

# Experimentelle Bestimmung der physikalischen Thermalwassereigenschaften (PETher-Projekt)

**E. Schröder, K. Thomauske, D. Kuhn**

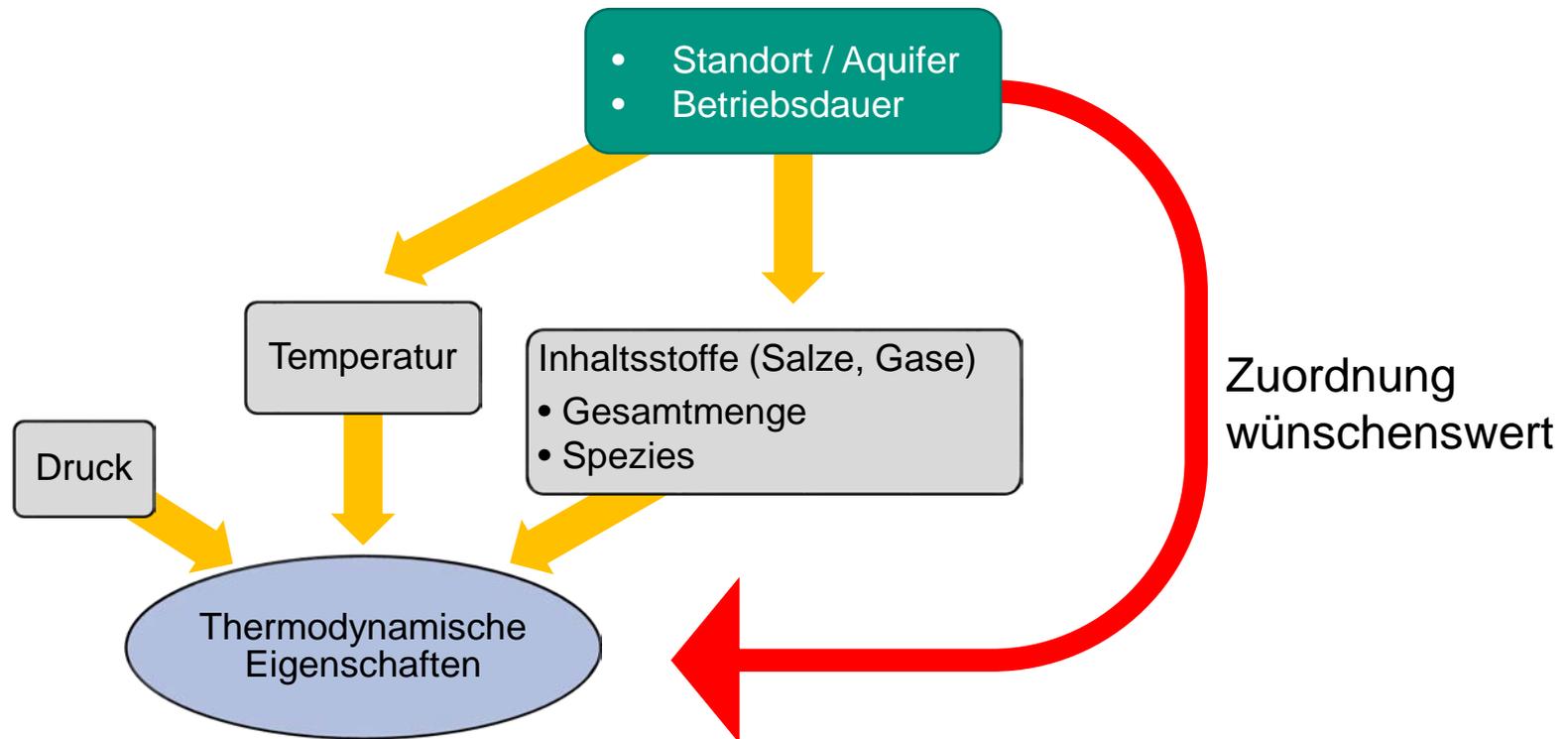
**Projektpartner: GeoT, GTN, gec-co**

Institut für Kern- und Energietechnik, Bereich III – Maschinenbau und Elektrotechnik

