



# Entwicklungen von Geothermie-Anlagen in den Niederlanden

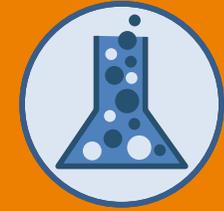
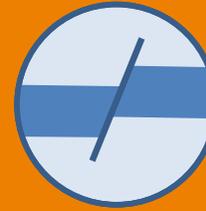
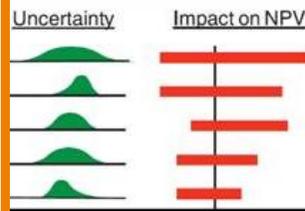
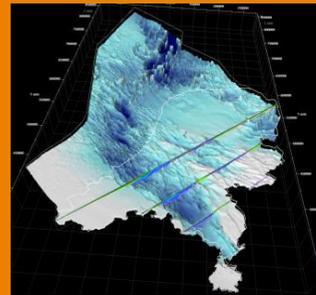
Lessons Learned

Jan Diederik van Wees, Hans Veldkamp, [Tanya Goldberg](#), Laura Wasch, Maarten Pluymaekers





# 150 Mitarbeiter in der Untergrundforschung für Erdöl&Erdgas → Geothermie&CCS



3D Kartierung & Ressourcen Bewertung

Informationssysteme

Leistung und Effizienz

Geomechanik

Gekoppelte Modelle

Geo-Chemie

Landesweite Kartierung

Datenbank Untergrund (www.dino.nl)

D&RM Methoden

Schehrfracking

History Matching

Reservoir Charakterisierung

EU EGS Potential (www.geoelec.eu)

Datenbank (Public) Untergrund Erdgas/öl /wärme (www.nlog.nl)

Holistische Ansätze

Induzierte Seismizität

Geschlossene Lagerstättenverwaltung

Geochemische Modellierung

IEA (www.thermogis.nl/worldaquifer)

Informationssystem für Geothermie (www.thermogis.nl)

Subsidenz

Lebensdauer-optimierung

Redoxprozesse

Numerische Modellierung

Experimente



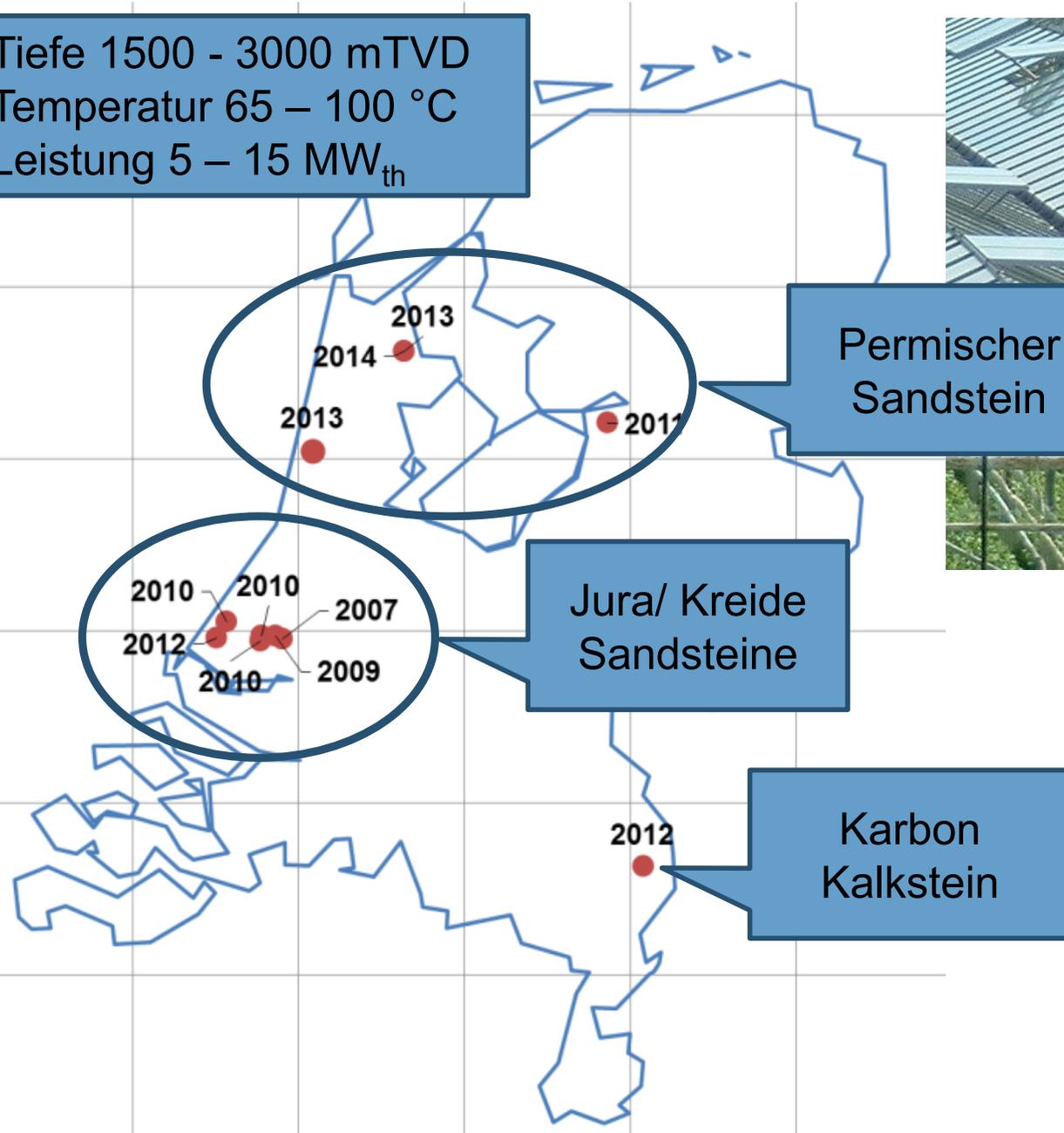
## Geothermie bei TNO – einige Beispiele

1. ThermoGIS / Kartierung
2. FLACHE GEOTHERMIE  
Wärmespeicherung (HTS)
  1. MITTLERE GEOTHERMIE
    1. Leistungs- und Funktionalitätsbewertung
    2. Scaling und Korrosion
    3. Subsidenz
  2. TIEFE GEOTHERMIE:  
Engineered Geothermal Systems/Hot-Dry-Rock-Verfahren

