

Hydraulische und thermische Auswirkungen geothermischer Brunnenanlagen und deren Bedeutung für die Planung – Vorstellung des *Groundwater Energy Designers*

J. Poppei (Colenco Power Engineering, Baden, CH)

- Spezifika der thermischen Nutzung von Grundwasser
- Anforderungen an die Planung und genehmigungsrechtliche Fragen
- geothermische Simulation – kurzer Überblick
- *GED*: Ziele und Grundlagen des Tools
- Vorstellung des Tools

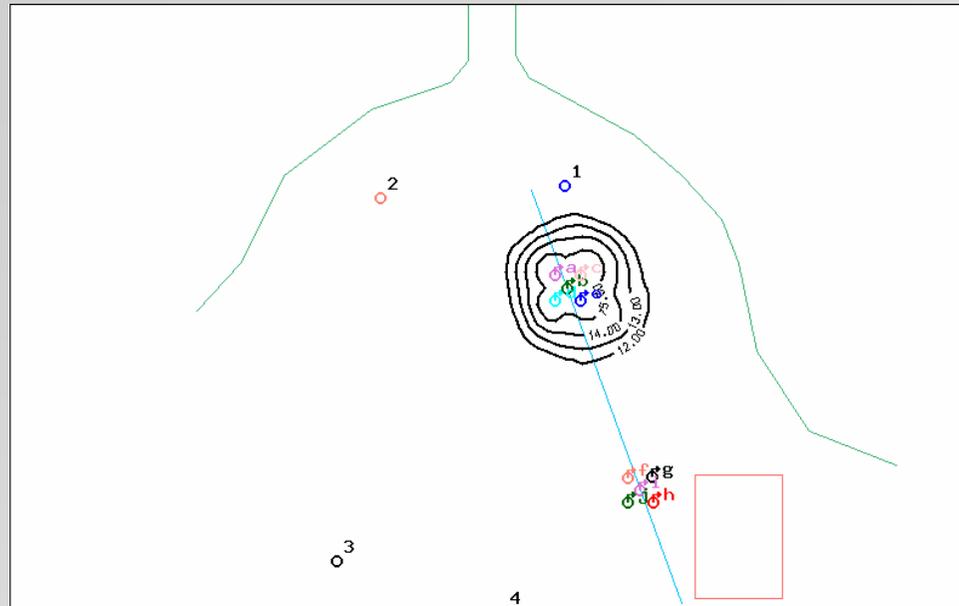


- Bilanz erhalten (bei Reinjektion)
- Spiegelabsenkung und –anhebung (schnell stationär)
- langsame (instationäre) thermische Änderung durch:
 - advektiven Transport (verlangsamt gegenüber idealen Tracer)
 - Wärmeaustausch Fluid und Fluid/Matrix
 - Wärmeleitung
 - Dispersion und Diffusion

Energiebedarf und Hydrogeologie: immer standortspezifisch

Groundwater Energy Designer

Simulation der Nutzung zu Speicherzwecken (D)

