

Endotracer-push-pull, synchrone vs. umsatzsyntone Dualtracersignale bei ratenabhängiger Belegung präferentieller Fließwege

Horst Behrens, Julia Ghergut, Martin Sauter und Projektgruppe BMWi-TRENDS

Universität Göttingen, Geowissenschaftliches Zentrum, Dept. Angewandte Geologie | Hydrogeologie

Keywords: thermische Lebensdauer, Fluidverweilzeit, Verweilzeitverteilung, Speicher-Durchfluss-Verteilung (SDV), Tracertest, künstliche Tracer

Zusammenfassung

Außergewöhnliche Fluidtemperaturentwicklungen an der Förderbohrung einer geothermischen Dublette in einem Hydrothermalreservoir, sowie die planmäßige Intensivierung des Fluidumsatzes in der Dublette (Fließratenerhöhung um ca. 30%) motivierten die erneute künstliche Markierung des Thermalwasserkreislaufs (unter Verwendung eines neuen Tracerstoffes) im zeitlichen Abstand von gut 21 Monaten nach der ersten Markierung, entsprechend einem Fluidumsatz von ca. 6.3 Mio. m³ zwischen 1. und 2. Tracerzugabe, wobei eine markante Anhebung der Zirkulationsrate innerhalb der Dublette nach dem Umsatz von ca. 2.5 Mio. m³ (ab Zugabe des 1. Tracers) vorgenommen worden war.

Ein Vergleich der bis dato erfassten Tracersignale (mit bis zu ca. 70% bzw. 25% Wiedererhalt) und der daraus abgeleiteten SDV deutet auf ein Dualkontinuum-Reservoirverhalten hin, mit ratenabhängiger Reservoirdynamik, mit einer empfindlichen Durchsatzabhängigkeit der Strömungsaufteilung zwischen präferentiellen Fließwegen und der umliegenden Gesteinsmatrix, m. a. W. zwischen 'schnellen' und 'langsamen' Fließwegen im Reservoir.

1. Einleitung

Die betrachtete Geothermaldublette erschließt ein mutmaßliches Hydrothermalreservoir in 3 – 4 km Tiefe in einem Gebiet Europas mit nachgewiesenen, vielversprechenden Hydrothermalressourcen. Das Zielreservoir umfasst poröse, zerklüftungs-/verkarstungsfähige Festgesteinsformationen (nebst einer oder mehreren seismisch-ermittelten Störungszonen, hydraulisch von vermutlich nachrangiger Bedeutung). Frühe Reservoirbetriebserfahrungen und die daraus entspringenden Fragen, die es nunmehr mittels Tracertests (künstlicher Fluidmarkierungen) zu klären galt, sind von Behrens et al. (2020), Ghergut et al. (2016, 2019, 2020) umrissen worden (Bsp. in Abb. 1). Nachfolgend werden diese im Lichte hinzugekommener Messdaten des letzten Jahres Neubewertet und fortgeschrieben.

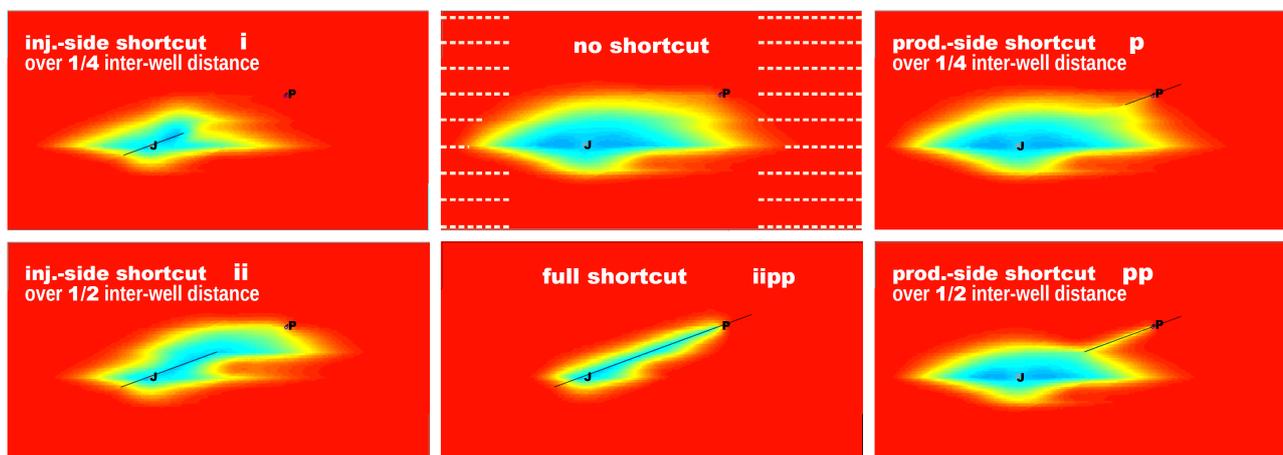


Abb. 1: Einfluss etwaiger präferentieller Fließwege auf den Thermalwasserkreislauf (reproduziert aus Behrens et al. 2020)