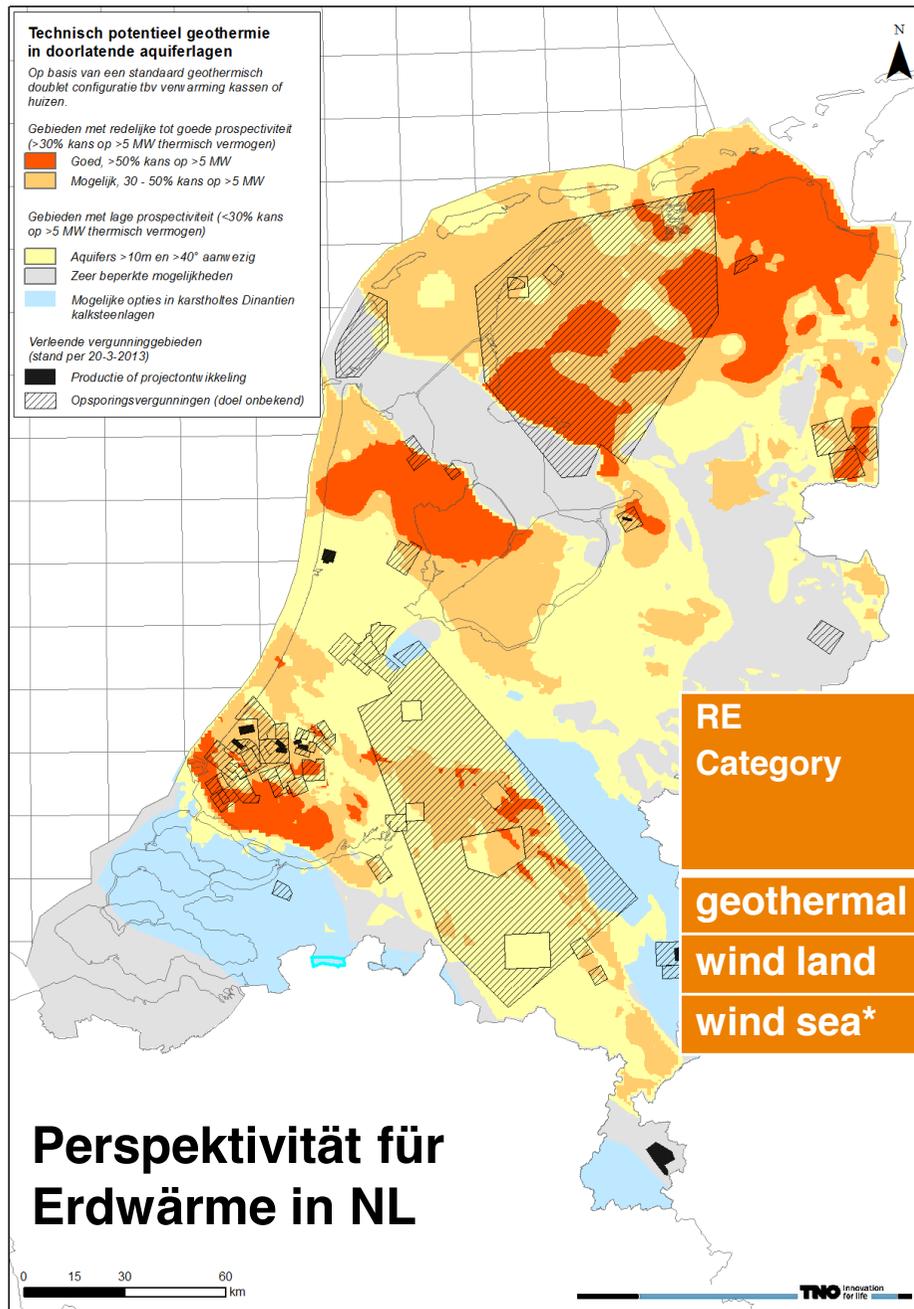
TNO arbeitet in enger Kooperation mit niederländischen Industriepartnern in staatlich und EU geförderten Programmen.



Tiefe 1500 - 3000 mTVD  
Temperatur 65 – 100 °C  
Leistung 5 – 15 MW<sub>th</sub>



**Treibhäuser  
> 5% des  
Energieverbrauchs**



RE Category	Filed [PJ/jaar]	Feed-in [mln €]	Share Total energy [%-punt]	Feed-in per 1% [Mil/y]
geothermal	12.2	1334	0.56	160
wind land	2.2	413	0.10	277
wind sea*	6.48	4600	0.30	1031

Feed-in durch SDE

\* Prognose basierend auf Gemini Windpark

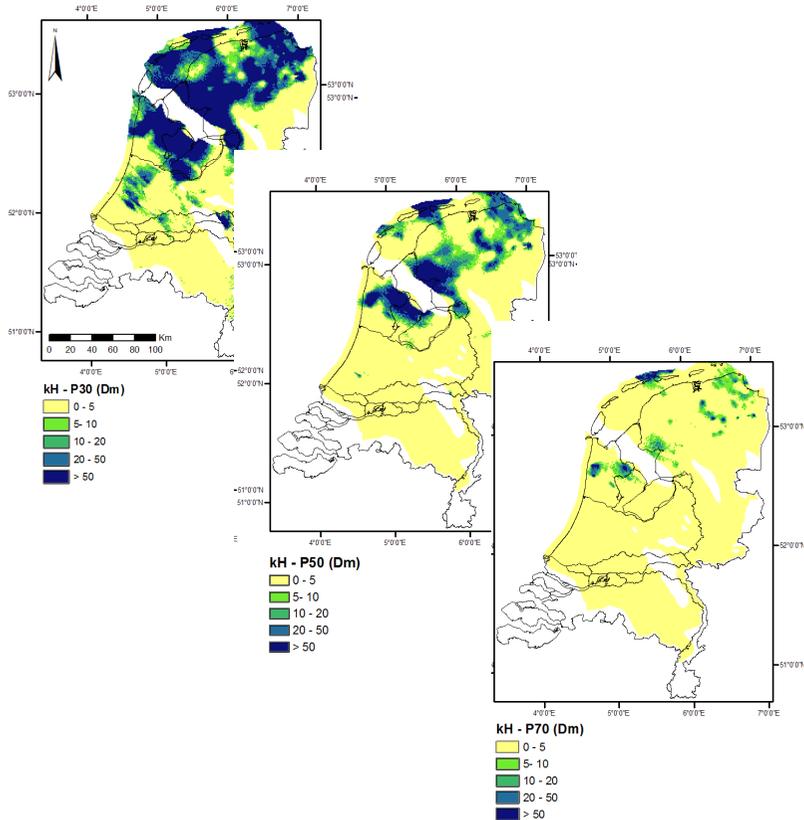
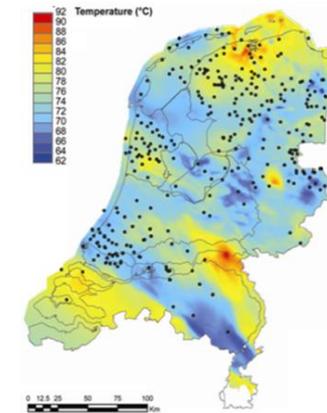
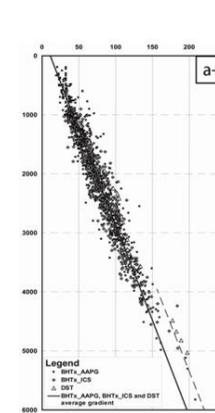
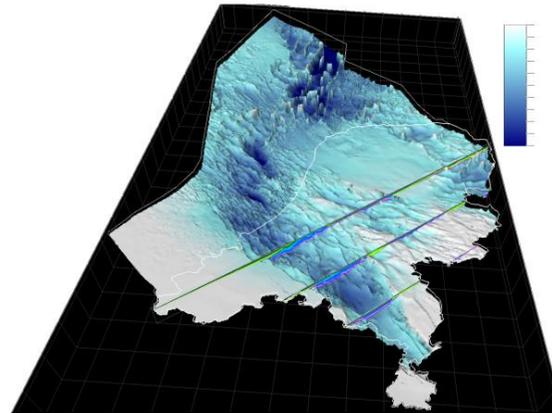
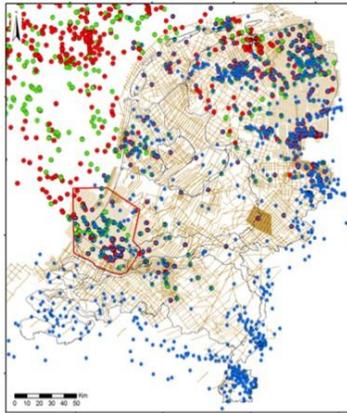


