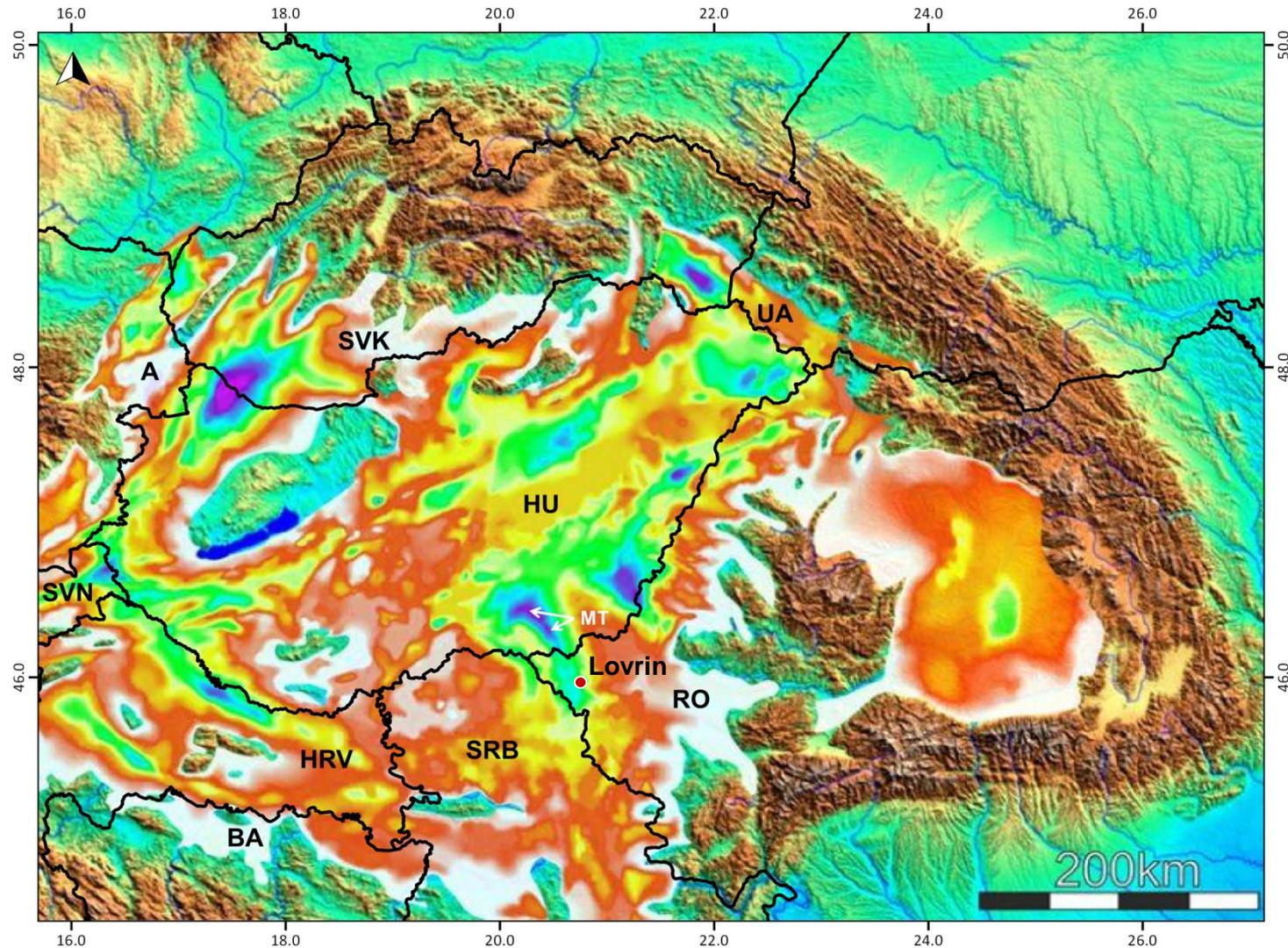


Quelle: Panu et al. (2002)



Heizzentrale Sănnicolao Mare

ÜBERTRAGUNG AUF ANDERE GEMEINDEN (2)



