



# MALEG

## Maschinelles Lernen in der aquatischen Geochemie

Praxisforum Geothermie Bayern 2025

Lars Yström

# 1. Vorstellung

- Partner
- Ziel von MALEG

# 2. Vorgehensweise

- Hardware Zwilling
- Digitale Zwillinge

# 3. Künstliche Intelligenz

- Entwicklung
- Stand des Projektes

# Partner

Gefördert durch:



Partner:



Kraftwerke:



# MALEG

## Ziel des Projektes



### Effizienzsteigerung von Geothermiekraftwerken mittels KI

#### Synergie aus multidisziplinären Ansätzen:

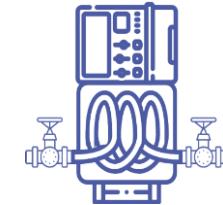
##### 1. Analytische Geochemie:

Umfassende hydrogeochemische Beprobung des Kraftwerks und chemische Analyse der standort-spezifischen Experimente mittels Hardware Zwilling



##### 2. Hardware Zwilling (Demonstrator):

Feldlabor zur experimentelle Bestimmung der effizientesten Betriebsparameter



##### 3. Digitale Zwillinge:

Digitales Abbild des Demonstrators in einem cyber-physischen System  
Echtzeit-Prozesssimulation durch Monitoring der Betriebsparameter



##### 4. Künstliche Intelligenz:

Analyse und Interpretation der gesamten, erhobenen Daten (Betriebsparameter, Fluidchemismus, Prozesssimulation...)