# 1. ThermoGIS

## Ressourcenbewertung für geothermische Grundwasserleiter - das niederländische Model

Beinhaltet:

- › 3D Lagerstättenkartierung (Grundwasserleiter)
  - › Tiefe, Mächtigkeit und Temperatur → Temperaturverteilung
  - › Mächtigkeit, Porosität, Permeabilität → Transmissivität
  - › Unsicherheiten
  - › Energieproduktion
  
- › Wirtschaftlichkeit
  - › thermoGIS
  - › Performance assessment tool (Leistungsfähigkeitsanalyse)
  - › Economic assessment tool (Wirtschaftlichkeitsanalyse)

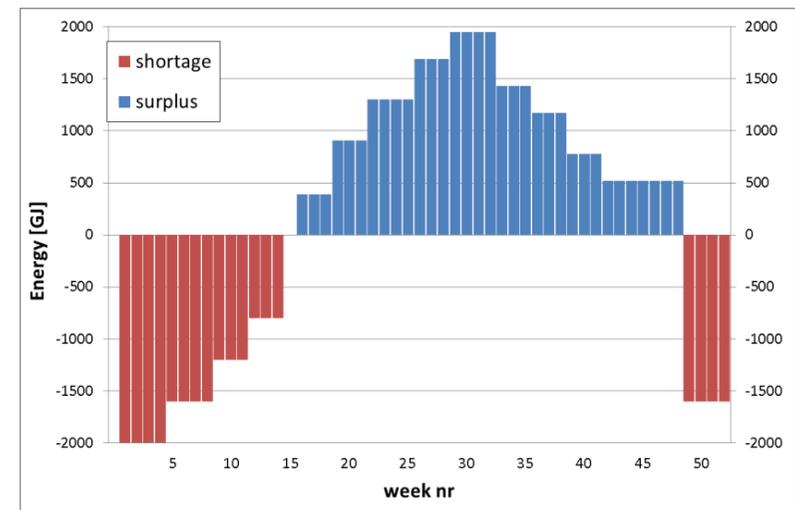
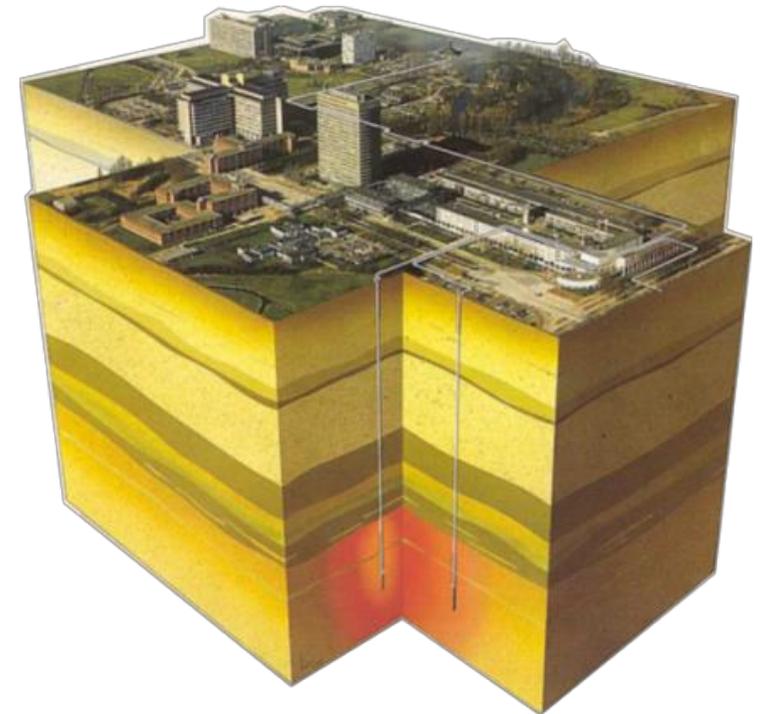




## 2. FLACH Wärmespeicherung

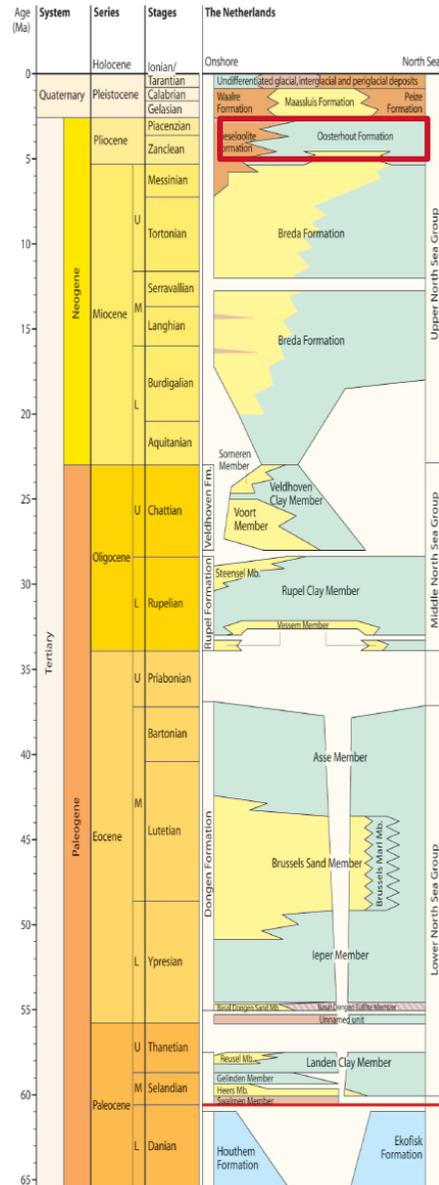
Fragen:

- Wo kann der Untergrund hohe Mengen an Wasser speichern (e.g. 200 m<sup>3</sup>/h)?
- Wo ist die Nachfrage an hohen Mengen von Niedrigtemperatur-Wärme am höchsten?
- Wo befinden sich große Mengen an „günstiger“ Wärme (auf saisonaler Basis)?