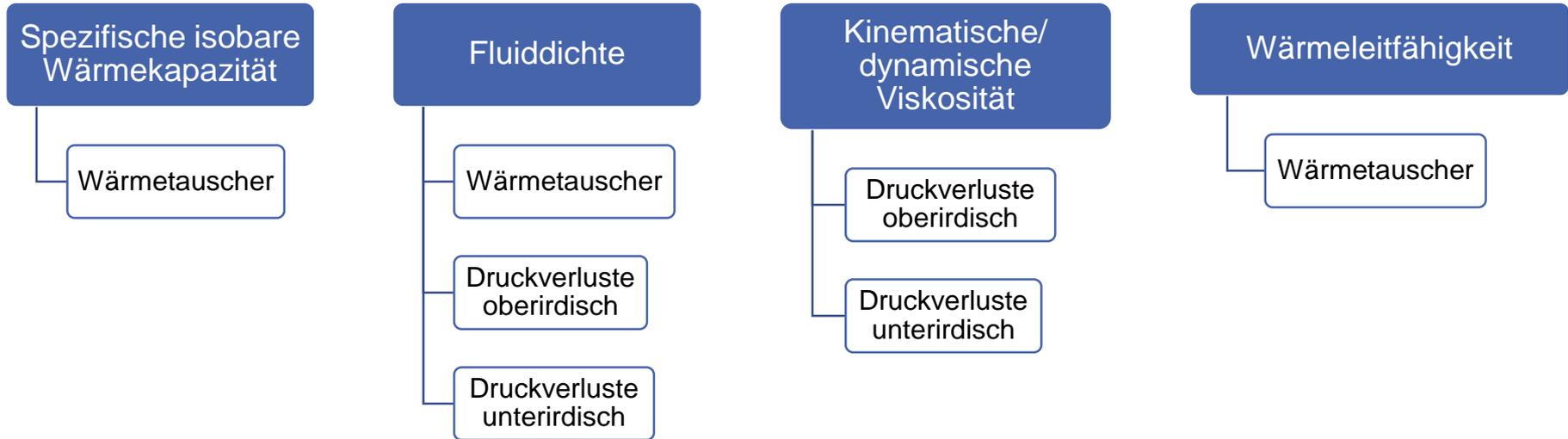


# Problemstellung

Die energetische Auslegung und Dimensionierung von Geothermieranlagen erfordert die Kenntnis der thermodynamischen Eigenschaften des Thermalwassers.



# Relevante Stoffgrößen



## Probleme messtechnisch:

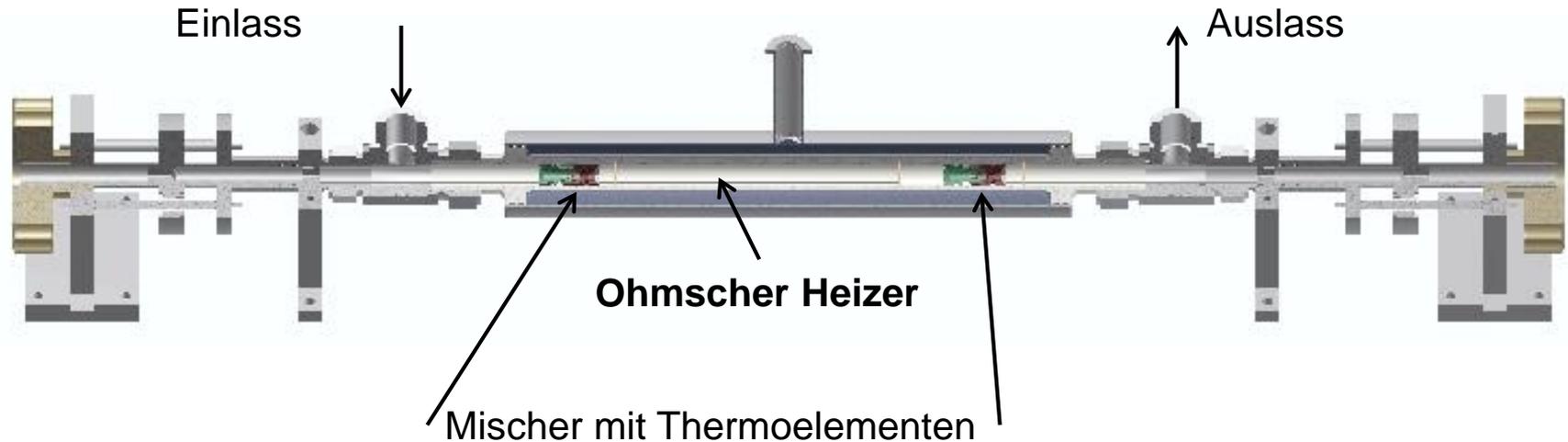
- Dichte, **online** verfügbar bis 180 °C
- Viskosität, **online** verfügbar
- Wärmekapazität bisher nur **offline**
  - Probenahme mit Gefahr von Ausfällung
  - Abkühlung und Druckentlastung

## Modellrechnungen / Literatur

- Niedrige – mittlere Salinitäten
- Begrenzt auf wenige Ionen <10
- Modelle für Thermalwasser nicht verifiziert

# Messtechnik

## ■ Kalorimeter - Bestimmung der spez. isobaren Wärmekapazität



**Heizer:**  $\varnothing$ : 2 mm Heißteil,  
 l: 200 mm,  
 P: ca. 150 W

**Rohr:** PEEK,  $\varnothing_i = 16$  mm,  
 Wärmeleitfähigkeit  $\lambda = 0,25$  W/Km

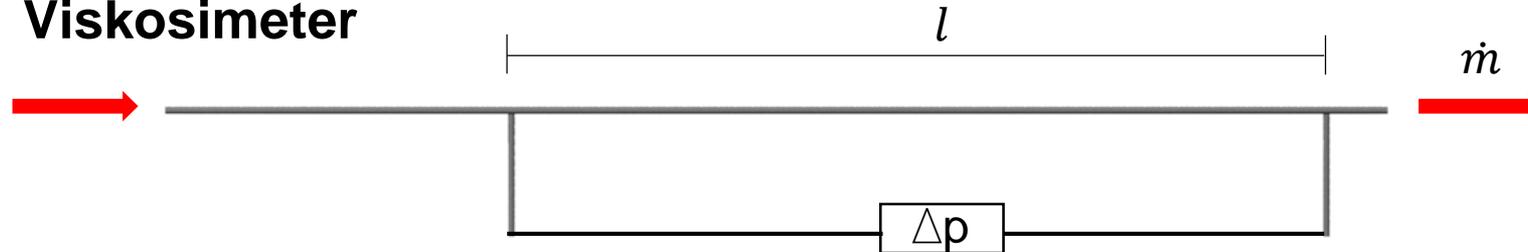
**Thermoelemente:** NiCr/Ni,  
 $\varnothing$ : 1 mm