# Hardware Zwilling

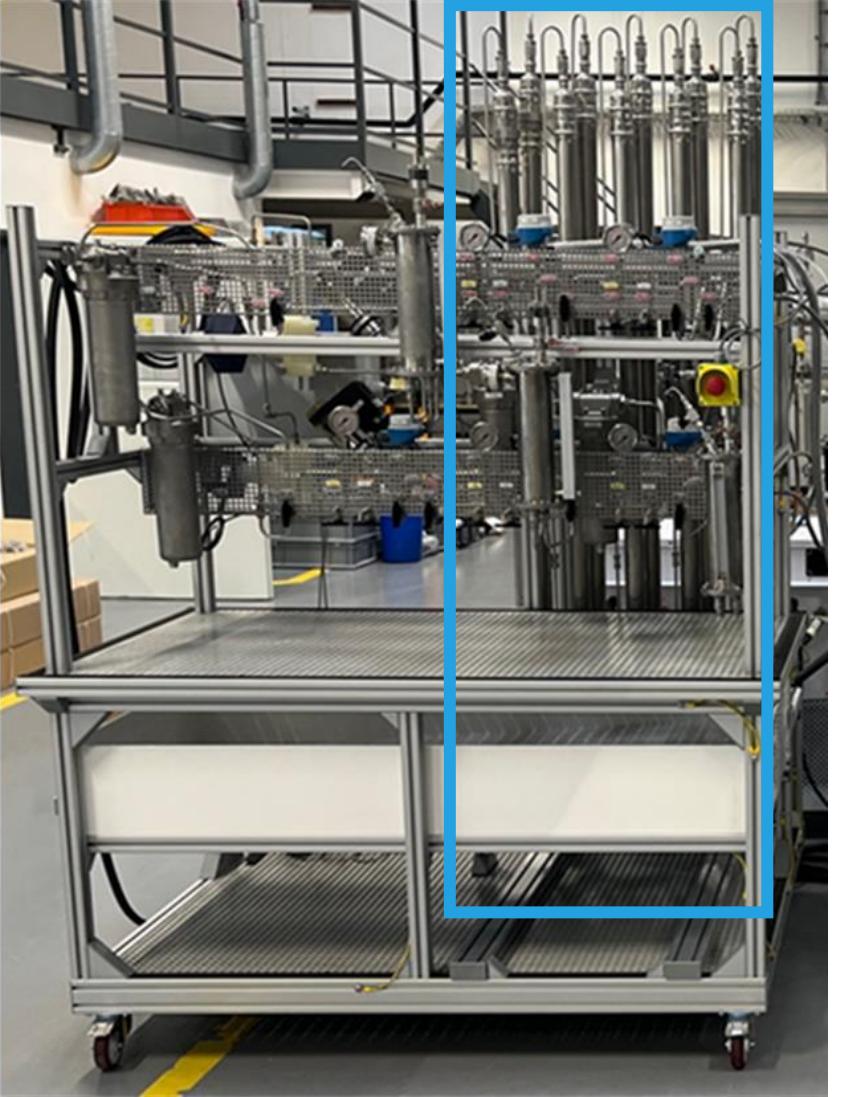


# Hardware Zwilling

## Aufbau und Funktionsweise

**Hergestellt und getestet durch das Fraunhofer ISE**

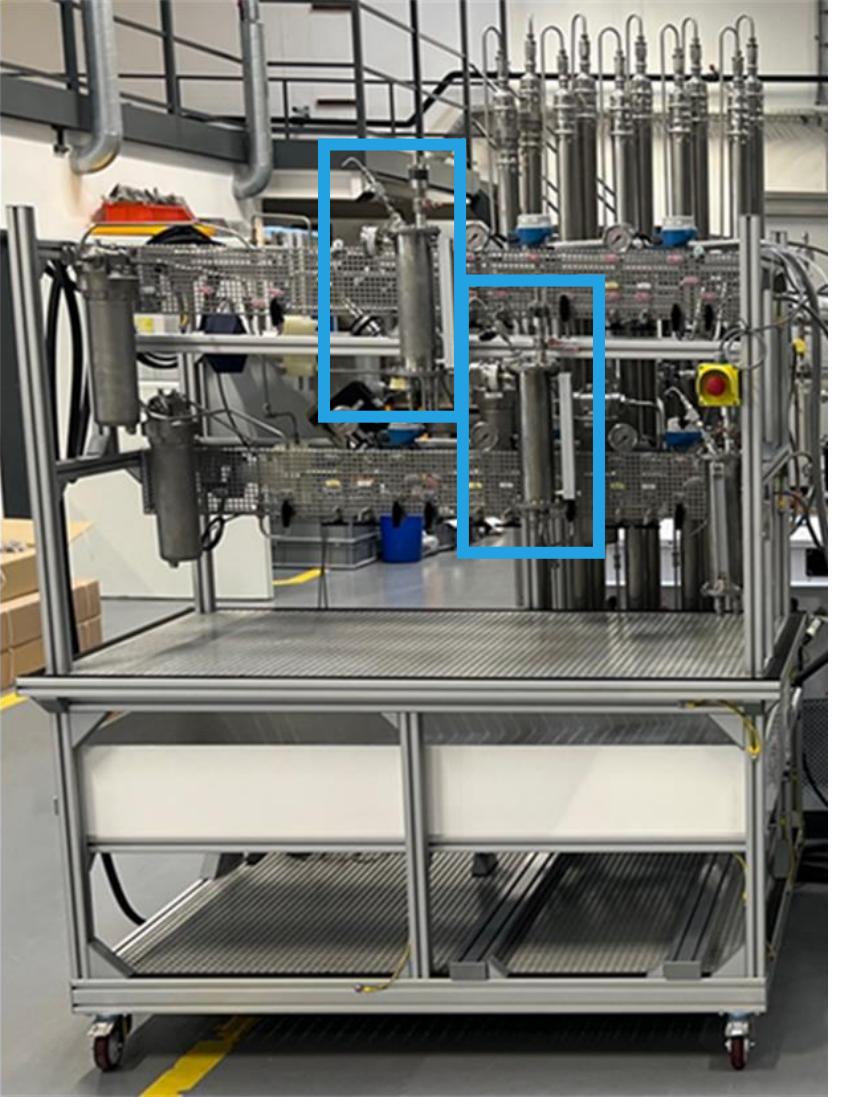
Der Demonstrator wird über einen Bypass an der heißen Seite des Geothermiekraftwerkes an das System angeschlossen



# Hardware Zwilling Aufbau und Funktionsweise



**Isolierte Verweilstrecke zur Darstellung reaktiver Prozesse im System (mineralische Ausfällungen, Entgasung)**



# Hardware Zwilling Aufbau und Funktionsweise



**Gasfallen mit Radarsonde und Sichtglas zur Füllstands-kontrolle sowie magnetischen Auslassventilen zur automatisierten Messung der Gaszusammensetzung**