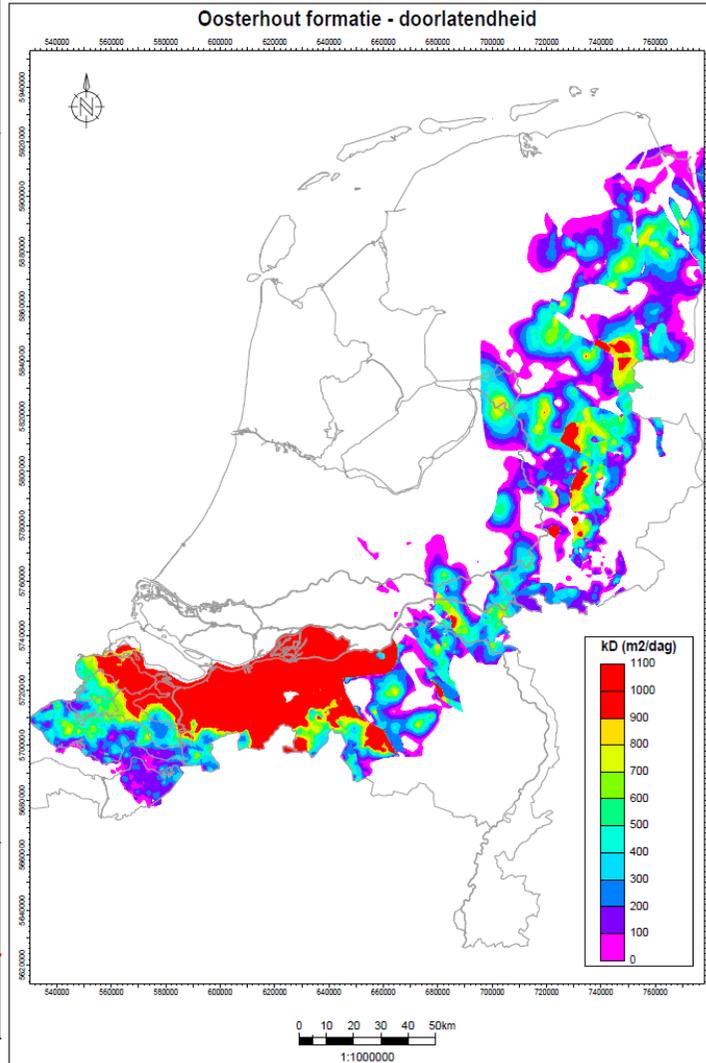




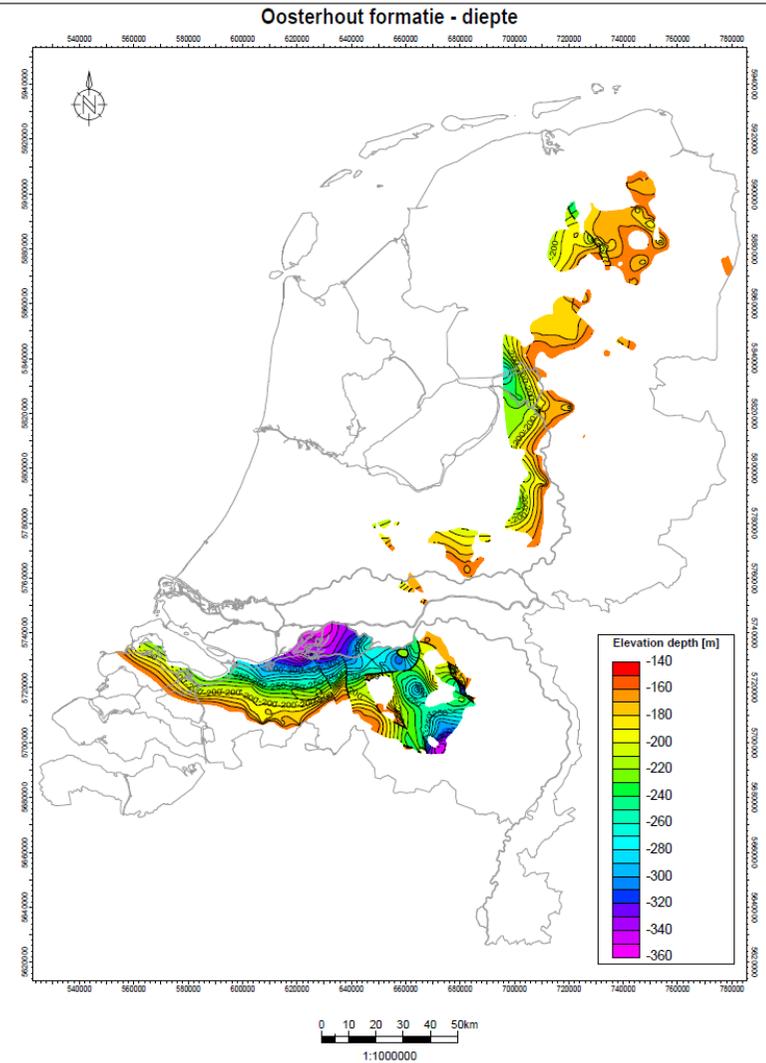
# Kartierungsmöglichkeiten der Oosterhout Formation

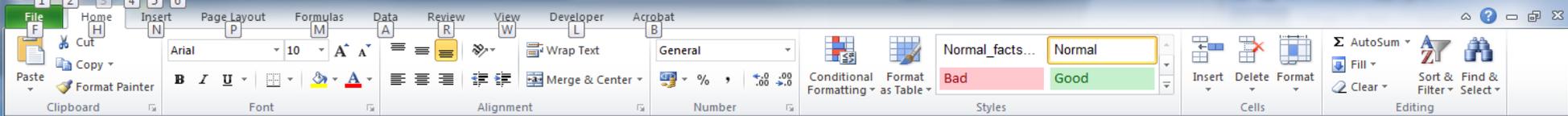


## Durchlässigkeit



## Tiefe





M63

1 Calculation of LCOE of renewable heat and electricity  
 2 Geothermal Energy Operational choice **ATES**

INPUTVARIABLES	used	Value	Unit	Comment
Flowrate	1	26.0	L/s	
depth of the storage well	1	450	m	
Surface temperature	1	10	C	
waste heat temperature	1	84	C	
Economic lifetime	1	15	Years	lifetime for cash flow calculations
<b>subsurface costs</b>				
well costs	1	1000	eur/m depth	costs of drilling, negative number means use thermoGIS wellcostscaling costs
well costs	1	0.45	mln euro/Well	
Pump investment	1	0.1	Mln euro/pump	
Number of wells	1	2	-	
Additional investment costs	1	0	kEuro	ad
subsurface capex	1	1.0	mln euro	calculated subsurface capex for wells, stimulation and pumps
<b>subsurface parasitic</b>				
COP (gross)	1	688.333333	-	coefficient of performance (COP) to drive the pumps for heat instead of ATES
COP (net)	1	295	-	
electricity price for driving the pumps	1	50	euro/MWhe	ele
Variable O&M (pumps)	1	0.16949153	euro/MWth	ca
Variable O&M (additional)	1	0	euro/m3	value
<b>power temperature range used</b>				
cascaaded exit temperature	1	35	C	re injection temperature (effective temperature range is Outlet.Treinject)
direct heat production	1	5.325	MWth	heat production
direct heat load hours	1	2900	hours/year	eff
direct heat plant investment costs	1	150	kEuro/MWth	he
direct heat capex	1	0.799	mln Euro	ca
direct heat Fixed O&M rate	1	1.0%	%	O&
direct heat Fixed O&M	1	3	kEuro/MWth	calculated O&M costs per unit of heat production installed
direct heat Variable O&M	1	0.16949153	Eur/MWth	calculated variable O&M costs (dependent on COP)
<b>complementary sales</b>				
fiscal stimulus on lowering EBT	1	no	yes/no	ap
percentage of CAPEX for fiscal stimulus	1	42%	%	pe
legal max in allowed tax deduction	1	63	mln Euro	leg
NPV of benefit to project	1	0.0	mln Euro	eff
<b>inflation, taxes, etc.</b>				
Inflation	1	0%	%	inflation for costs and benefits in project cash flow
loan rate	1	6.0%	%	int
Required return on equity	1	15%	%	rec
Equity share in investment	1	20%	%	sh
Debt share in investment	1	80%	%	sh
Tax	1	25.5%	%	tax rate for company
Term Loan	1	15	Year	number of years for the loan
Depreciation period	1	15	Year	number of years for depreciation (linear per unit of production)

Durchflussrate + Temperatur

Einrichtungskosten

Betriebskosten

Wartungskosten

Steuervergünstigungen

Inflation, Steuern, etc.