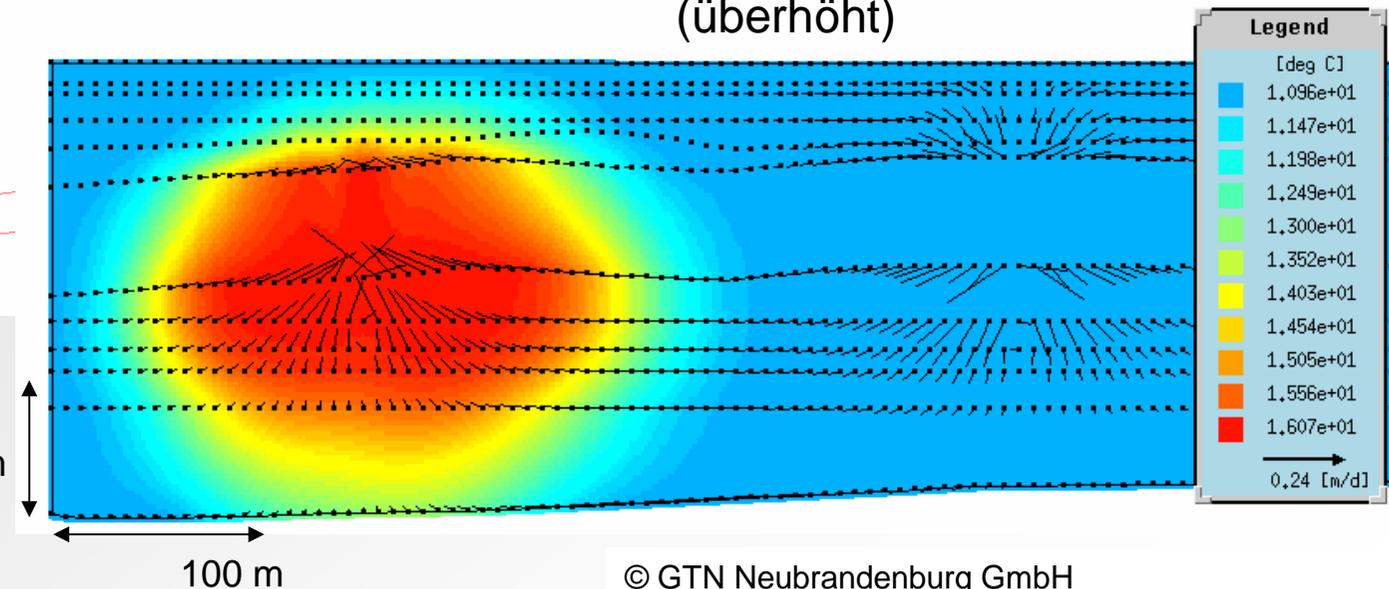


Beispiel 1:

Darcy-Geschwindigkeit ...cm/a

Reichstag Berlin, GTN,
1999

Vertikalschnitt
(überhöht)



14.06.2007, Idstein, Hessen

© GTN Neubrandenburg GmbH

Groundwater Energy Designer

Simulation der Nutzung zu Kühlzwecken (CH)

Beispiel 2: Darcy-Geschwindigkeit > 300m/a



Simulation der Temperaturverteilung

Injektion: 400'000 qm/a
Modellzeit: 10 a
Rückgabetemperatur: 22°C

Fachmarkt Meierhöfli,
Emmen, LU, 2004

- x Brunnen
- Erwärmung um
- 0.5 - 1°C
- 1 - 2°C
- 2 - 3°C
- 3 - 4°C
- 4 - 5°C
- 5 - 7°C
- 7 - 9°C
- 9 - 10°C

100 0 100 200 Meter

COLENCO

Colenco Power Engineering AG

Planung:

- Verfügbarkeit von Grundwasser?
- Abstand der Versickerung von der Förderung
- verfügbare Grundfläche ausreichend?
- Energetischer Aufwand minimieren

Genehmigungsrecht:

- Reichweite der hydraulischen und thermischen Beeinflussung
- Beeinträchtigung von Wasserfassungen

Analytische Lösungen:

Lauwerier (1955): The transport of heat in oil layers caused by injection of hot fluid

Avdonin (1964): Different methods for the calculation of the temperature field in a host rock with thermal injection (in russ.)

Gringarten / Sauty (1975): A theoretical study of heat extraction from aquifers with uniform flow field

R. Schulz (1987): Analytical model calculations for heat exchange in a confined aquifer
u.a.

Halbanalytisch (z.B. CAGRA, GTN, 1994)

...

Numerische Modellcodes:

NAMMU (Rae, Robinson, 1979), TOUGH (Pruess, 1987), CFEST (Gupta, 1987)

FEFLOW (Diersch, 1994) ...

Groundwater Energy Designer

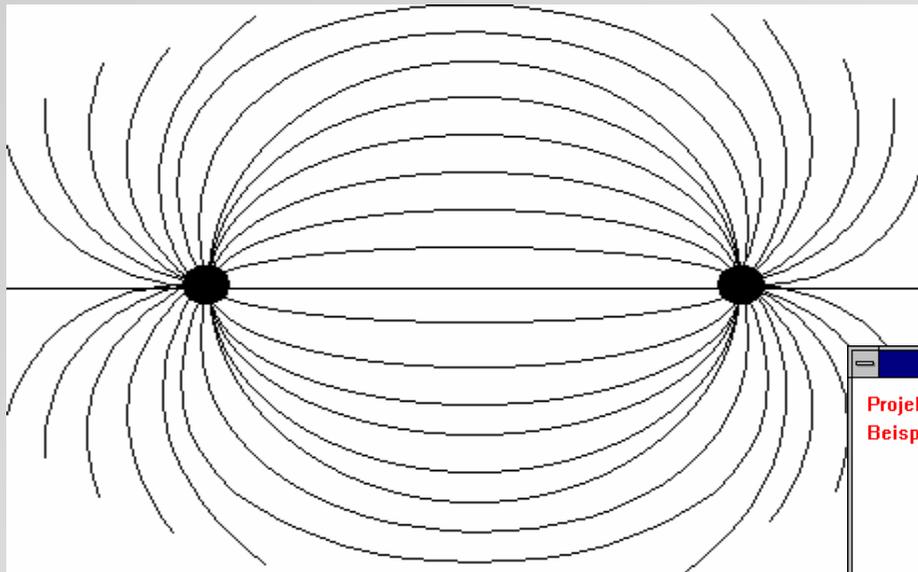
Geothermische Simulation (CAGRA, GTN 1994)

CAGRA:

Stromlinien

+

Alisaev (1985)



$$T_{\psi}(t) = T_0 + (T_{inj} - T_0) \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{\frac{\lambda_R}{M \cdot \rho_f c_f} \cdot t_B}{\sqrt{\frac{\lambda_R}{\rho_R c_R} \cdot (t - t_B)}} \right)$$