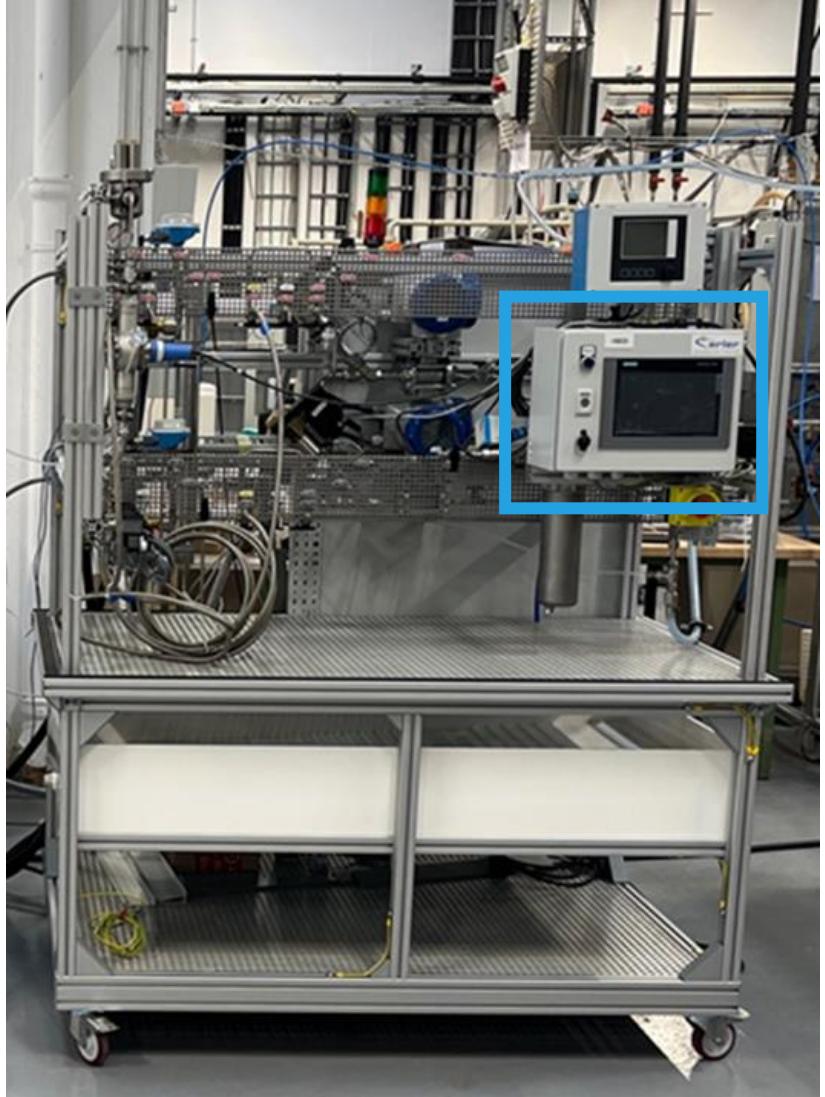


# Hardware Zwilling

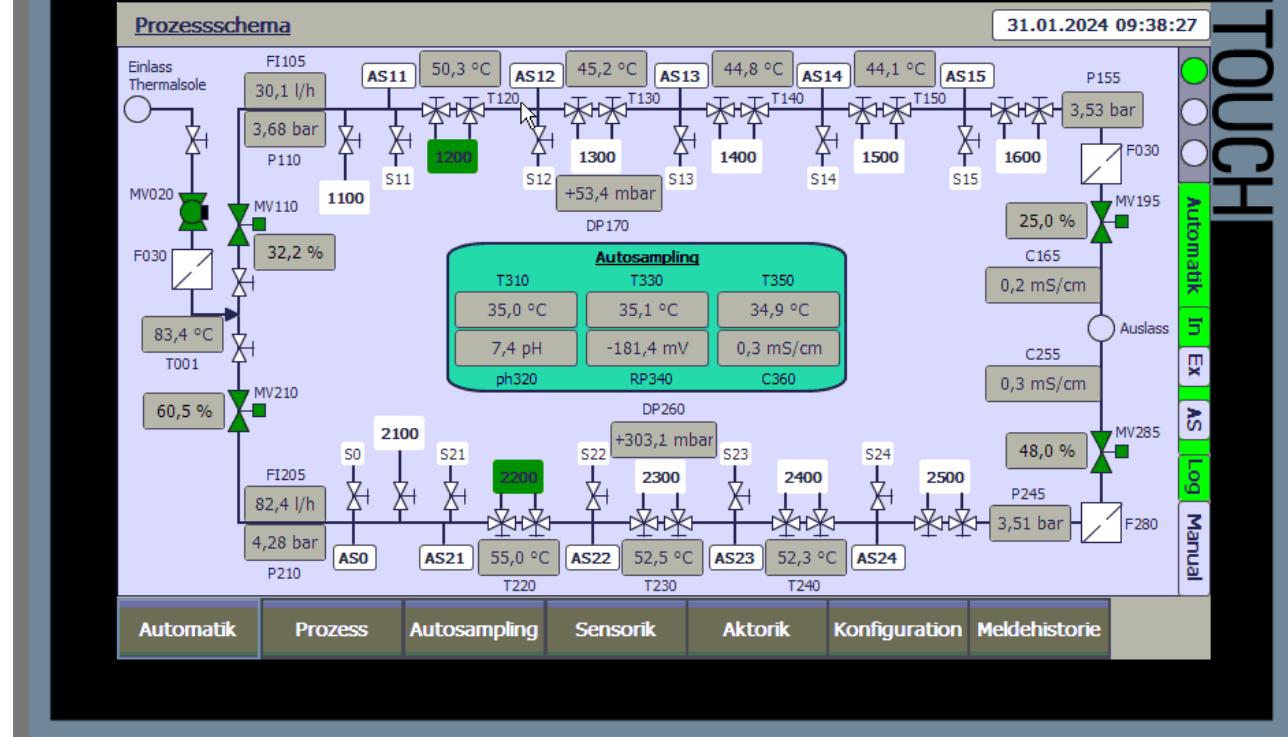
## Aufbau und Funktionsweise



**Filterkerzeneinsatz mit Halterung für Korrosionscoupons,  
welche von Hydroisotop analysiert werden**

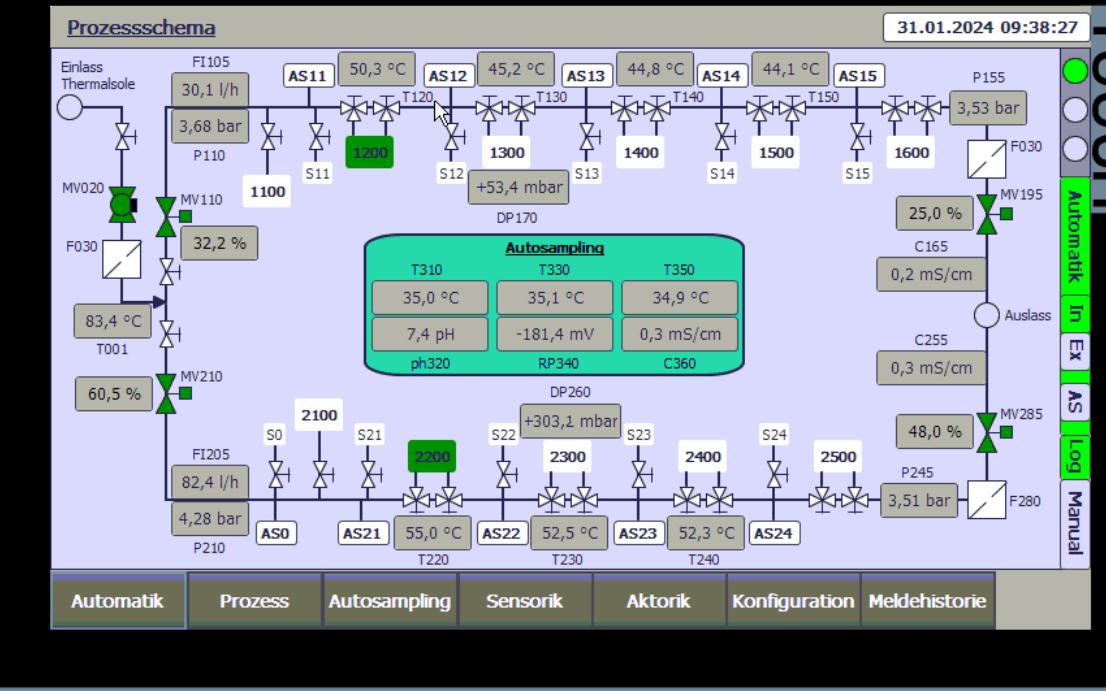
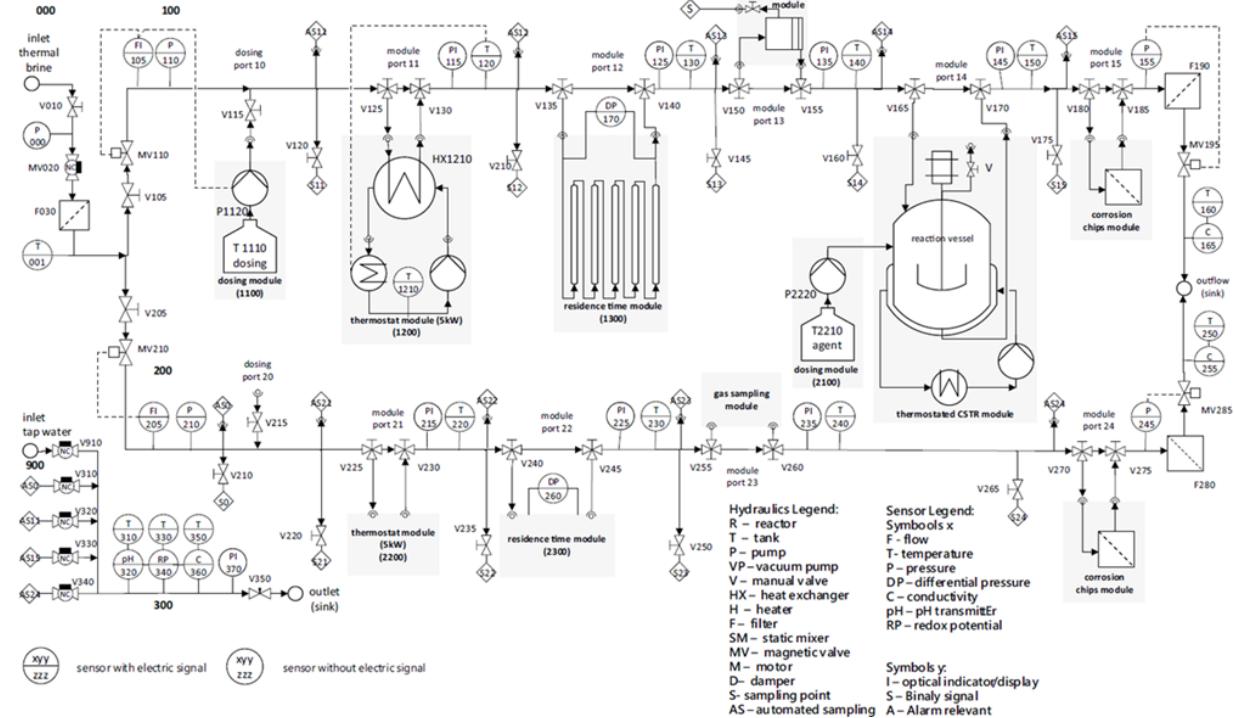