Ergebnis: LCOE für Wärme oder Strom

rock and fluid properties  
 Durchflussraten und Leistungskoeffizient werden aus Untergrund- und Bohrlochdaten berechnet

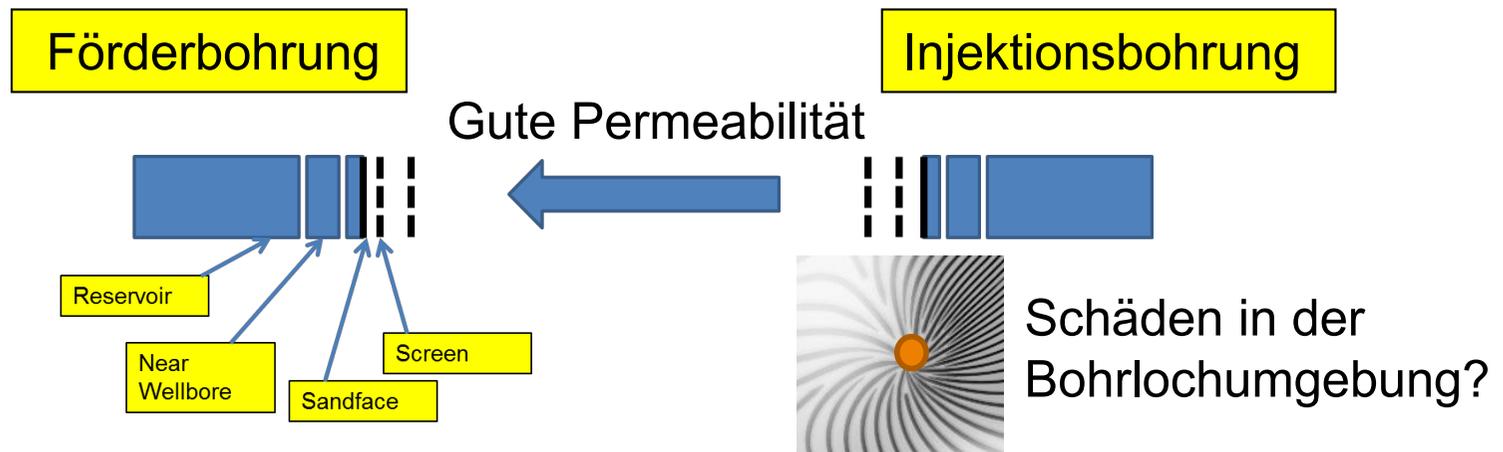
**unit conversion**

Flowrate	95 m3/h
Total heat produced	55596 GJ (year)
LCOE	0.14 Euro/m3 gas eq.
gas prijs	0.25 Euro/m3
cal waarde gas	31.65 m3/GJ



### 3. MITTLERE GEOTHERMIE Förderprobleme

- › TNO wurde durch mehrere Geothermie Betreiber beauftragt die Ursachen für schlechte Injektivität (und Produktivität) in einigen Doubletten zu untersuchen.





## Aufgaben:

- Datensammlung
  - historische Daten
  - neue Daten
- Liste und Rangfolge von Schadensursachen
  - Focus auf Injektionsbrunnen
  - Bohrlochumgebung - SKIN
- Liste mit Empfehlungen zur Datensammlung
- Flussdiagramm für Schadensbewältigung



## Ergebnisse der Studie

- Nicht nur eine Ursache für die Injektions-/ Produktionsschwierigkeiten
- Ausschlussverfahren:
  - 2 Projekte hatten gute Lagerstättenqualität, 2 weniger gute
  - 3 bis 4 Projekte hatten Anzeichen von Schäden in der Bohrlochumgebung
- Projekte wurden behindert durch
  - Nicht ausreichende und nicht vorhandene Daten
  - Ineffiziente Reinigung der Brunnen in der Testphase
- Austauschen von Förderbohrung und Reinjektionsbohrung führte zu schlechteren Injektivität
- Empfehlungen für Brunnenreinigung
- Empfehlungen für Datensammlung und Probenarchivierung
- Folgestudie



### 3. MITTLERE GEOTHERMIE

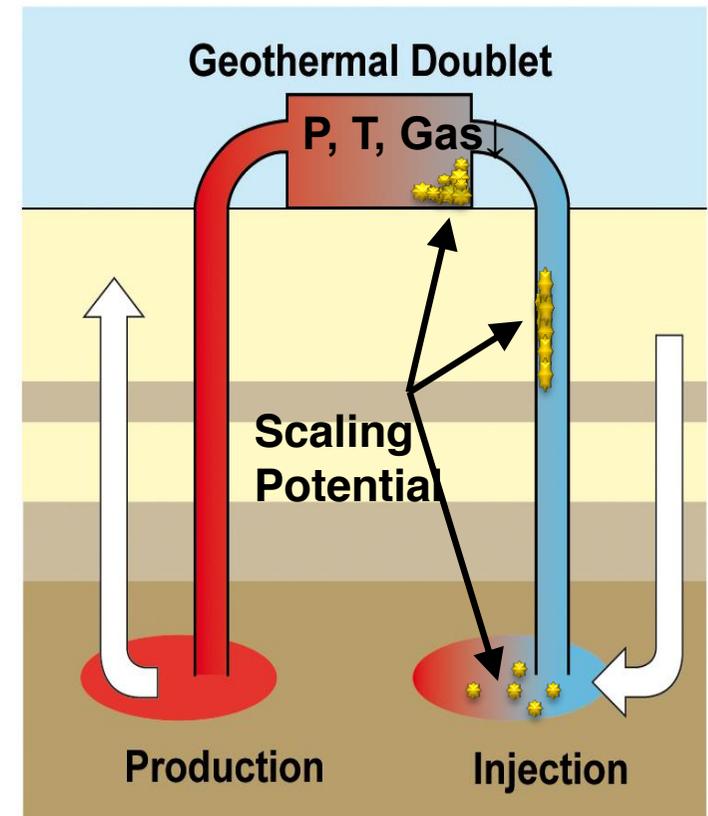
## Temperatursenkung + Entgasung → Was sind die Konsequenzen?