$$cp = \frac{\dot{Q}}{\dot{m} \cdot \Delta T}$$

für  $p = \text{konst.}$

# Messtechnik

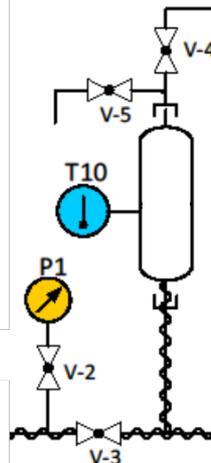
## ■ Viskosimeter



Laminare Rohrströmung  
(Poiseuille flow)

$$v = \frac{\Delta p \cdot \pi \cdot D^4}{128 \cdot \dot{m} \cdot l}$$

## ■ Dichte

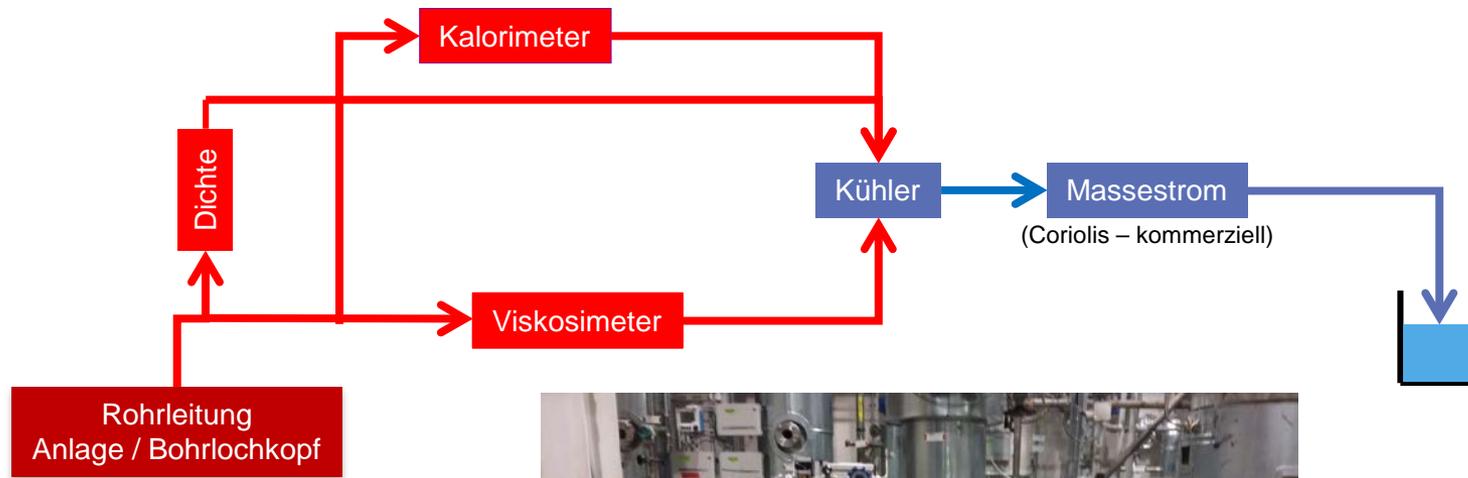


$$\rho = m / V$$

gravimetrisch

# Messtechnik

## ■ Mobiler Prüfstand



# Standortauswahl

Nach Datenrecherche und Thermalwassertypisierung

## ■ Molassebecken

- |                      |                                      |                        |
|----------------------|--------------------------------------|------------------------|
| • Gruppe I:          | Ca-(Mg)-HCO <sub>3</sub>             | TDS ≈ 497 mg/l         |
| • <b>Gruppe II:</b>  | Na-Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>            | TDS ≈ 588-689 mg/l     |
| • <b>Gruppe III:</b> | Na-HCO <sub>3</sub> -Cl              | TDS ≈ 1000 – 1500 mg/l |
| • Gruppe IV:         | Na-HCO <sub>3</sub> -Cl              | TDS ≈ 1000 – 1500 mg/l |
| • Gruppe V:          | Na-Cl-HCO <sub>3</sub> ;<br>Na-Ca-Cl | TDS ≈ 2600 mg/l        |

## ■ Oberrheingraben

- |                           |  |                    |
|---------------------------|--|--------------------|
| • Haupttrogenstein:       | Ca-(Mg)-HCO <sub>3</sub>                 | TDS ≈ 1 g/kg       |
| • <b>Ob. Muschelkalk:</b> | Ca-Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>  |                    |
|                           | Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl | TDS ≈ 20 g/l       |
| • Buntsandstein:          | Na-Cl                                    | TDS ≈ 130 g/l      |
| • Rotliegendes:           | Na-Cl                                    | TDS ≈ 100 -130 g/l |
| • <b>Kristallin:</b>      | Na-Cl                                    | TDS ≈ 100 -130 g/l |

## ■ Norddeutsches Becken

- |                 |                 |                    |
|-----------------|-----------------|--------------------|
| • Rotliegendes: | Na-Cl, Na-Ca-Cl | TDS ≈ 300 -360 g/l |
| • <b>Rhät:</b>  | Na-Cl           | TDS ≈ 130 -360 g/l |