# Hardware Zwilling Aufbau und Funktionsweise



Siemens SPS als Herzstück der Anlage mit Visualisierung der Sensoren und Aktoren via Siemens SIMATIC HMI

# Digitale Zwillinge



# Digitaler Zwilling Cyber-physisches System

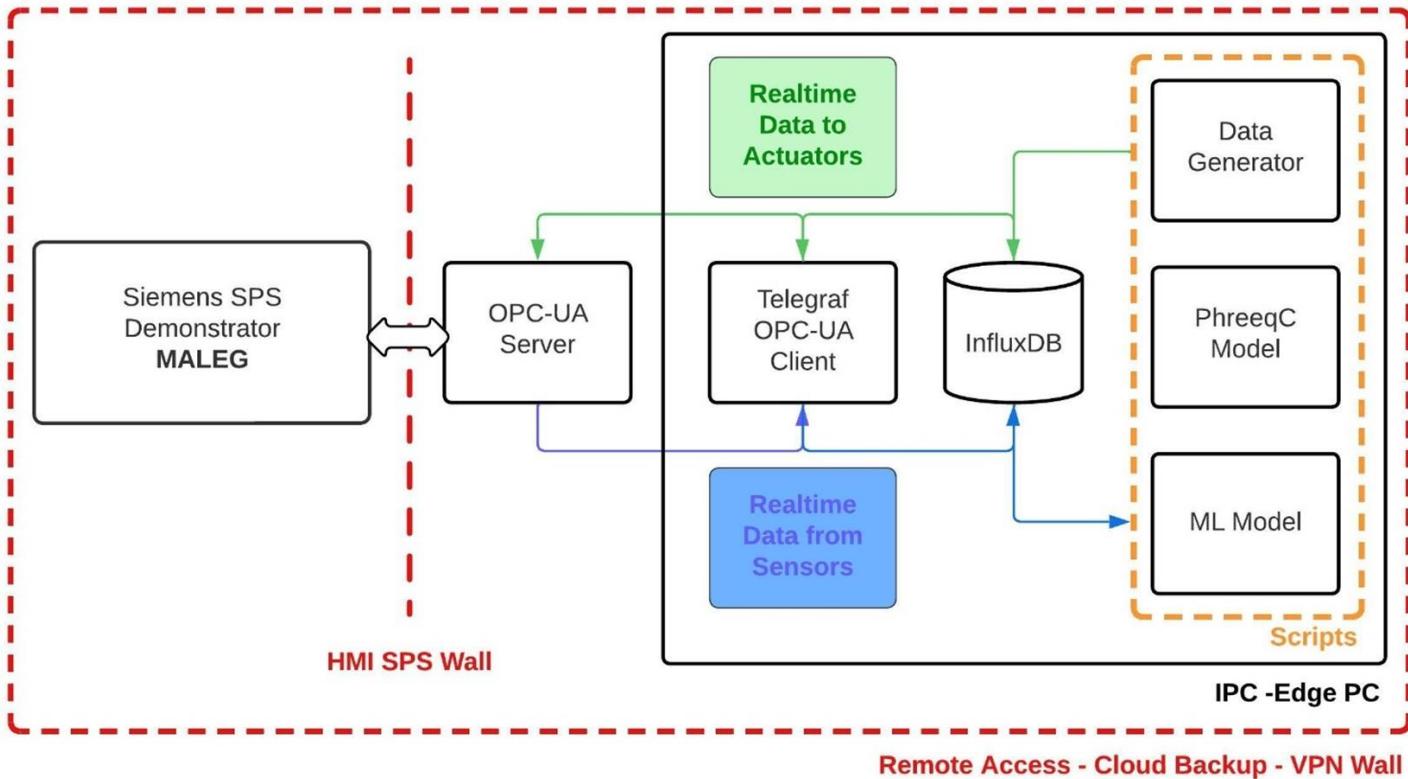
Digitales Abbild des Demonstrators zum Auslesen und Ansteuern aller Sensorik und Aktorik in Echtzeit implementiert durch Fraunhofer ISE und Geosaic