Veränderungen von P, T, pH, Wasserchemie

→ Störung des chemischen Gleichgewichts

→ Chemische Reaktionen und Scaling

Fokus auf Temperatursenkung und  
Entgasung (von CO<sub>2</sub>)





# Scaling-Potential in geothermischen Anlagen

Geochemische Modellierung (mit PHREEQC Software)

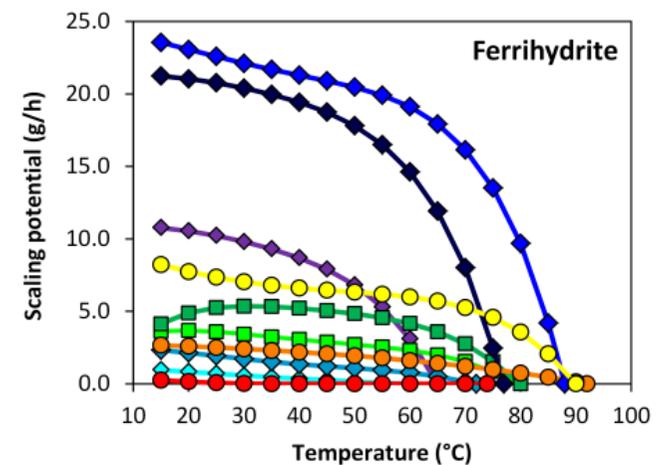
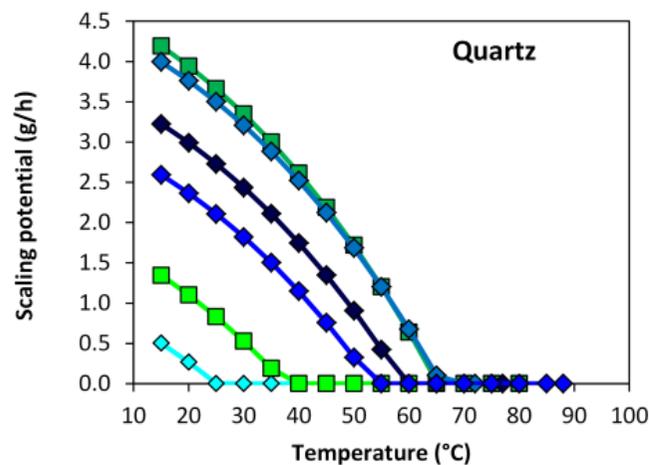
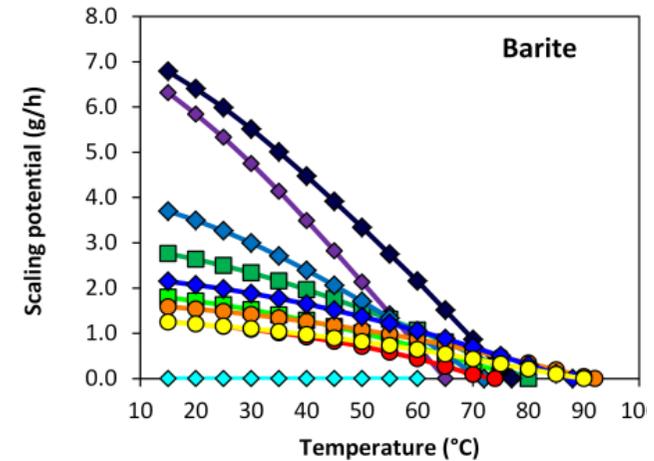
Eingabedaten:

- › Wasser Zusammensetzung
- › Druck
- › Temperatur
- › Salinität
- › Dichte
- › CO<sub>2</sub>



## Ergebnisse: Effekt der Temperatursenkung

- Ausfällung verschiedener Minerale durch Abkühlung
- Scaling-Gefahr durch Ferrihydrit, Baryt, Silica und gering Gibbsit.
- Bis 65°C Abkühlung fällt kein  $\text{SiO}_2$  aus

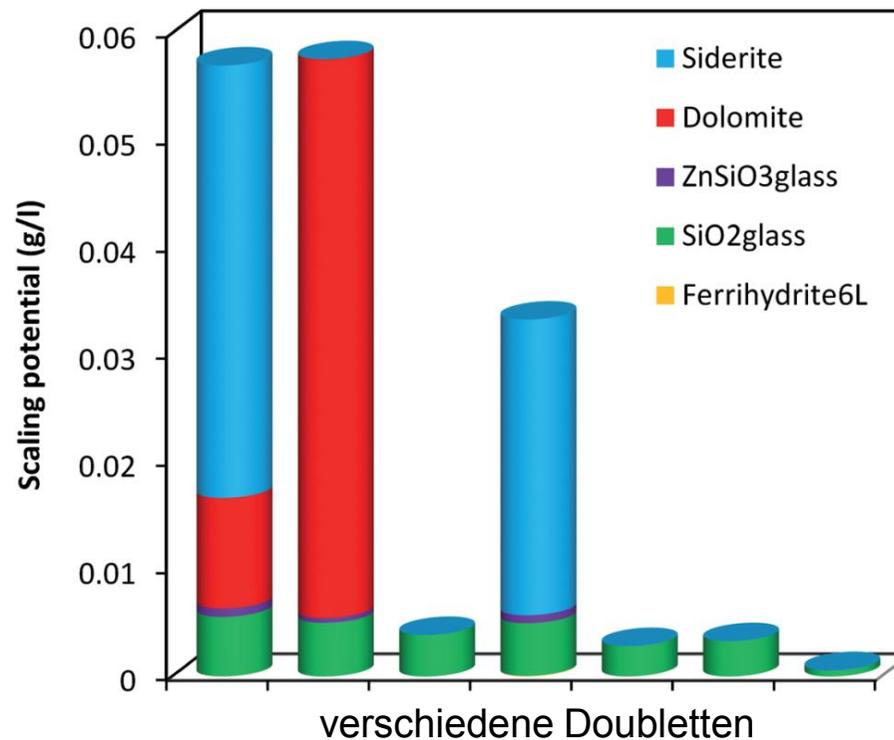


Farben: verschiedene Doubletten



## Ergebnisse: CO<sub>2</sub> Entgasung

- Durch Entgasung präzipitieren verschiedene Minerale (wie Siderit und Dolomit). Baryt ist unempfindlich.