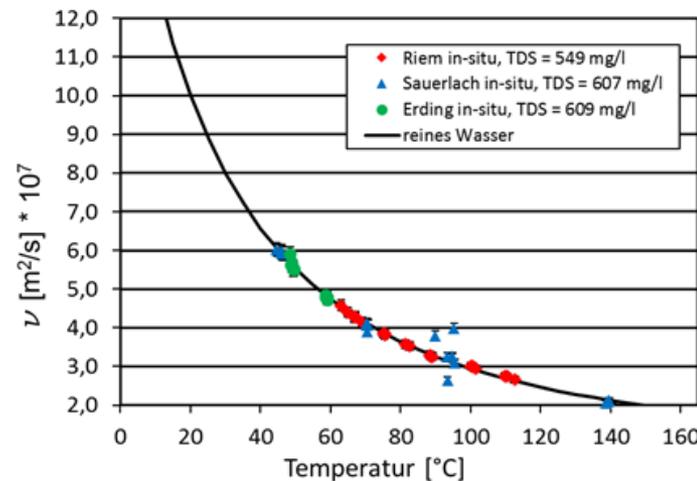
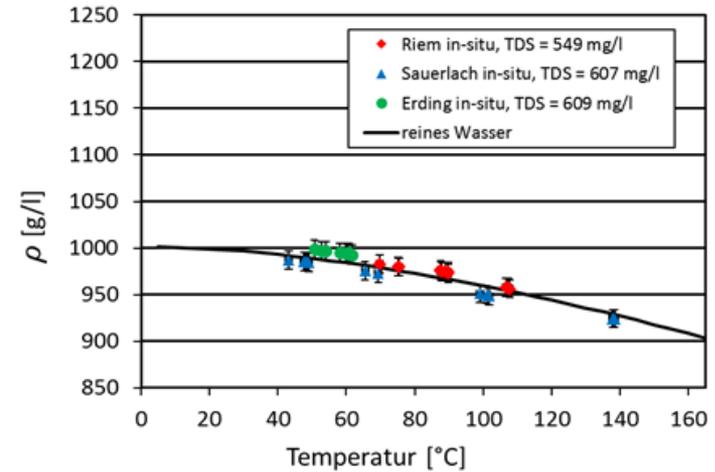
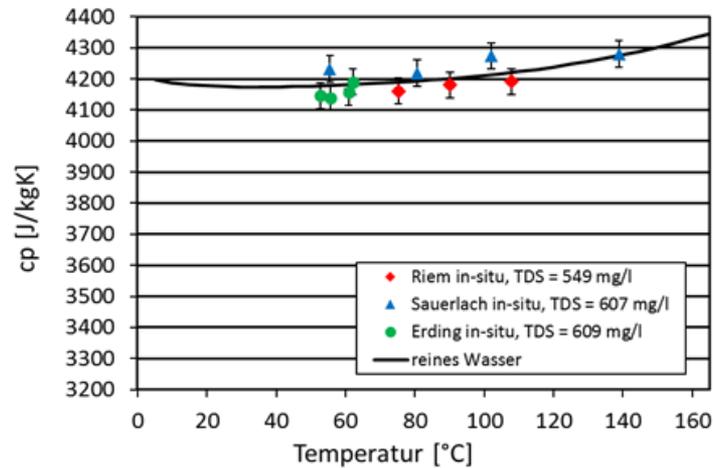
Rot: in-situ Messungen

Quellen:

STOBER, I. und JODOCY, M., *Z. geol. Wiss.*, 39, (2011), 39 - 57.  
 WOLFGRAMM, M. et al.: *Zeit. Geol. Wiss.*, 39, (2011), 173 - 193.  
 STOBER, I.: *Die Wasserführung des kristallinen Grundgebirges*, Ferdinand Enke Verlag: Stuttgart (1995).  
 BIRNER, J.: Hydrogeologisches Modell des Malmaquifers im Süddeutschen Molassebecken, Freie Universität Berlin (2013).