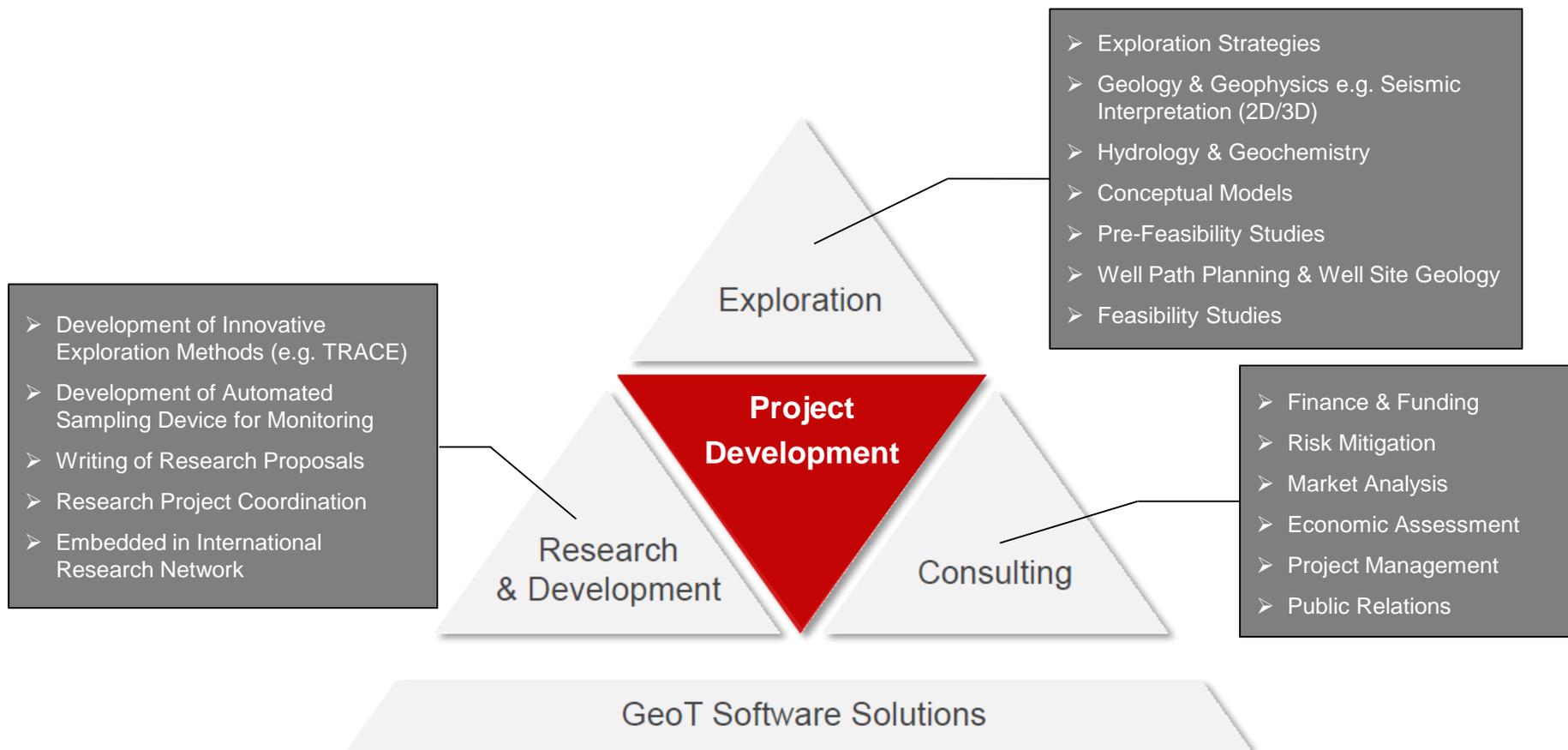
Der tiefe Makó-Trog (MT) auf ungarischer Seite setzt sich über das Arbeitsgebiet in West-Rumänien bis nach Serbien fort (wird dort Srpska-Crnja-Trog genannt). Prinzipiell kann das Konzept im gesamten pannonischen Becken umgesetzt werden.

GEO THERMAL ENGINEERING GMBH (GEO T)



- **Independent Consultancy and Engineering Company for Geothermal Energy since 2005**
- **Based in Karlsruhe, Germany**
- **Mission**
„To provide individual, innovative and economical solutions for the heat and power generation as well as cooling applications with geothermal energy.“
- **From initial Project Concept to Drilling**
 - Petrothermal (Enhanced Reservoir)
 - Hydrothermal (Natural Reservoir)
 - Low Enthalpy (< 190°C)
 - High Enthalpy (> 190°C)
- **Operating on International Level**
- **International Network of Expertise**
Drilling, Financing and Power Plant Operation

BUSINESS SEGMENTS GEOT



GeoTAnalyzer ChemCalculator
 by GeoThermal Engineering GmbH
 Financial Analysis of Deep Geothermal Projects



Contact

GeoThermal Engineering GmbH
Dr. Michael Kraml

Baischstraße 8
76133 Karlsruhe, Germany
Tel: +49 721 570 446 84
Fax: +49 721 570 446 89
E-Mail: kraml@geo-t.de

GeoThermal
ENGINEERING