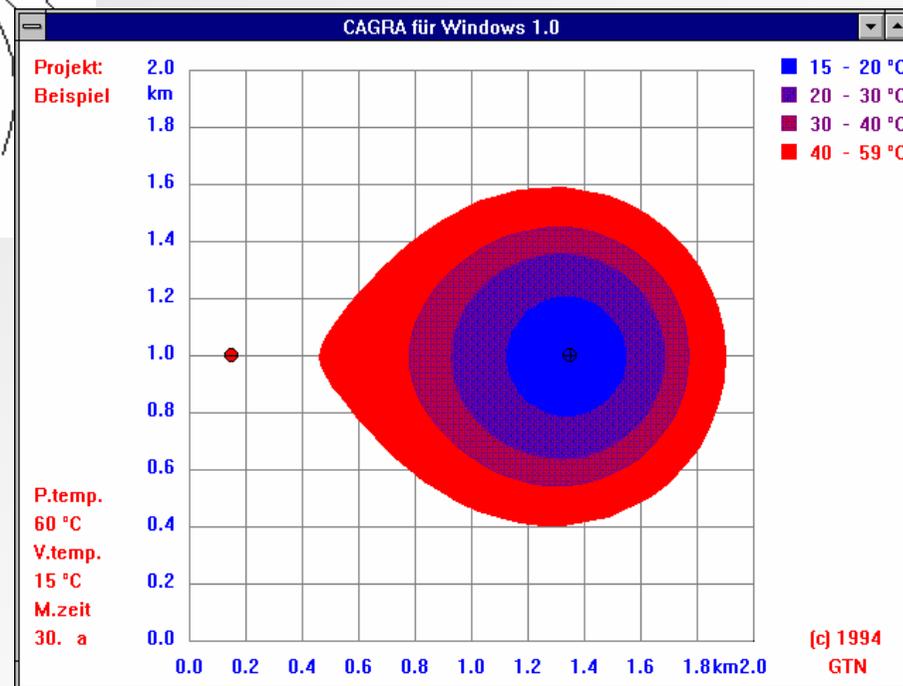
Keely und Tsang (1983)

$$v_{x,i} = \sum_n \frac{Q_n}{2\pi M \Phi} \frac{x_i - x_n}{(x_i - x_n)^2 + (y_i - y_n)^2}$$

$$v_{y,i} = \sum_n \frac{Q_n}{2\pi M \Phi} \frac{y_i - y_n}{(x_i - x_n)^2 + (y_i - y_n)^2}$$

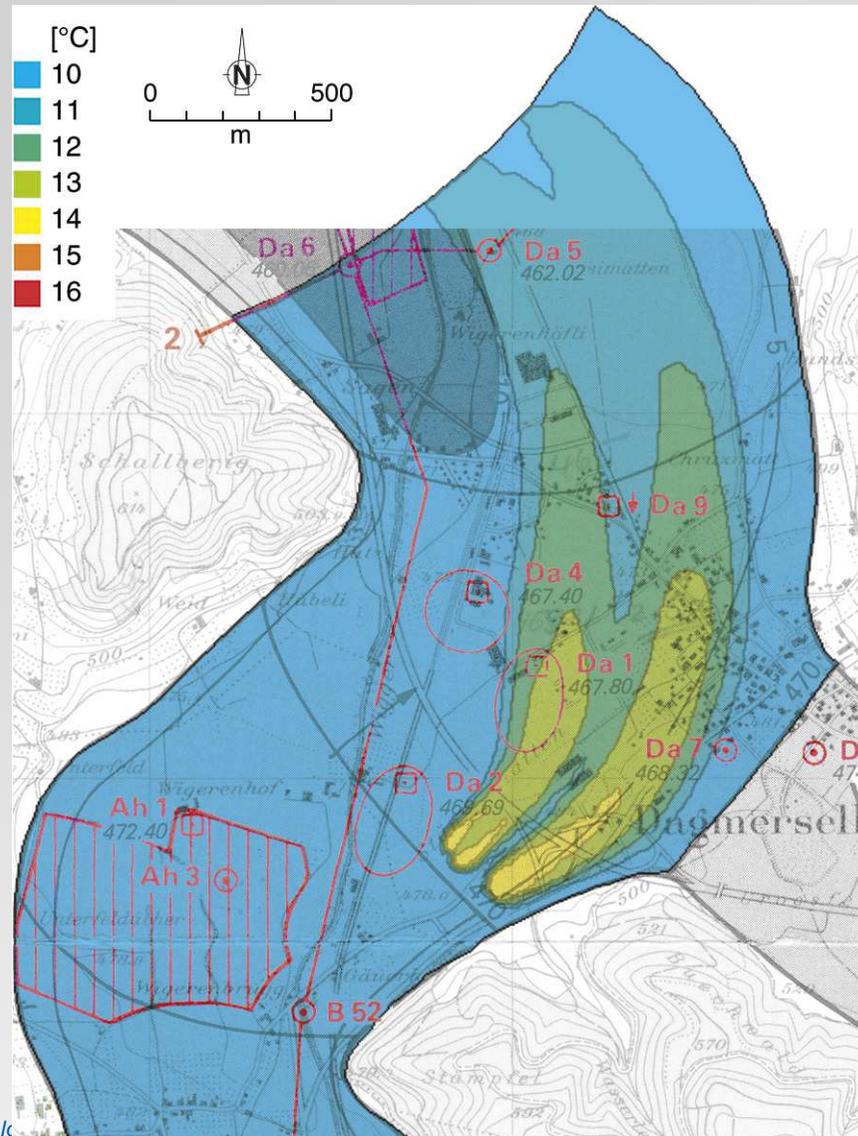
$$\Delta t_i = t_{i+1} - t_i = \int_{r_i}^{r_{i+1}} \frac{dr}{v_r}$$