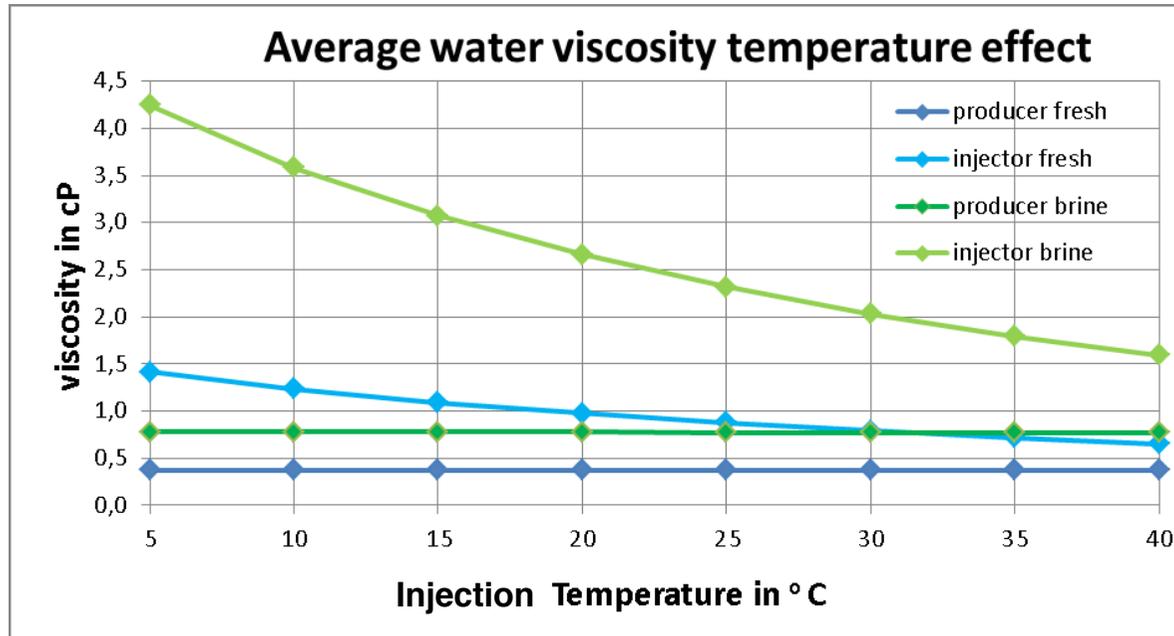


## Zusammenfassung

- Abkühlung führt zu Ausfällung von Baryt und Silica hauptsächlich
- Temperatursenkung verursacht scaling, jedoch unwesentlich
- Baryt-Scaling ist pH unempfindlich
- CO<sub>2</sub> Entgasung führt zu Präzipitation von hauptsächlich Siderit und Dolomit
- Verbleibt CO<sub>2</sub> in Lösung: 100-1000x weniger Scaling-Potential von Ferrihydrit
- CO<sub>2</sub> Entgasung führt zu mehr Präzipitation als Temperatursenkung



# Temperatur und Injectivität im Reservoir

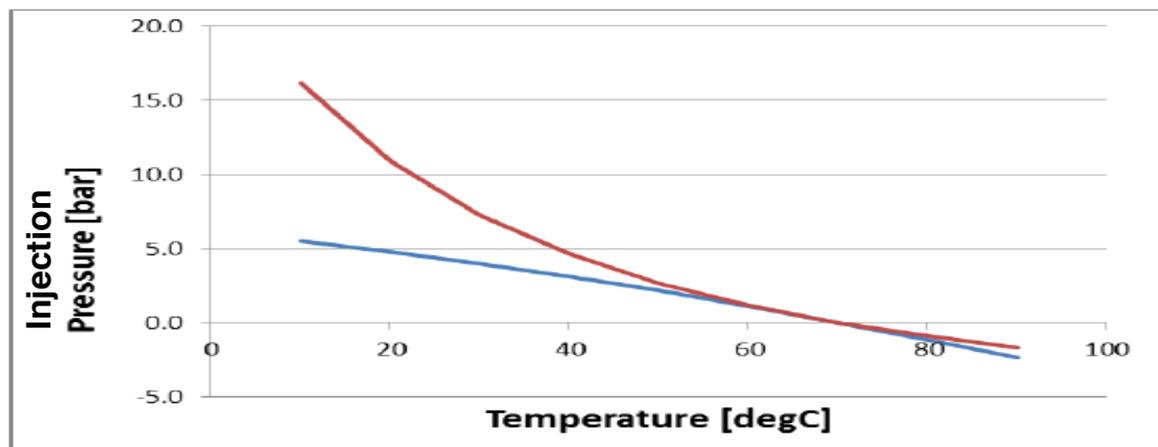


Beobachtung:

Viele Projekte zeigen sinkenden Pumpdruck mit sinkender Temperatur.

→ Steigende Permeabilität

Aber wieso?



→ Geomechanischer Effekt erhöht die Permeabilität

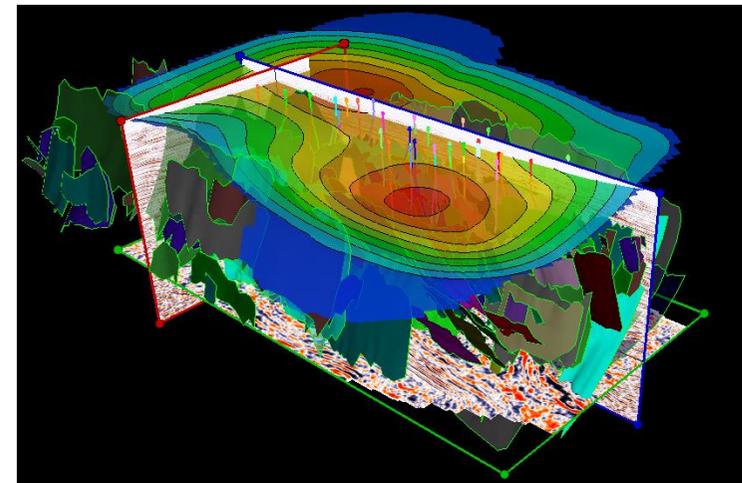
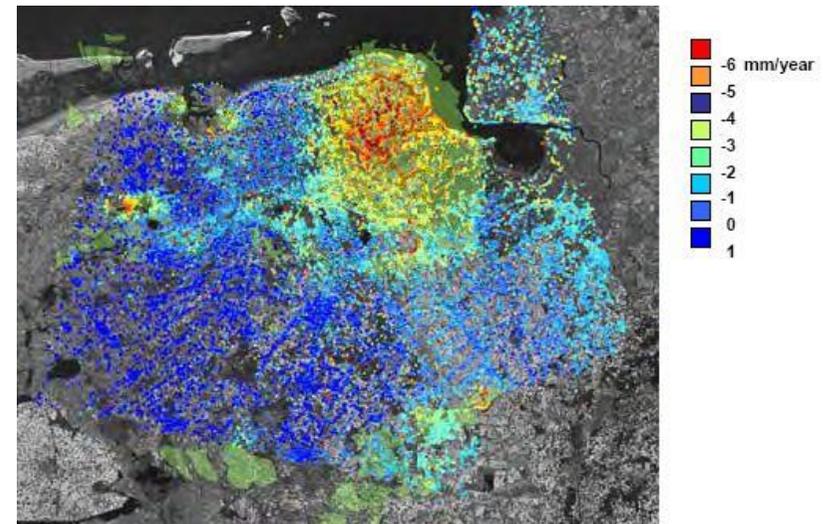
→ Muss bei Leistungsmodellen einkalkuliert werden



### 3. MITTLERE GEOTHERMIE

## Langzeiteffekte von Geothermie

- › TNO entwickelt Methoden für zuverlässige Subsidenz Einschätzung durch Erdgasproduktion.
- › Anwendung auf Geothermie