# Digitaler Zwilling

## Prozesssimulation

**Monitoring, Speichern der Betriebsparameter  
auf dem Rechner und der Cloud für die  
Echtzeit-Prozesssimulation**

- Temperatur
- Druck
- Durchflussrate
- pH – Wert
- Redoxpotential
- Leitfähigkeit



→ **gezielte Datenerhebung zur  
Berechnung des Fluidchemismus**

Implementierung durch Geosaic

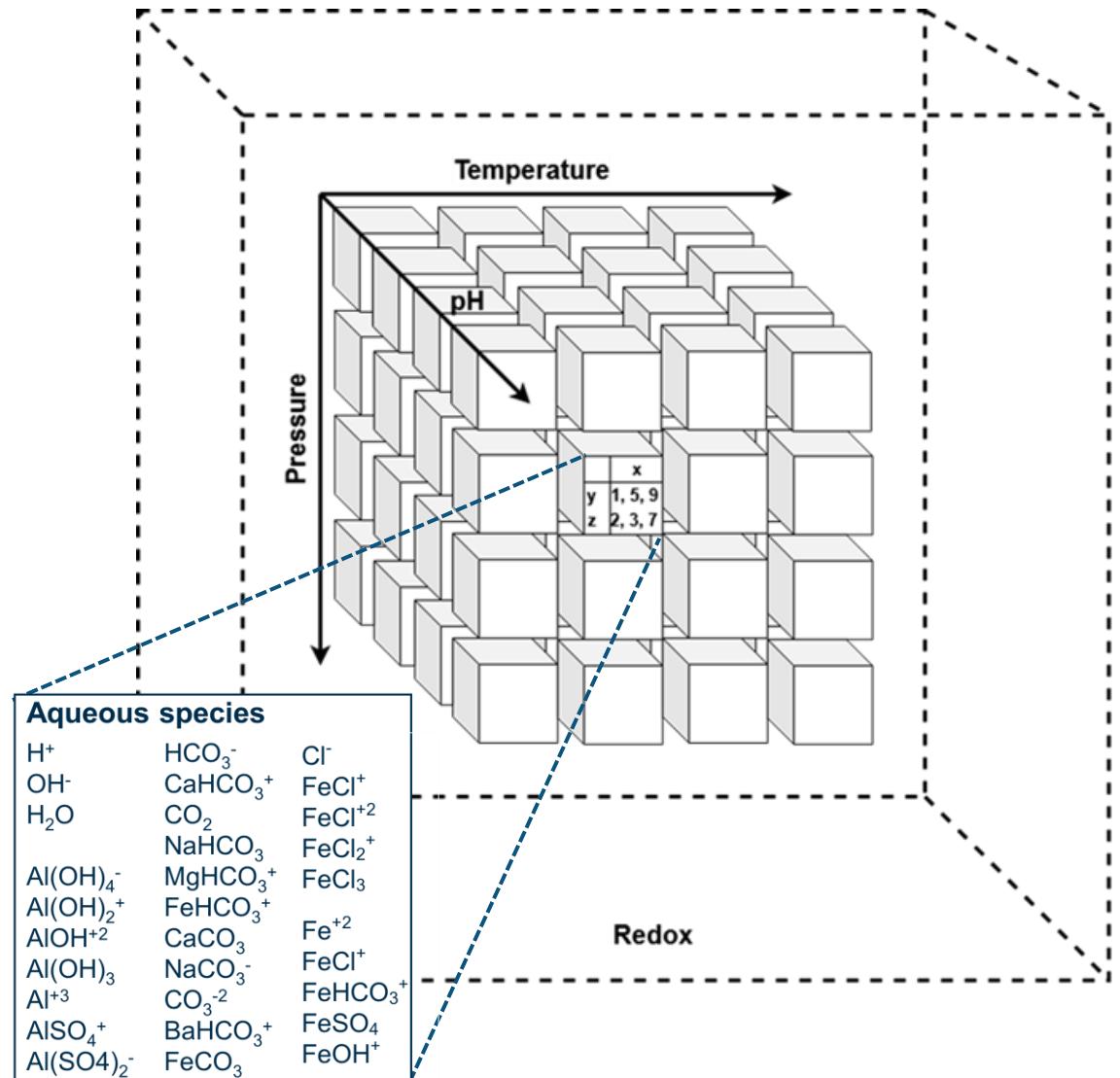
# Digitaler Zwilling

## Prozesssimulation

Aufbau eines konsistenten, standortspezifischen, hydrogeochemischen Datensatzes

- Systemparameter (Druck, Temp., pH, Redox)
- Entgasungsdruck
- Gaszusammensetzung
- Gelöste aquatische Spezies
- Sättigungsindices der gelösten Phasen