14.06.2007, Idstein, Hessen



Groundwater Energy Designer

Beispiel: Simulation der Nutzung zu Kühlzwecken



14.06.2007, k

Tiefkühlzentrum
Galliker Transport AG,
Dagmersellen, LU
2002/03

- Dimensionierung der Grundwassergewinnungsanlagen (Brunnen) in Abhängigkeit von Energiebedarf und hydrogeol. Voraussetzungen
- Prüfung der Möglichkeit der Reinjektion am Standort
- Bestimmung des Abstands zwischen Förder- und Injektionsbrunnen (ohne Kurzschluss)
- Berechnung der (thermischen) Auswirkungen im Grundwasser bei Reinjektion (Wärme-/Kältefahne)

= Vorplanung und Genehmigungsplanung für kleiner und mittlere Anlagen

(mit Simulation)

Groundwater Energy Designer Anwendung und Abgrenzung (1)

Zielgruppen:

- Anlagenplaner (Energieplaner, Ingenieurbüros)
- Anlagenbauer: Heizungstechniker / Kältetechniker
 Bohrunternehmen
- Genehmigungsbehörden

Mit unterschiedlichen Ansprüchen / Erfahrungen /
technischem Hintergrund!

Voraussetzungen und Einschränkungen:

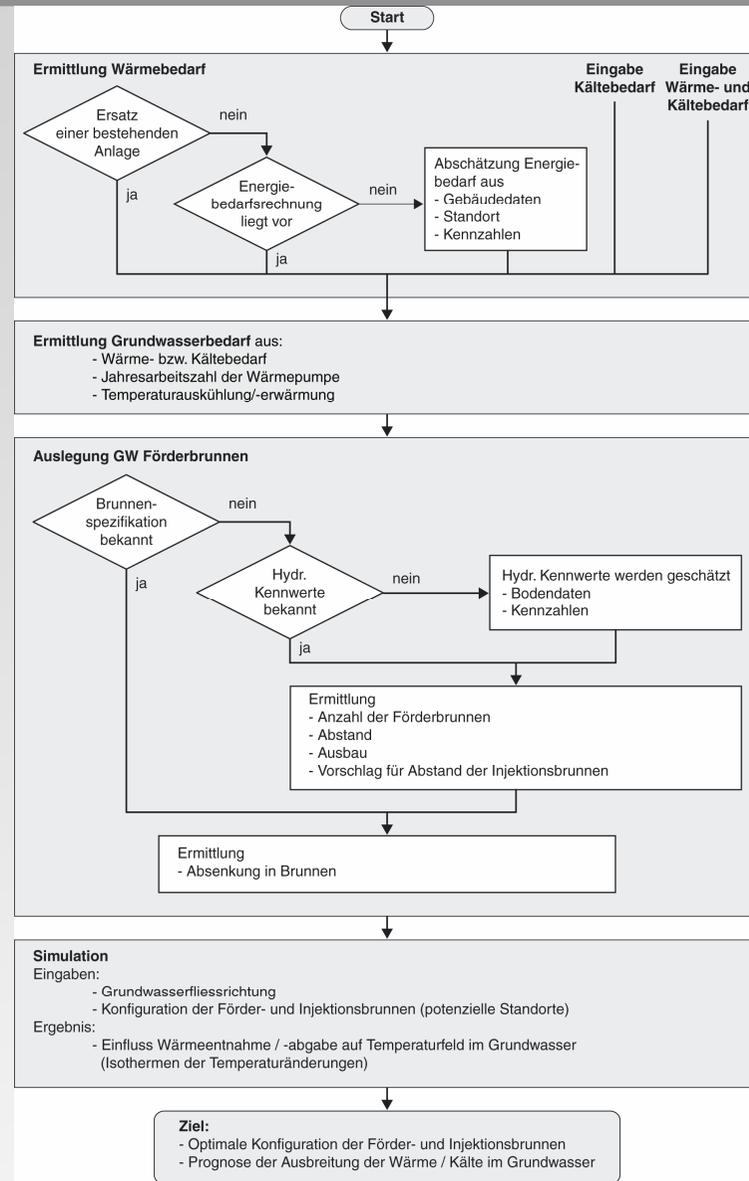
- minimal erforderliches, branchenübergreifendes Verständnis und Kenntnisse (Heizungstechnik / Hydrogeologie)
- keine expliziten Kenntnisse der Modellierung voraussetzen
- Verständnis von der Belastbarkeit der (Berechnungs)-Ergebnisse kommunizieren!