# In-situ Messergebnisse

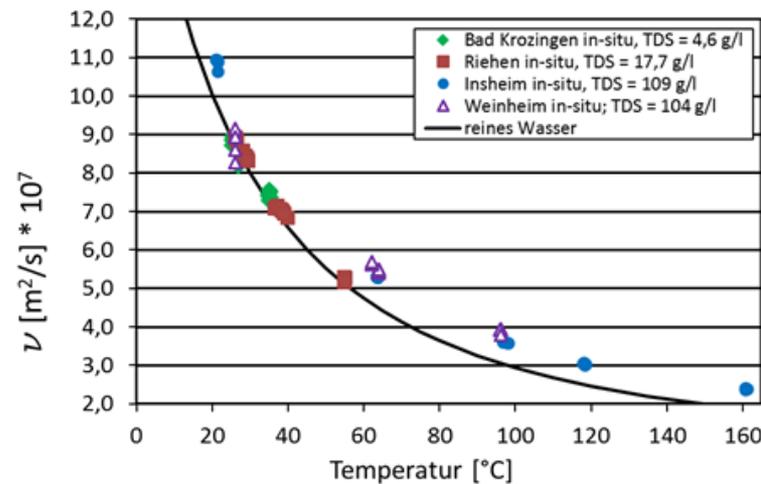
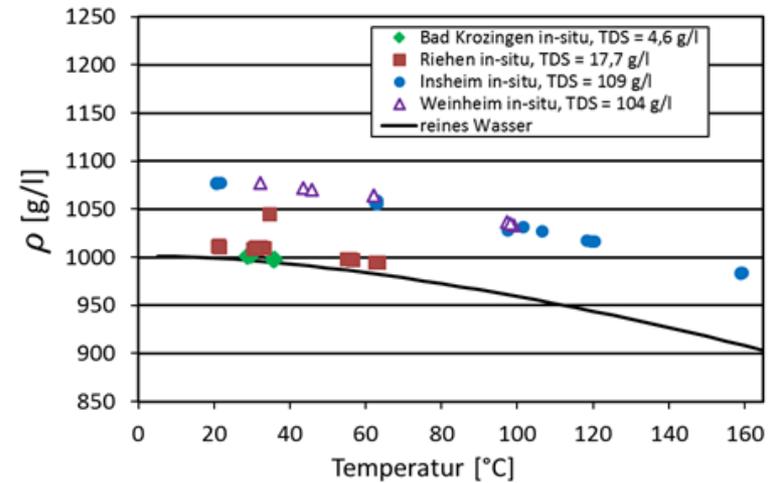
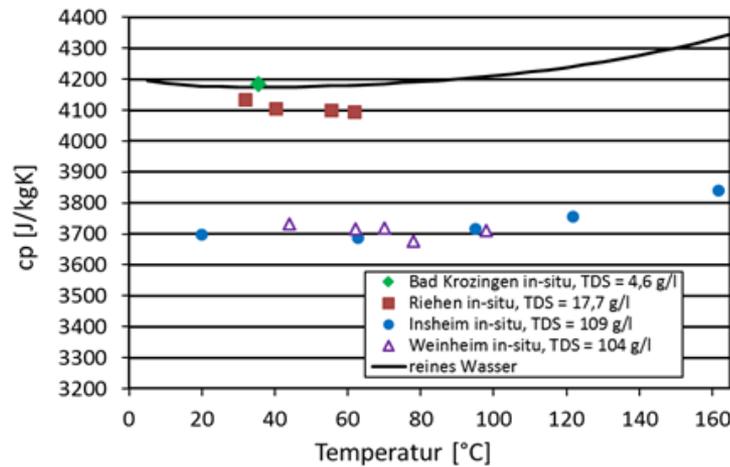
## Molassebecken



Wasserdaten: NIST Datenbank

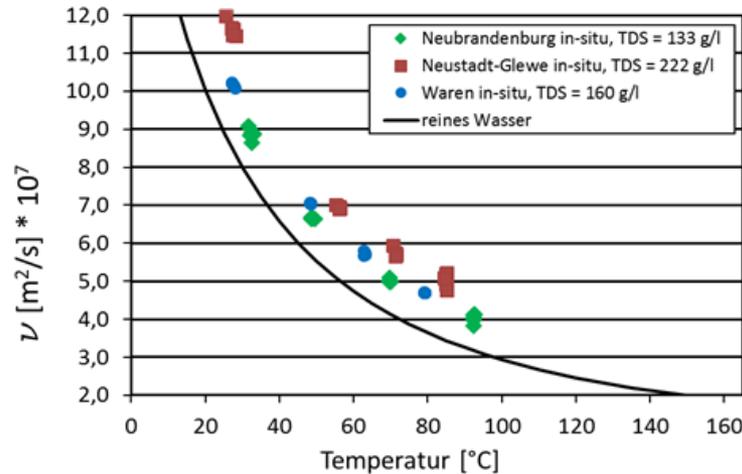
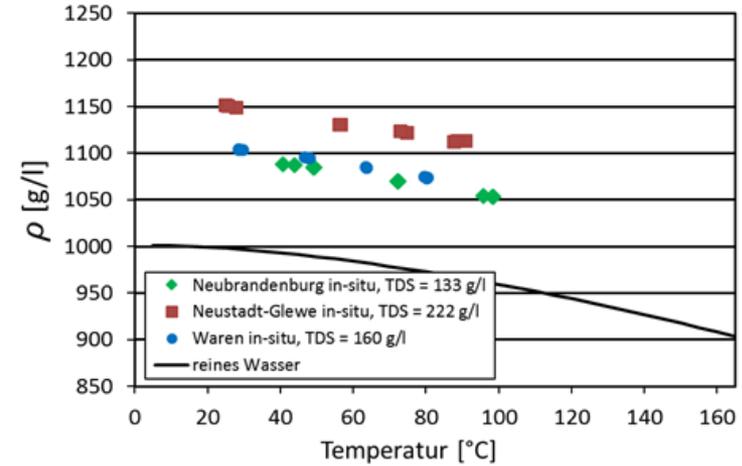
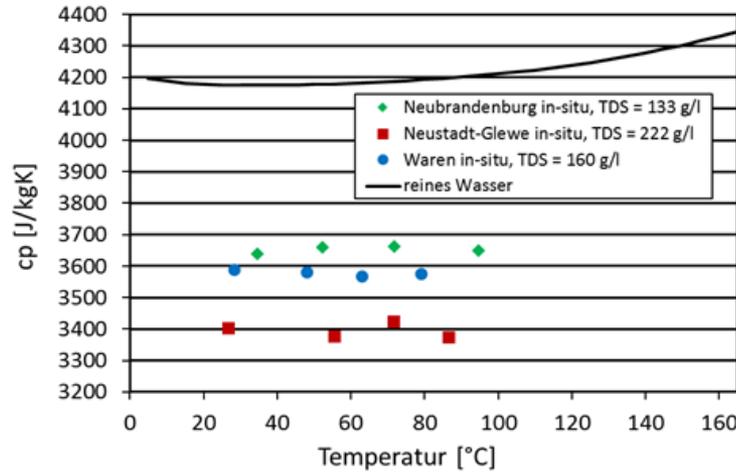
# In-situ Messergebnisse