→ Kopplung von Betriebsparametern mit Fluidchemismus



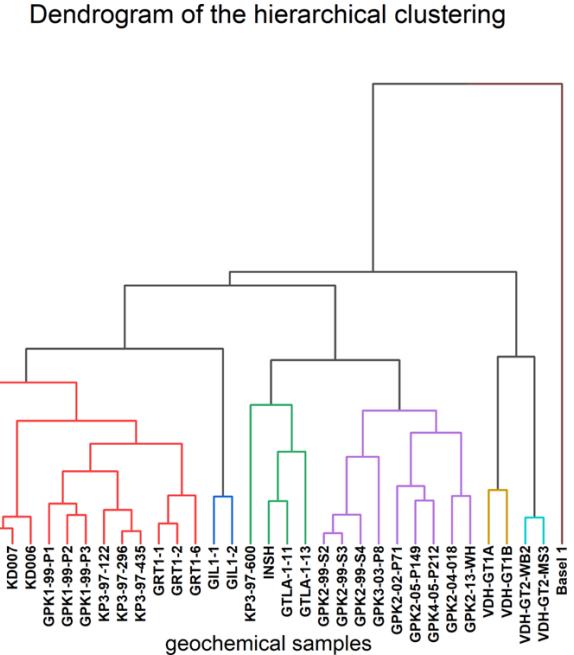
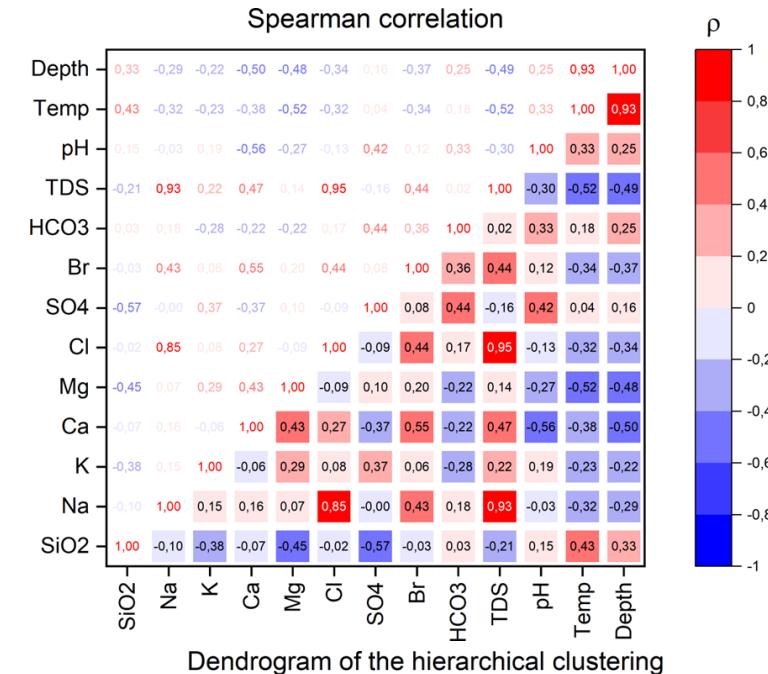
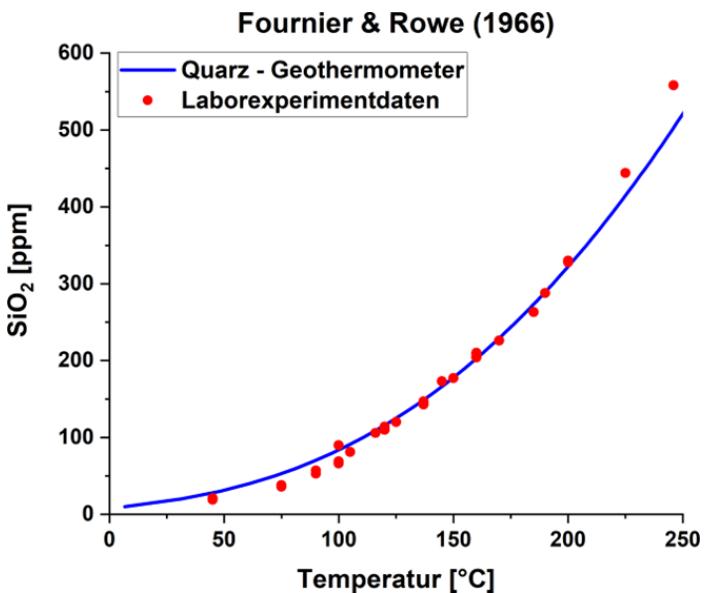
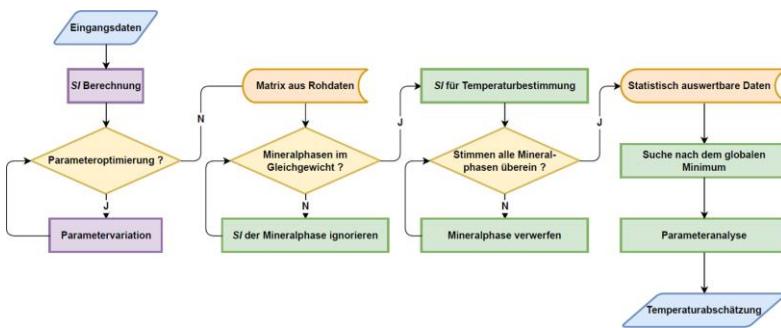
# Künstliche Intelligenz