2. Fragestellungen

Übergeordnete Zielsetzungen sind für diesen Standort im BMWi-Vorhaben "TRENDS" die

- tracergestützte Reservoirentwicklungsprognose, Fortschreibung des Wärmebergbaumodells
- begleitende Auswertung älterer und neuerer (3D-)seismischer Erhebungen im Projektgebiet (ggf.: tracergestützte Identifizierung räumlich-unterdrückter Karstgebilde)
- tracergestützte Planung der weiteren Reservoirentwicklung (Optimierung des Betriebs, Redimensionierung des Reservoirs bzw. Erweiterung um neue Bohrung, Wahl der Bohrlokation, Empfehlungen betreffs Pumprate bzw. Absenkung förderseitig).

Außergewöhnliche Fluidtemperaturentwicklungen an der Förderbohrung der Dublette, sowie die planmäßige Intensivierung des Fluidumsatzes in der Dublette (Fließratenerhöhung um ca. 30%) motivierten die erneute künstliche Markierung des Thermalwasserkreislaufs (unter Verwendung eines neuen Tracerstoffes) im zeitlichen Abstand von gut 21 Monaten nach der ersten Markierung, entsprechend einem Fluidumsatz von ca. 6.3 Mio. m³ zwischen 1. und 2. Tracerzugabe, wobei eine merkliche Anhebung der Zirkulationsrate (Förder- und Reinjektionsrate) innerhalb der Dublette nach dem Umsatz von ca. 2.5 Mio. m³ (ab Zugabe des 1. Tracers) vorgenommen worden war. Nachfolgend wird umrissen, wie sich beide Tracersignale zur Befundung und Quantifizierung 'schneller' vs. 'langsamer' Fließwege im klüftig-porösen Reservoir auswerten lassen, und wie sich weitere Förder- temperaturprognosen und Reservoiroptimierungsoptionen (etwa: zusätzliche Bohrungen abteufen?) auf diese Tracerbefunde stützen können.

Technisches Tracertestziel stellt aktuell die Ermittlung der (ggf. fließratenabhängigen) Fluidverweilzeitverteilung und Speicher-Durchfluss-Verteilung im heterogenen Reservoir dar, mit besonderem Augenmerk auf räumlich-begrenzte Permeabilitätsfenster (diskrete, klüftähnlich-transportwirksame Karstgebilde?), als Grundlage zur Konzeptualisierung (Doppelkontinuum: wohl Doppelporositäts- und annähernd Monopermeabilitäts-) und Kalibrierung eines Strömungs- und Transportmodells.

3. Tracersignalerfassung bis dato

Während das deconvolierte (von rezirkulierten Anteilen 'bereinigte' bzw. 'ent-faltete', bei stark-variablen Fließraten kein triviales Unterfangen) Signal des ersten Tracers (Abb. 2) sich einem asymptotischen Wiedererhalts'plateau' nähert (65% bis zu ca. 70% der eingespeisten Tracermenge, welche nunmehr innerhalb der Dublette im Kreislauf rezirkuliert werden), sind vom zweiten Tracer bis dato nur <25% dessen eingespeister Menge in seinem deconvolierten Signal erfasst, welches über weitere ca. 16 Monate zu beobachten wäre, um sein Wiedererhalts'plateau' innerhalb des Dublettenkreislaufs annähernd zu erreichen (cf. Abb. 3). Sogenannte 'mittlere' Fluidverweilzeiten sind hier angesichts starker (leider gerade im Hauptdurchgang der Signale eingetretenen) Fließratenschwankungen nur eingeschränkt relevant, aussagekräftiger sind dabei z. B. Medianwerte des durchströmten Reservoirvolumens, ca. 2.7 Mio. m³, bzw. lediglich ca. 760 Tsd. m³ innerhalb des 'schnellen' Dublettenkreislaufs, welcher für die beobachtete Fördertemperaturentwicklung verantwortlich sein könnte.