## ■ Oberrheingraben



# In-situ Messergebnisse

## ■ Norddeutsches Becken



# Labormessreihen mit Modellwässern

## ■ Identifizierung typischer Thermalwasserzusammensetzungen

- Beschränkung auf Hauptionen
- Auswertung aller verfügbaren Datensätze – typische Zusammensetzung <- Median der Daten
- Anpassung der synthetischen Zusammensetzung an Typisierung
- dient der Ergänzung der in-situ Messungen
- Einfluss der Salzzusammensetzung soll untersucht werden

Ion	Modellwasser: Massenanteil [kg/kg] in der Salzmischung									
	Molasse III	Salinare Wässer Oberrheingraben			Oberer Muschelkalk			Kristallin	Rotliegendes	Rhät, Norddeutsches Becken
Na <sup>+</sup>	0,2288	0,3050	0,3037	0,3042	0,2222	0,1812	0,2862	0,2794	0,3004	0,3600
K <sup>+</sup>	0,0000	0,0270	0,0260	0,0248	0,0000	0,0124	0,0320	0,0371	0,0309	0,0000
Ca <sup>2+</sup>	0,0459	0,0529	0,0529	0,0529	0,0825	0,0966	0,0264	0,0768	0,0530	0,0200
Mg <sup>2+</sup>	0,0092	0,0067	0,0068	0,0080	0,0000	0,0053	0,0183	0,0015	0,0078	0,0068
Sr <sup>2+</sup>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ba <sup>2+</sup>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Cl <sup>-</sup>	0,1062	0,6069	0,5956	0,6063	0,0862	0,0352	0,4277	0,6041	0,6079	0,6031
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,6073	0,0000	0,0087	0,0028	0,3001	0,3321	0,0763	0,0000	0,0000	0,0000
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,0026	0,0015	0,0063	0,0009	0,3090	0,3372	0,1332	0,0010	0,0000	0,0101
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Summe	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TDS [g/l]	0,5490	103,50	50,00	130,00	14,80	4,25	14,80	104,00	300,00	165,00

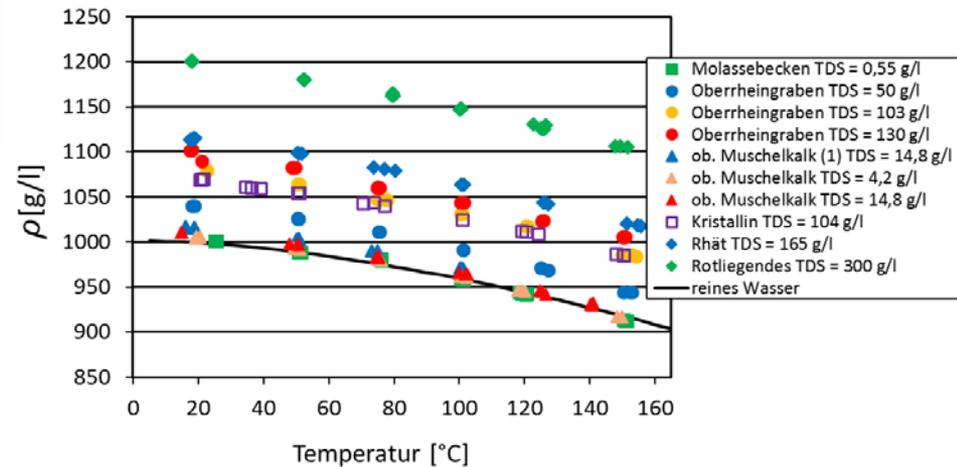
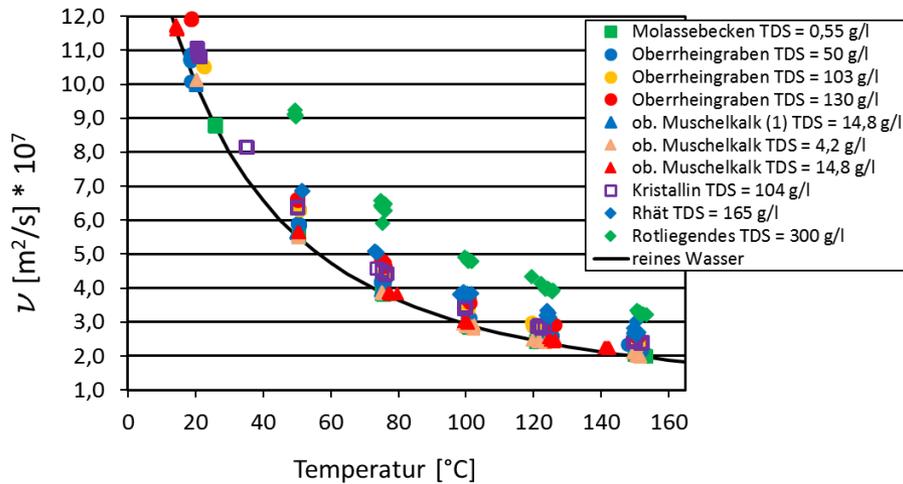
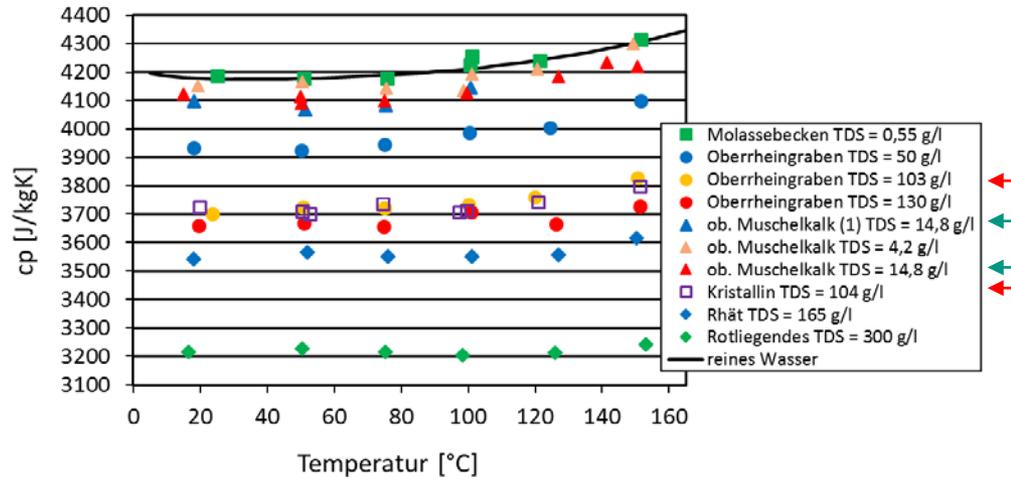