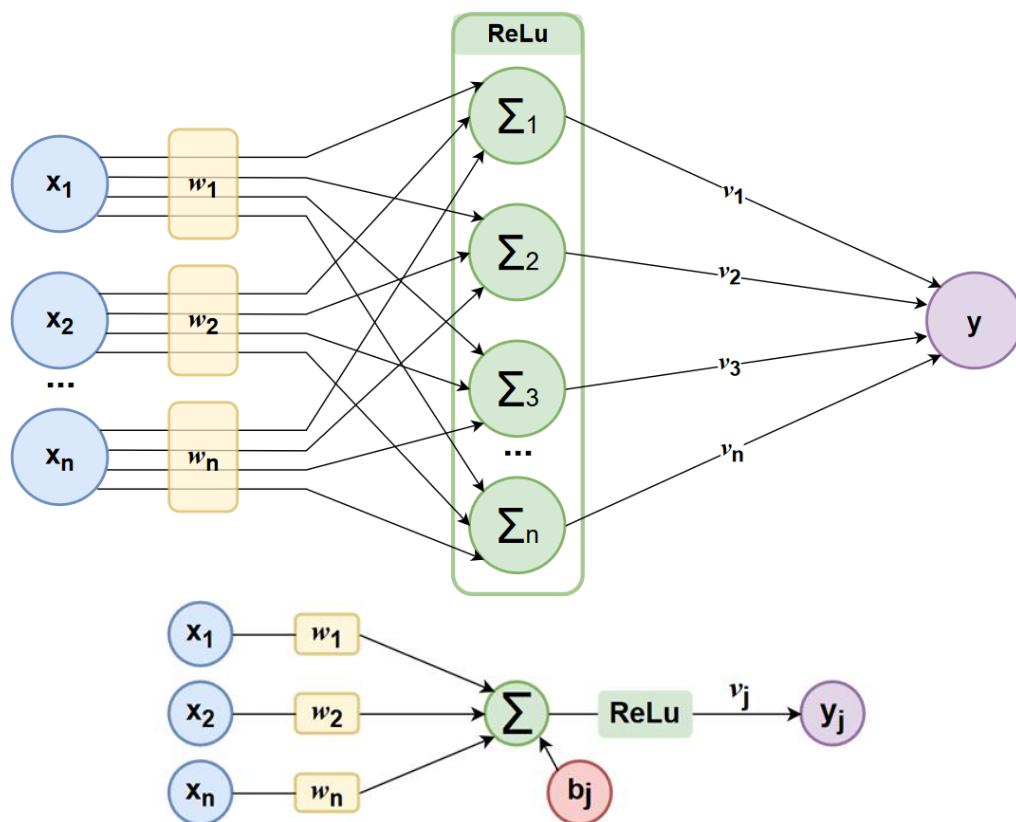
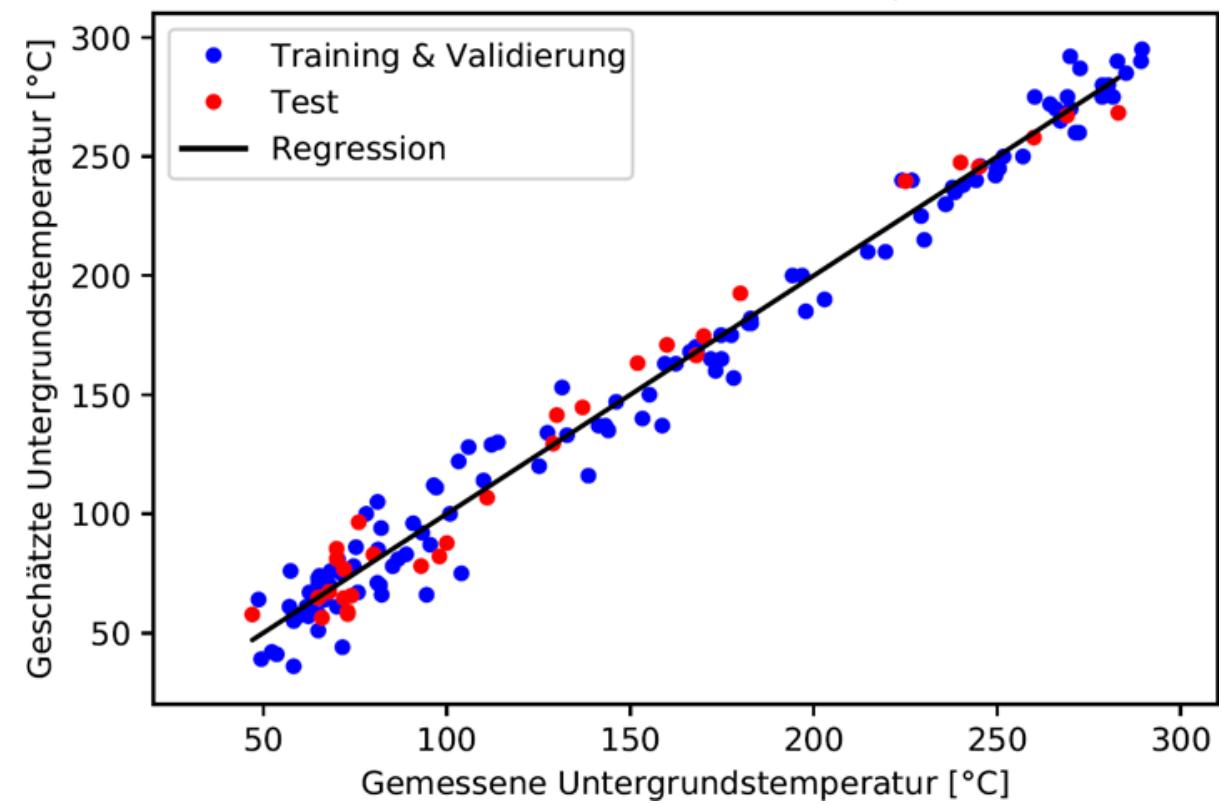
# Künstliche Intelligenz Methoden

## Nutzung unterschiedlicher Methoden zur Bearbeitung spezifischer Aufgaben

- Regressionen
- Entscheidungsbäume
- Mustererkennung
- Künstliche neuronale Netze
- Support Vector Maschinen
- ...