Synchrone Tracersignalreaktionen auf Fließratenvariationen lassen sich ggf. im Tailingregime wie Endotracerverdünnungs-*push-pull*-Signale auswerten, zwecks lokaler Reservoircharakterisierung im engeren Umfeld der Förderbohrung – welches sich durch Stimulationsmaßnahmen auch verändern kann, wie von Jörn Bartels, Thomas Baumann & Teams für Säuerungsmaßnahmen in Karbonatreservoirs bereits systematisch untersucht (Ueckert et al. 2020).

Asynchrone, aber fluidumsatzsyntone 'Doppelpeak'-Erscheinungen beider Tracer spiegeln hingegen strukturell-feste, großräumige Reservoirmerkmale wider.

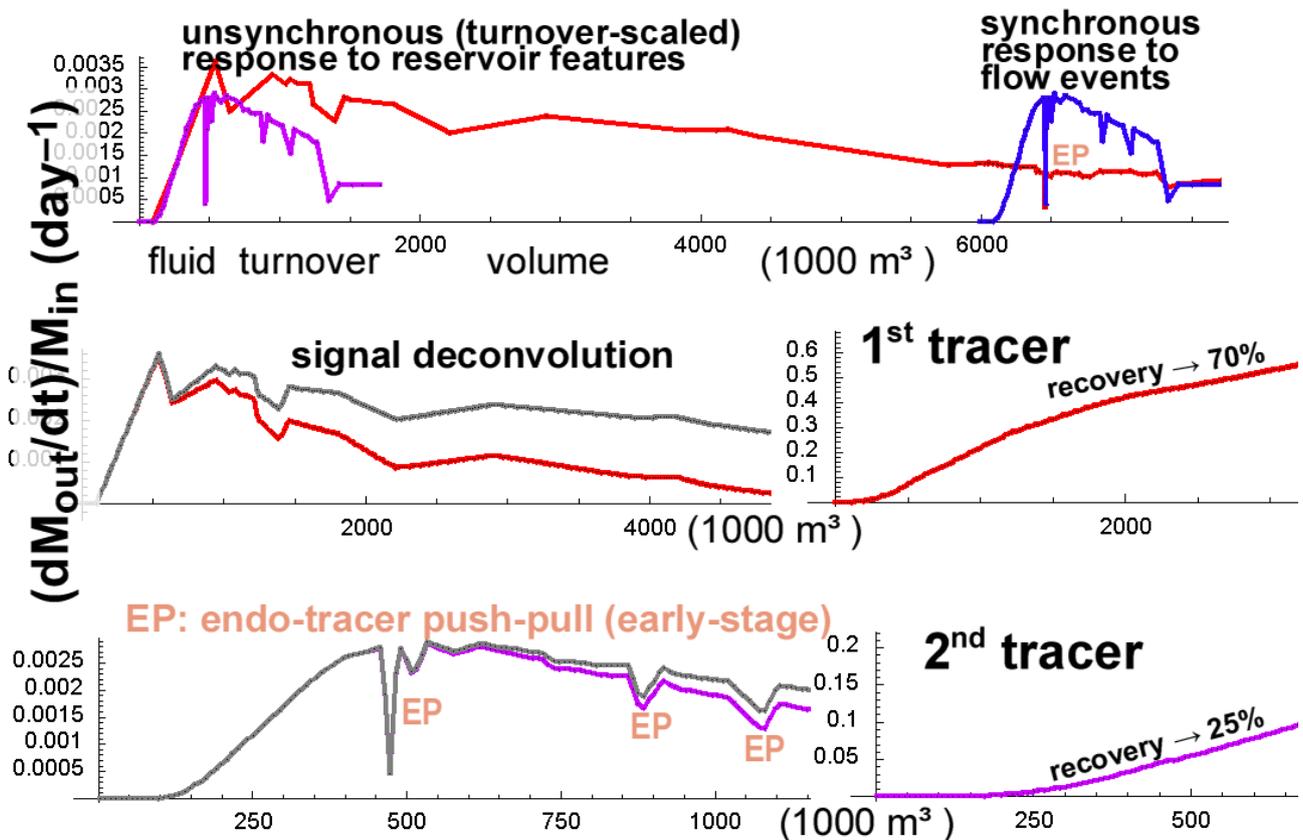


Abb. 2: Bis dato erfasste Tracersignale und deren kumulative Wiedererhalte

4. Warum auch Endotracer?

Als 'Endotracer' bezeichnen wir generell Fluidinhaltsstoffe oder sonstige eindeutig detektierbare physikochemische Merkmale (Behrens u. Ghergut 2014, Ghergut et al. 2014, 2018, 2019), deren Eintrag ins Reservoir in etwa dem eines künstlichen Tracers mit räumlich-zeitlich eng begrenzter Zugabe entspricht, deren langfristige räumliche Verteilung im System hingegen mehr derjenigen eines natürlichen Tracers mit diffusem Eintrag ähnelt.