Nicht alle Lösungen konnten bei Umgebungsdruck hergestellt werden



Die Modellwässer waren alle stark NaCl dominiert

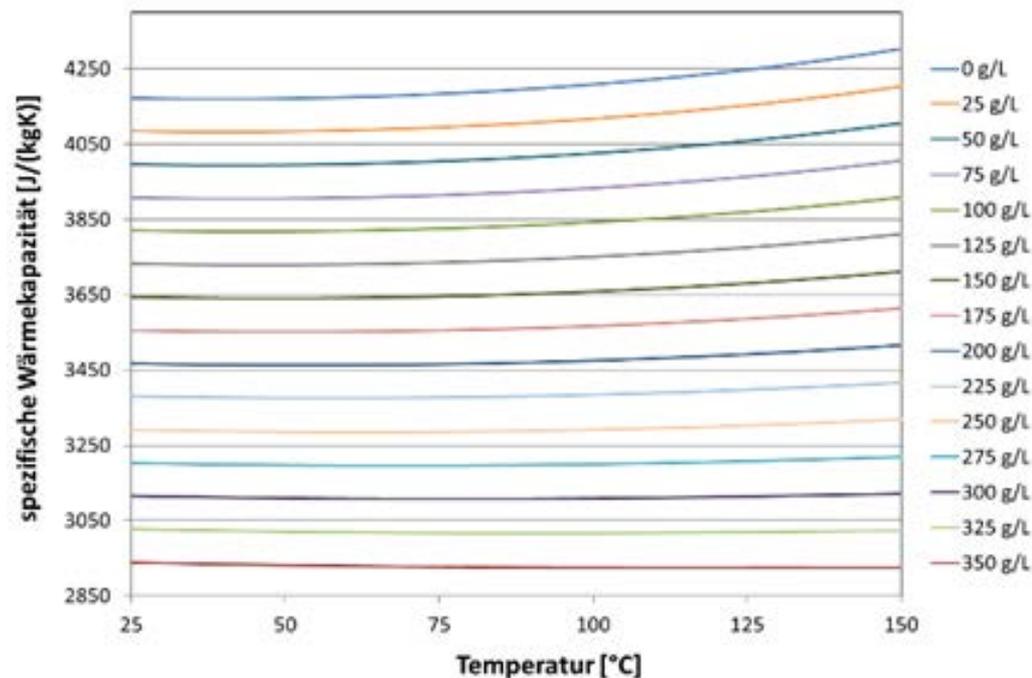
# Messergebnisse mit Modellwässern



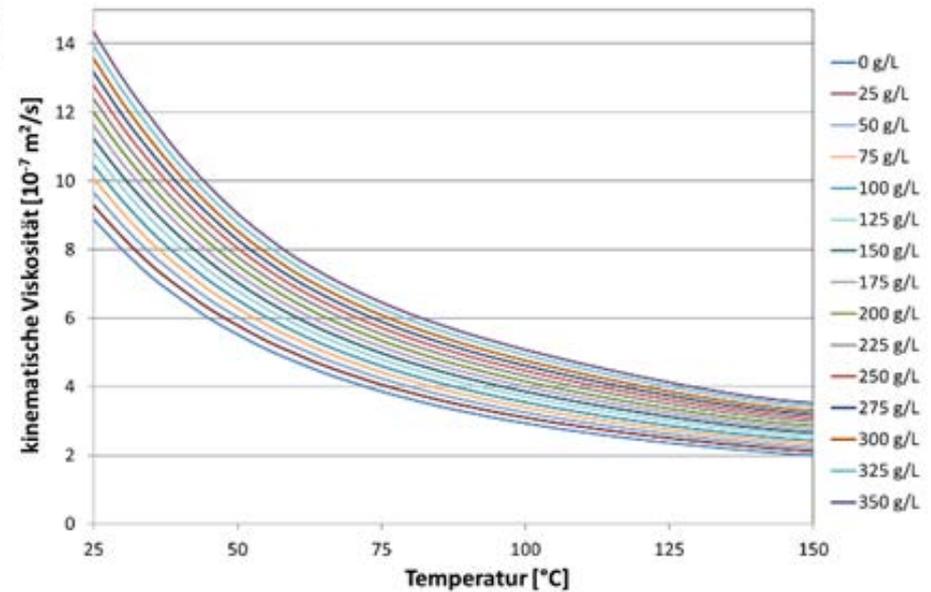
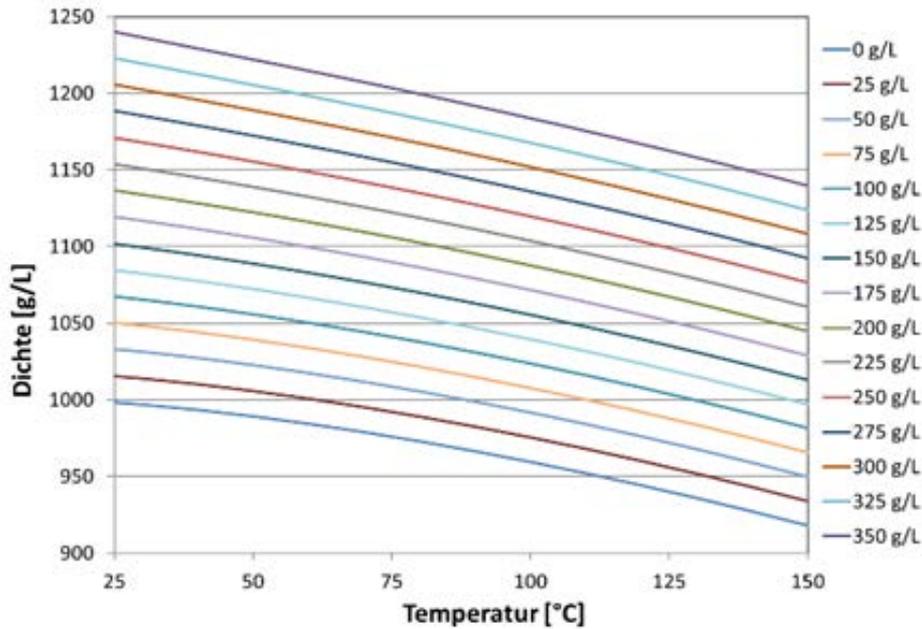
# Erstellung von Kennkurven

## ■ Vorgehensweise

1. Interpolation der Werte einer Messreihe (konst. Zusammensetzung) -> Stützkurven
  - Dichte: Polynom 2. Grades
  - Viskosität: Polynom 4. Grades
  - Wärmekapazität: Polynom 2. Grades
2. Lineare Interpolation über alle Stützkurven



# Erstellung von Kennkurven



# Zusammenfassung

- Mit der Meßtechnik konnte die in-situ Bestimmung der thermodynamischen Thermalwassereigenschaften erfolgreich durchgeführt werden.
- Für die wichtigsten geologischen Nutzhorizonte liegen in-situ Daten vor.
- Die Salinität ist der Haupteinflussfaktor auf die Stoffdaten.
- Einfluss der Ionensorte erfordert stärkere Systematik der Untersuchungen (binäre, tertiäre, ... Mischungen)
- Einfluss des Druckes ist auf die Stoffdaten ist von geringer Bedeutung für die Kraftwerksauslegung – nicht jedoch für die Entgasungsproblematik/Ausfällungen