Kompromisse in der Umsetzung:

- Verwendung (analytischer) Näherungslösungen bei der Energiebedarfsanalyse und der Brunnendimensionierung
- Vernachlässigung anwendungstechnischer Komponenten und Probleme (Unterwassermotorpumpe, Wärmetauscher, Chemie etc.)
- einfache Modellansätze (2D, voll gesättigt, keine Aquiferberandungen, nur homogene Parameter, keine Kopplung Strömung / Wärme, keine Zeitabhängigkeit der Brunnen ...)

Groundwater Energy Designer

Vereinfachte Struktur des Programms



Was muss der Nutzer wissen:

Energie

- Jahresenergiebedarf (oder Grundfläche), Gebäudetyp und Standort
- bei Heizung: Wärmepumpen-Jahresarbeitszahl

Hydrogeologie

- Aquifertyp (gespannt / ungespannt); Mächtigkeit und Lage u. GOK
- hydraulische Leitfähigkeit (kf-Wert) und Porosität
- Fließrichtung und Gradient (m/100m) <- hydrogeolog. Karte!

Sonstiges

verfügbare Grundfläche (ggf. Koordinaten) für Bohrungen

Groundwater Energy Designer Volumenstrombestimmung

	<u>Heizung</u>	<u>Direktkühlung</u>
Energiebedarf bekannt oder extern berechnet	HEL [l/a] Erdgas [m ³ /a] Strom [kWh/a]	Kühlbedarf Q [kWh/a]
Energiebedarf unbekannt, Schätzung (SIA)	m ² beheizte Grundfläche Gebäudetyp WW ja/nein Standort (Heizgradtage) aus DB: Q [kWh/a]	-
Temperaturänderung	ΔT [K]	ΔT [K]
JAZ (Wärmepumpe)	JAZ [-]	-

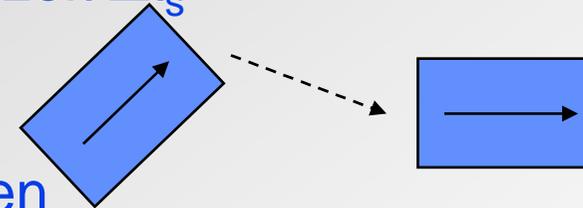
mittl. Volumenstrom im Jahr:
und max. Volumenstrom (aus Leistung (Volllaststundenzahl je Gebäudetyp **aus DB**))

$$\bar{V} = \left(1 - \frac{1}{JAZ}\right) \cdot \frac{\bar{Q}}{\rho c \cdot \Delta T}$$

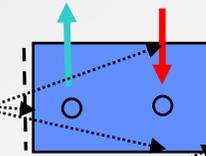
Groundwater Energy Designer Zur Simulation bei GED

Input: Gradient und Richtung der Grundwasserströmung;
Standort der Brunnen, Simulationszeit Δt_s