Im Rahmen der aktuellen Thermalwasserkreislaufmarkierung bieten als solche die bereits zirkulierenden Tracer ab einem gewissen Zeitpunkt im Tailingregime eine elegante Möglichkeit, zwischen dem Anteil physikochemisch-bedingter und dem Anteil Georeservoir(strömungs)-bedingter Unterschiede im Verhalten der zwei nacheinander (vor bzw. nach Fließratenerhöhung) eingesetzten Tracerspezies (beides aromatische Sulfonsäuren – sehr allgemein gesprochen) an der SDV-Verschiebung ihrer Signale (Abb. 4) quantitativ differenzieren zu können.

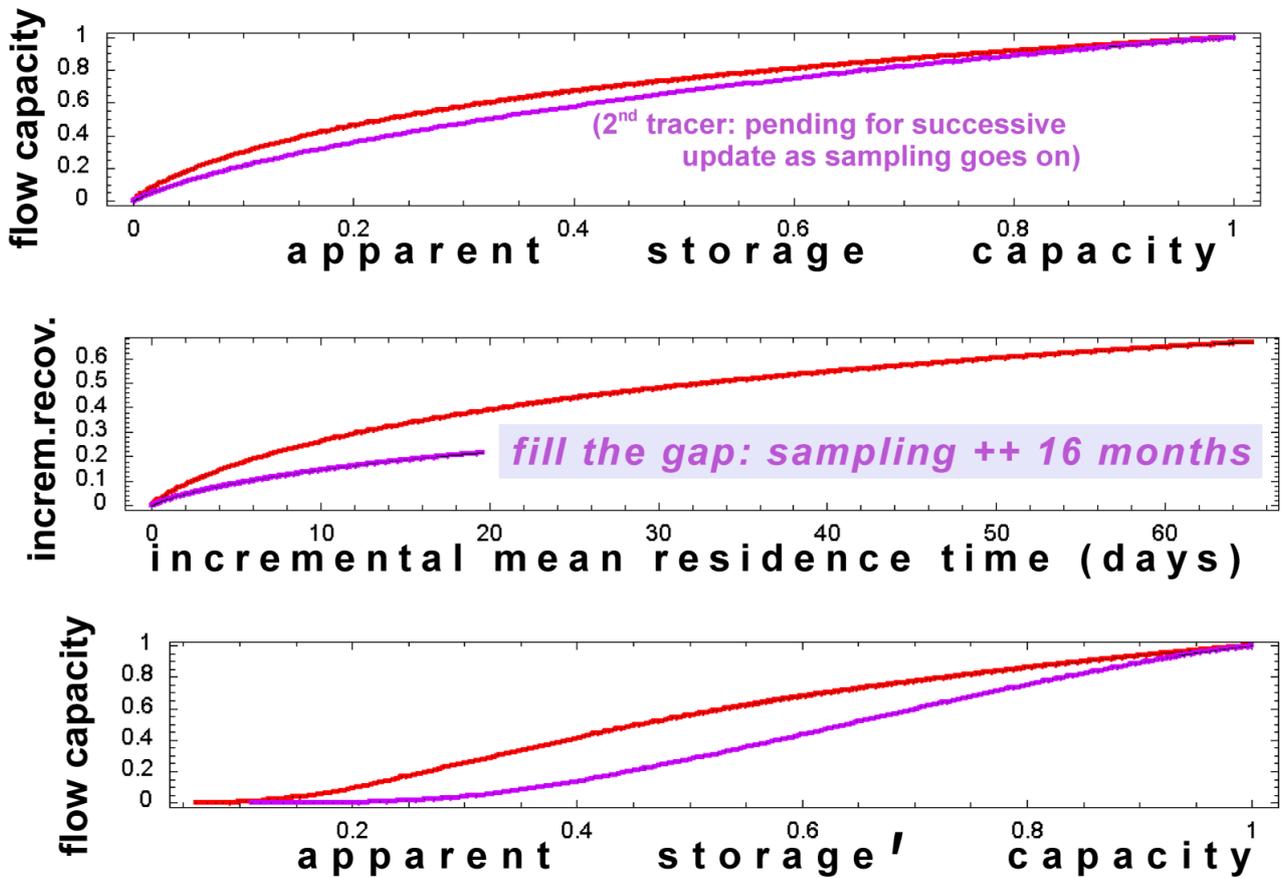


Abb. 3: Speicher-Durchfluss-Verteilung mit scheinbarer (überschätzter) sowie mit vorläufig korrigierter Verschiebung

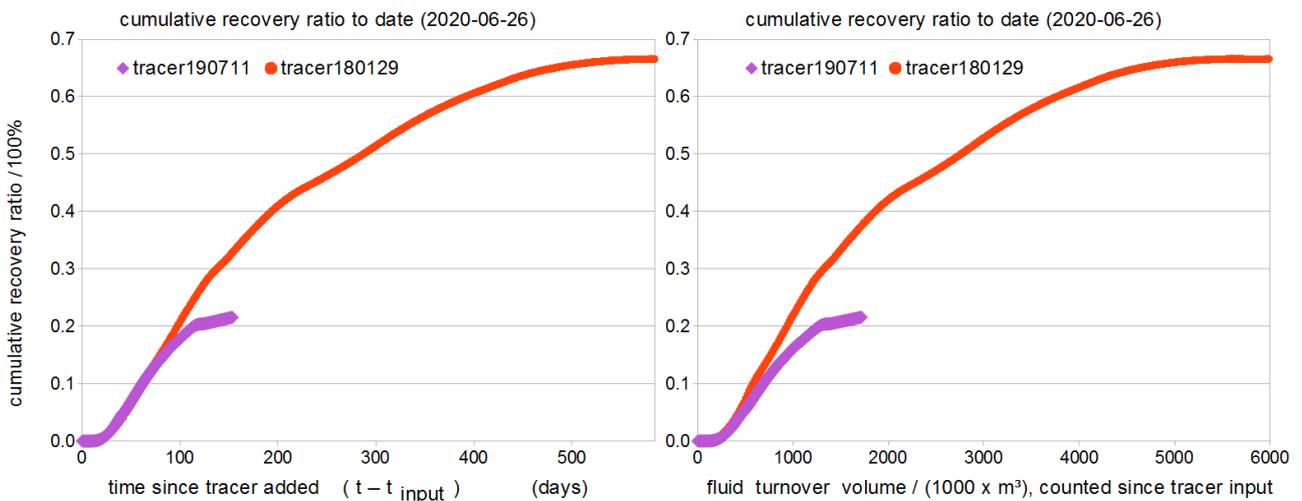


Abb. 4: Hinweis auf reaktives Verhalten des zweiten Tracers? aber nicht unbedingt ...

5. Wo fließen restliche (max.) ca. 30% des Tracers hin?

Unser Quermonitoring an weiteren Bohrungen bzw. Geothermieanlagen im Umfeld kann hierüber ggf. Auskunft geben. Ein erster gezielter Langzeitmonitoringplan wurde 2018 durch die Projektarbeitsgruppe der Univ. Göttingen für 5 Standorte definiert: Zeitplan, Analyten, benötigte Nachweis- und Bestimmungsgrenzen, benötigte Probenvolumina, empfehlenswerte (wünschenswerte) laborinstrumentelle Verfahren, kritische Ereignisse (Auslöser für PN-Sonderplan). Probennahme und Traceranalytik erfolgen zurzeit durch Mitarbeiter der HYDROISOTOP GmbH nach diesem Plan und werden ggf. durch weitere isotonen-/hydrochemische Daten ergänzt, in Absprache mit HYDROISOTOP und den ggf. betroffenen Geothermieanlagenbetreibern.



zwischendurch: Horst Behrens mit Tracerlösung

Danksagung

Die diesem Beitrag zugrundeliegenden Arbeiten wurden mit Mitteln des **Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi)** unter dem Förderkennzeichen **0325515** ("TRENDS") gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim federführenden Autor.

Quellenangaben

werden unter <https://sites.google.com/view/bmwi-0325515-trends/> laufend ergänzt und aktualisiert. Dort finden sich auch Datensätze laufender Tracertests, weitere Infos und Photos.