- Kennkurven zur Abhängigkeit der Stoffwerte von der Salinität wurden anhand der Modell- und Thermalwasser erstellt und dienen als Datenbasis zur Stoffwerteermittlung.
- Überprüfung von thermodynamischen Modellen wurde durchgeführt. Messwerte konnten von den Modellen nur in eingeschränkten Salinitätsintervallen gut wiedergegeben werden

s. Abschlussberichte: - Schröder, E., Thomauske, K., Kuhn, D., Thorwart, K., Nowak, K., Markus, W.,  
BMWi-Verbundprojekt PETH: Teilvorhaben 0325761A  
- Jodocy, M. and Kraml, M., BMWi-Verbundprojekt PETH: Teilvorhaben 0325761B

# Danksagung

## Unser Dank gilt:

- den Projektpartnern für die konstruktive Zusammenarbeit
  - Geothermal Engineering (GeoT)
  - Geothermie Neubrandenburg (GTN)
  - Global Engineering & Consulting-Company GmbH (gec-co)
  
- den Kraftwerksbetreibern für die Durchführung der in-situ Messungen in
  - Erding, Riem, Sauerlach
  - Bad Krozingen, Weinheim, Riehen, Insheim
  - Neubrandenburg, Neustadt-Glewe, Waren
  
- dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie für die Förderung

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**