1. Koordinatentransformation
2. Modellgebiet und Randbedingungen



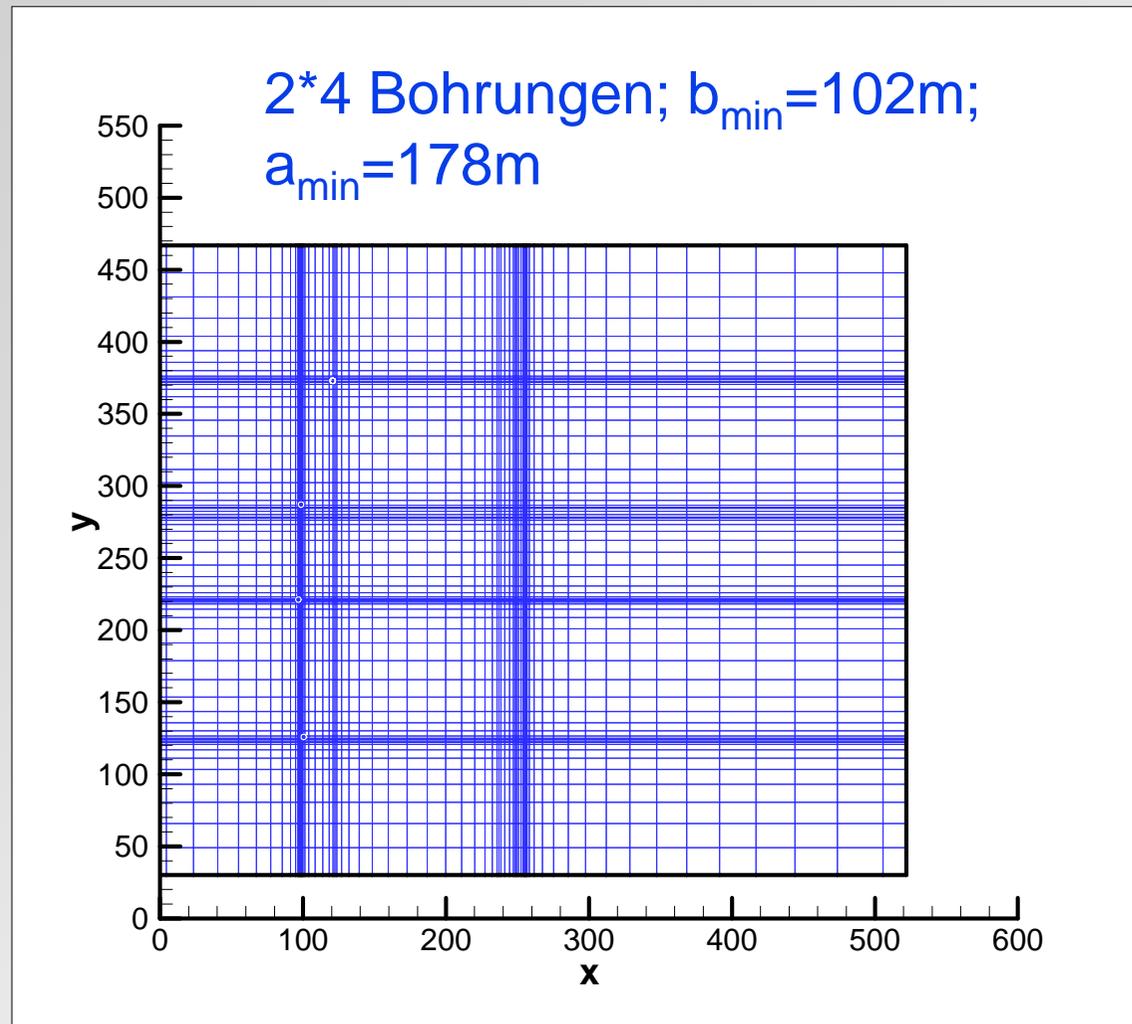
$$b_{\min} = \max \left(\sqrt{\frac{2\bar{V} \cdot \Delta t_s}{\pi \cdot H}}; R \right)$$



$$a_{\min} = \max \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{v_{nat.}}{n} \cdot \Delta t_s; 2 \sqrt{\frac{\rho c_f}{\rho c_a} \cdot \frac{3\bar{V} \cdot \Delta t_s}{4\pi \cdot H}} \right] \quad \frac{\rho c_f}{\rho c_a} = \frac{\rho c_f}{n \cdot \rho c_f + (1-n) \cdot \rho c_G}$$

3. Diskretisierung (z.Z. 2'500 Elemente, max. 1m in Brunnennähe, log. bis zum Rand)
4. Nach Berechnung: Rücktransformation der Koordinaten und Isoliniendarstellung (z.Zt. 1 und 3K)

Groundwater Energy Designer Beispiel Diskretisierung



Strömung:

$$\text{Darcy: } q_F = -\frac{k}{\eta} \cdot \nabla p_F$$

Wärmeinhalt / Volumen:

$$u = C_V \cdot T \quad C_V = (1-\phi)\rho_S c_S + \phi \cdot \rho_F c_F$$

Wärmeinhalt / Fluidvolumen:

$$u_F = \rho_F c_F \cdot T$$

Wärmefluss über Verbindung = advektiver Fluss + konduktiver Fluss

$$f_{adv} = q_F \cdot u_F \quad f_{kond} = -\lambda \cdot \nabla T$$

Gleichungssystem (Integral über Finite Volumen Element):

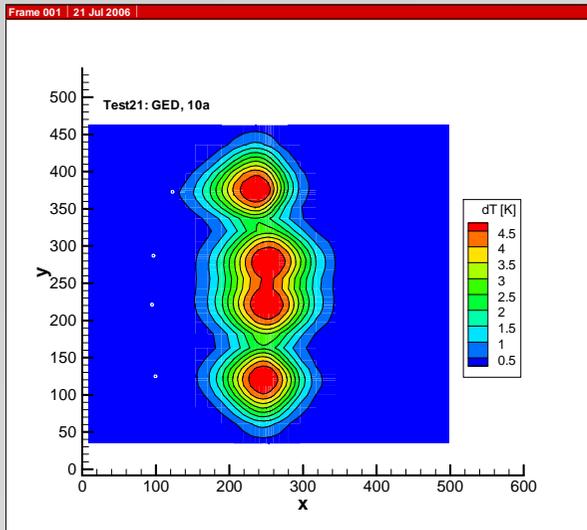
$$Q_{F,ij} = -a_{ij} \frac{k_{ij}}{\eta_{ij}} \left(\frac{p_{F,i} - p_{F,j}}{d_i - d_j} \right) \quad U_i = \int_{V_i} u_i dV_i$$

Heat Balance: $\frac{dU_i}{dt} = \sum_i F_{ij} + S_i \quad F_{ij} = F_{adv,ij} + F_{kond,ij} \quad F_{adv,ij} = Q_{F,ij} \cdot u_{F,i}$