Basierend auf automatisierten statistischen Verfahren und speziell angepassten Algorithmen



Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0,978$ 

# Künstliche Intelligenz Entwicklung

# Künstliche Intelligenz

## Stand des Projektes

Erhebung von zwei kompletten, konsistenten Datensätzen

### 1. Haag am Hausruck:

Temperaturempfindlicher, mikrobieller Film von unbekannten Sulfatreduzierern ( $\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{HS}^-$ )

**Korrosion & biogenes Clogging**



### 2. Unterschleißheim:

Temperatur-, druck- und fließratenabhängige Entgasung  
(Gasvolumen, Gaszusammensetzung)

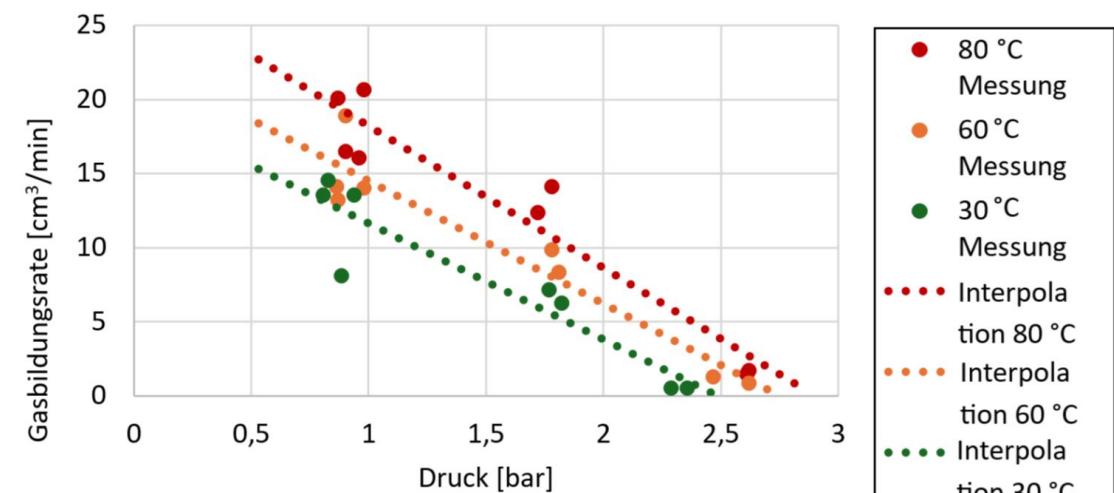
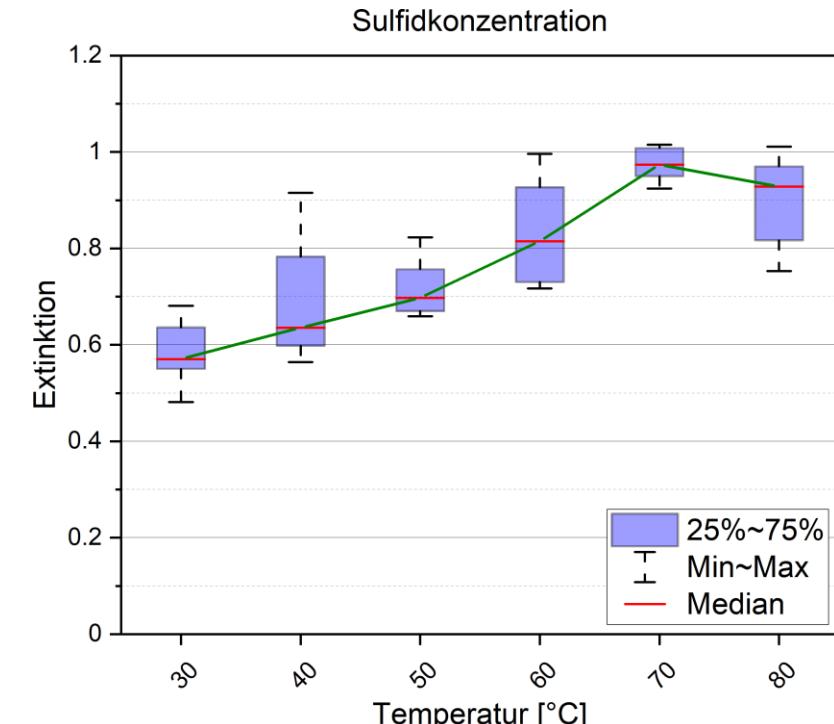
**Bubblingpoint**



### 3. Gülpinar: (geplant für Q1 2026)

Mineralische Ausfällungen durch  $\text{CO}_2$ -Entgasung bei Druckentlastung (gezielte Zugabe von Inhibitoren?)

**Scaling**



# Zusammenfassung



Machine Learning for Enhancing Geothermal Energy

Schritt 1

Schritt 2

Schritt 3

Schritt 4

## Automatisierung

- Messen von Systemparametern
- Probennahme (Fluid, Gase)
- Analysieren

## Digitalisierung

- Einbinden von Sensorik und Aktorik (cyber-physisches System)
- Geochemische Modellierung des Fluids (Prozess-simulation)

## Datenerhebung

- Standortspezifische, problemabhängige Experimentreihen (Demonstrator)
- Redundantes Speichern der Betriebsparameter (PC, Cloud)

## Künstliche Intelligenz

- Auswahl daten-spezifischer Methodik
- Erstellen und Trainieren entspre-chender Modelle
- Auswertung und Interpretation der erhoben Daten