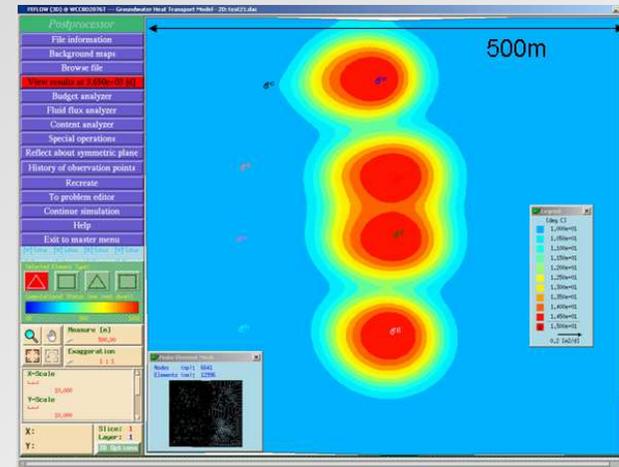
$$\frac{dT_i}{dt} = \frac{dU_i}{dt} \frac{1}{\int_{V_i} C_V dV_i}$$

Ergebnis: $T_i(t)$

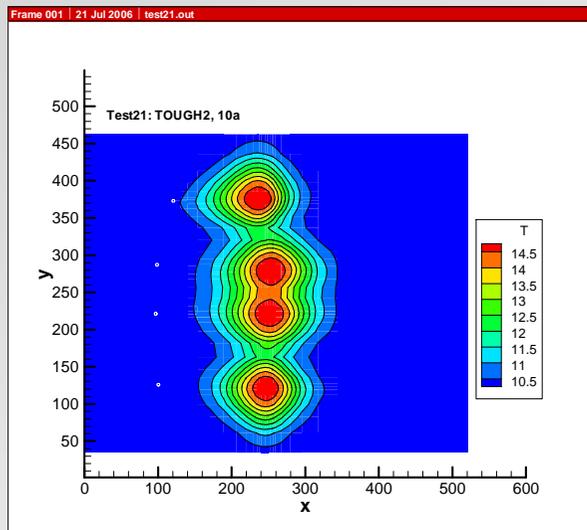
Groundwater Energy Designer Validierung (1)



GED

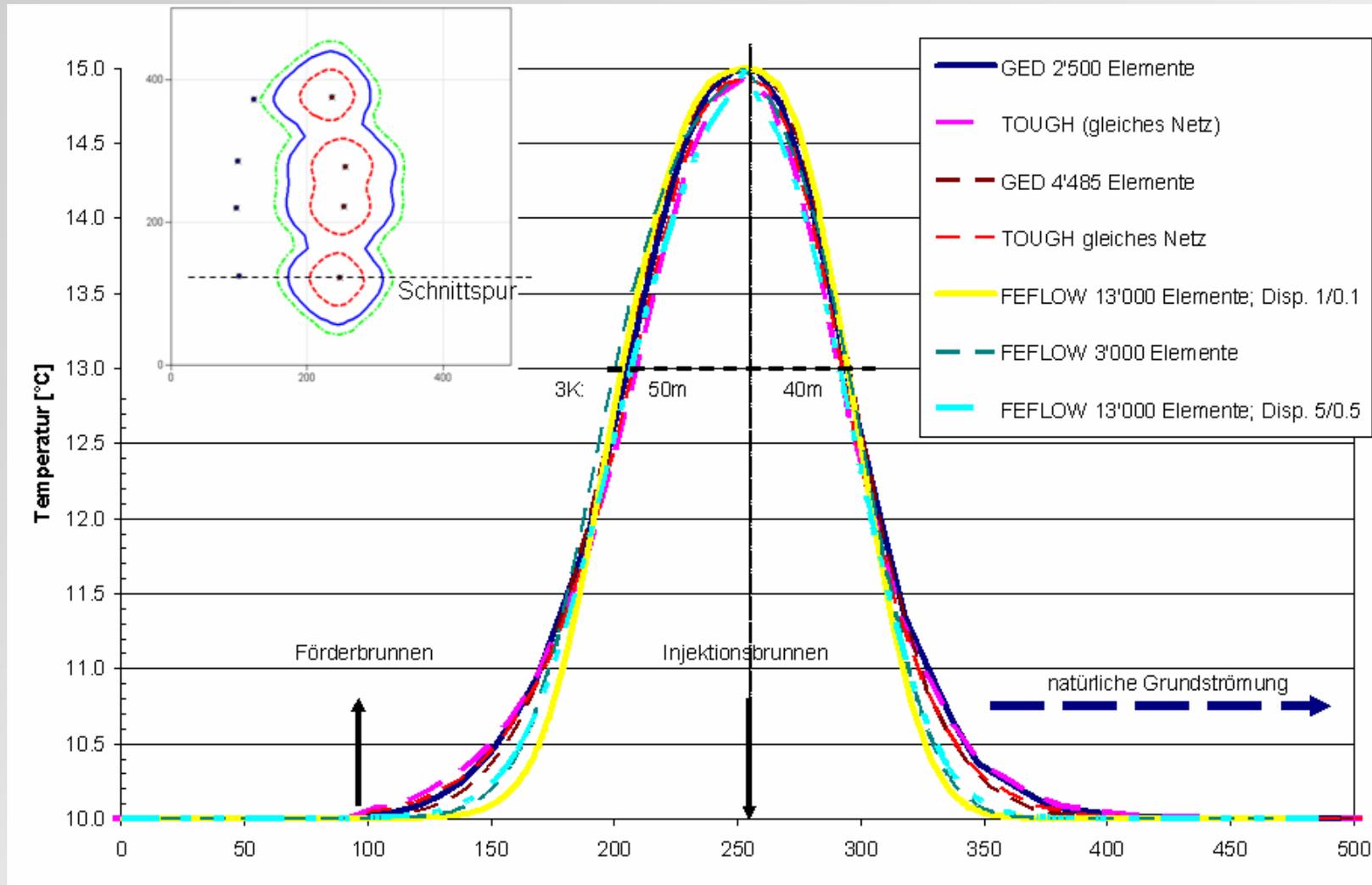


FEFLOW



TOUGH2

Groundwater Energy Designer Validierung (2)



Groundwater Energy Designer Bezugsmöglichkeit und Umfang

http://www.colenco.ch/de/grundwasserschutz_entsorgung/index.html
(Software Engineering - GED)

- Voraussetzung: Prozessor 1 GHz, RAM 1024 MB, Windows XP, Festplatte frei 26MB
- download Vollversion (d, e, f) inkl. Dokumentation und Bestellformular
- 7 Tage uneingeschränkt lizenzfrei nutzbar
- für anschl. Lizenz (rechnerspezifisch) Schutzgebühr 300€
- jederzeit Updates

Hinweise und Kritiken erwünscht!!!

Grundwasserschutz und Entsorgung

[Umweltgeologie](#)
[Geothermie](#)
[Untertagedeponien](#)
[Geotechnische Erkundungen](#)
[Grundwassermanagement](#)
[Untertägige Gasspeicherung](#)
[Bergbau](#)
[Felduntersuchungen](#)
[Geomweltmodellierung](#)
[Sicherheitsanalysen](#)
[Software Engineering - GED](#)
[Mitarbeiter](#)
[Projektbeschreibungen](#)

Suche:

Kontakte:

Colenco Power Engineering AG
 Grundwasserschutz und Entsorgung
 Täferstrasse 26
 5405 Baden-Dättwil
 Schweiz
 Tel: +41 (0)56 483 15 49
 Fax: +41 (0)56 483 15 57
 E-Mail:
jean-marc.lavanchy@colenco.ch

English

Groundwater Energy Designer

Computergestütztes Auslegungstool zur Wärme- und Kältenutzung von Grundwasser



Ausgehend von einer Wärme- oder Kältebedarfsanalyse können die Möglichkeiten der direkten Nutzung des Grundwassers geprüft werden. Anhand vereinfachter hydrogeologischer Charakteristiken werden dazu die Brunnen zur Grundwasserförderung dimensioniert und unter Berücksichtigung der lokalen Verhältnisse (verfügbare Grundfläche und Grundwasserströmung) die Möglichkeit zur Versickerung des genutzten Wassers am Standort geprüft.

Durch Variation der Anzahl und Standorte der Brunnen lassen sich unter Berücksichtigung der konkreten Standortverhältnisse interaktiv beliebige Konfigurationen prüfen und bezüglich einer thermischen Beeinträchtigung des Grundwassers optimieren.

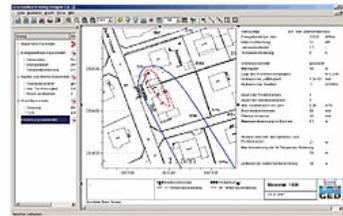


Bild anklicken für grösseres Bild

Der Test des Programms ist uneingeschränkt für 7 Tage möglich. Der unten stehende Download beinhaltet das Programm mit einer grafischen Oberfläche in deutscher, französischer und englischer Sprache, eine umfangreiche Dokumentation und das Bestellformular zum Erwerb des Programms.

Der Groundwater Energy Designer (GED) wurde mit Unterstützung durch das [Schweizerische Bundesamt für Energie](#) für die Dimensionierung von Anlagen zur thermischen Nutzung von Grundwasser entwickelt.

Systemvoraussetzungen:

Prozessor: 1,0 GHz
 RAM: 1024 MB
 Festplatte: minimal freier Platz von 26 MB
 Auflösung: min. 1024x768 Auflösung
 Betriebssystem: Windows XP (SP2) oder neuer



Download einer kostenlosen Testversion für die uneingeschränkte Nutzung des Programms für 7 Tage ab Erstinstallation:



Die Read Me Datei im Download enthält Instruktionen für den Erwerb einer gerätespezifischen Lizenz zu €300.00.