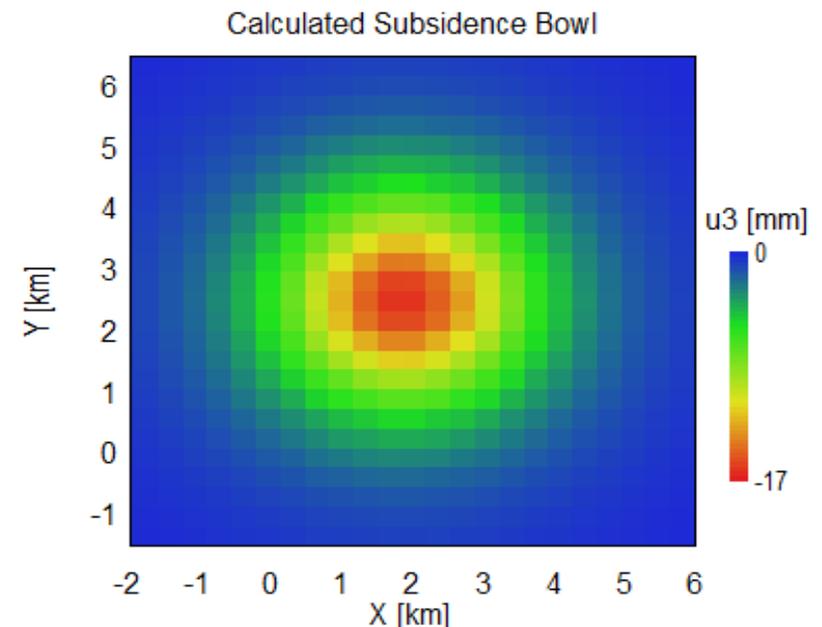
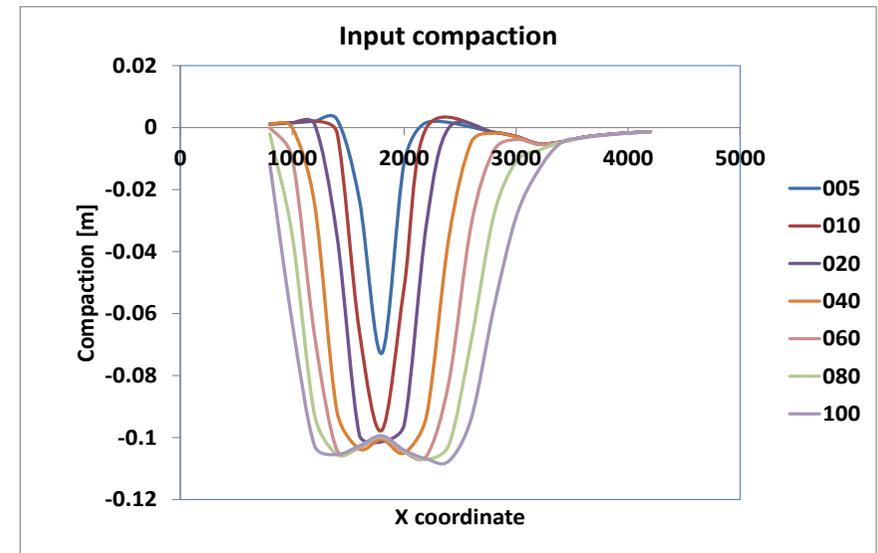


## Anwendung in geothermischen klastischen Grundwasserleitern

- › 100 m Grundwasserleiter
- › 2000 m Tiefe
- › 200m<sup>3</sup>/h, 100 Jahre im Betrieb

Ergebnis:

- › Subsidenz beobachtet
- › Ursache: thermische Kontraktion (durch Abkühlung)
- › Effekt ist messbar aber sehr gering

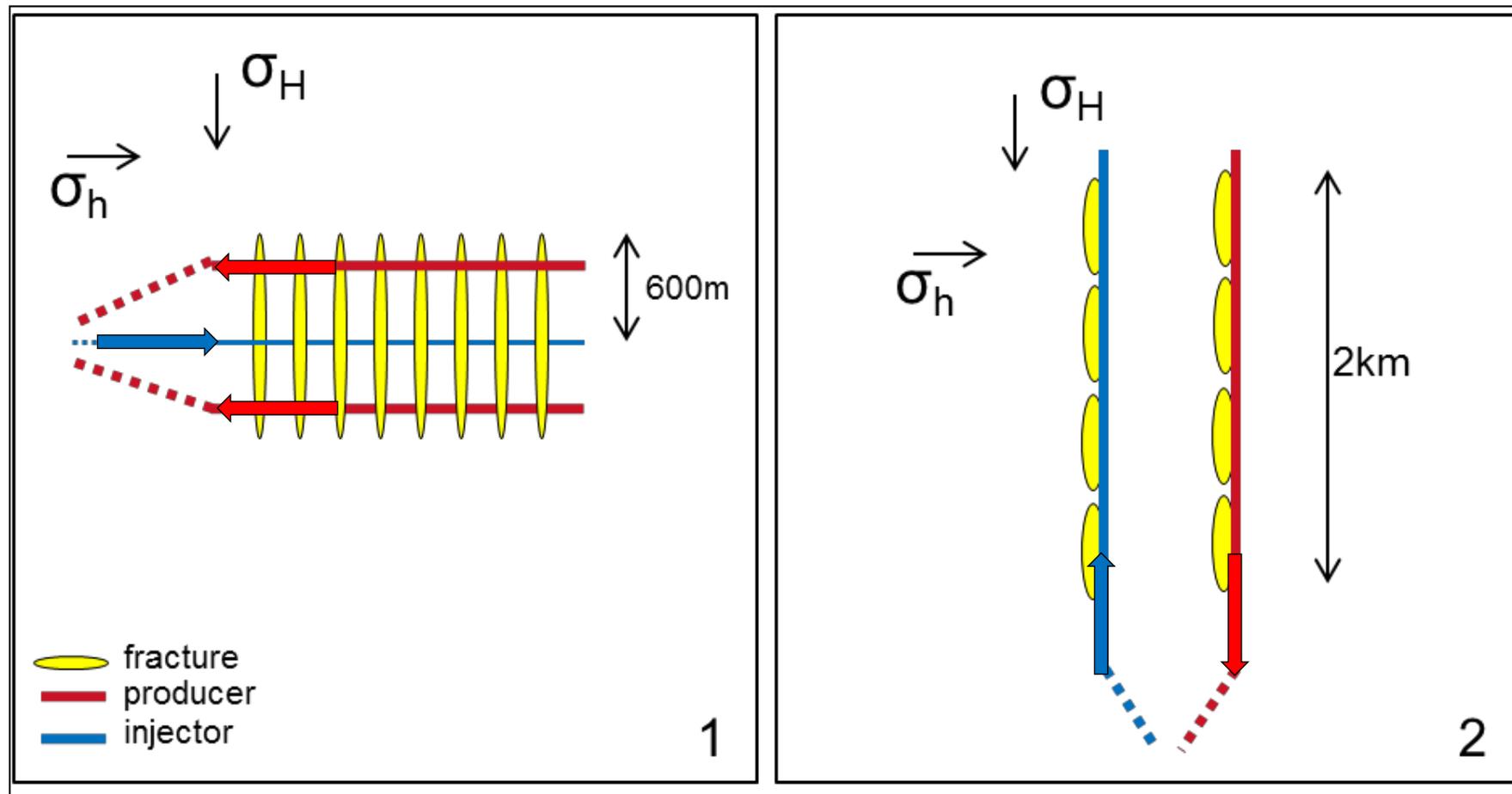


Referenz: Analytical solutions for stress and strain (Fokker and Orlic, 2006).



## 4. TIEFE GEOTHERMIE

### Hydraulische Stimulation

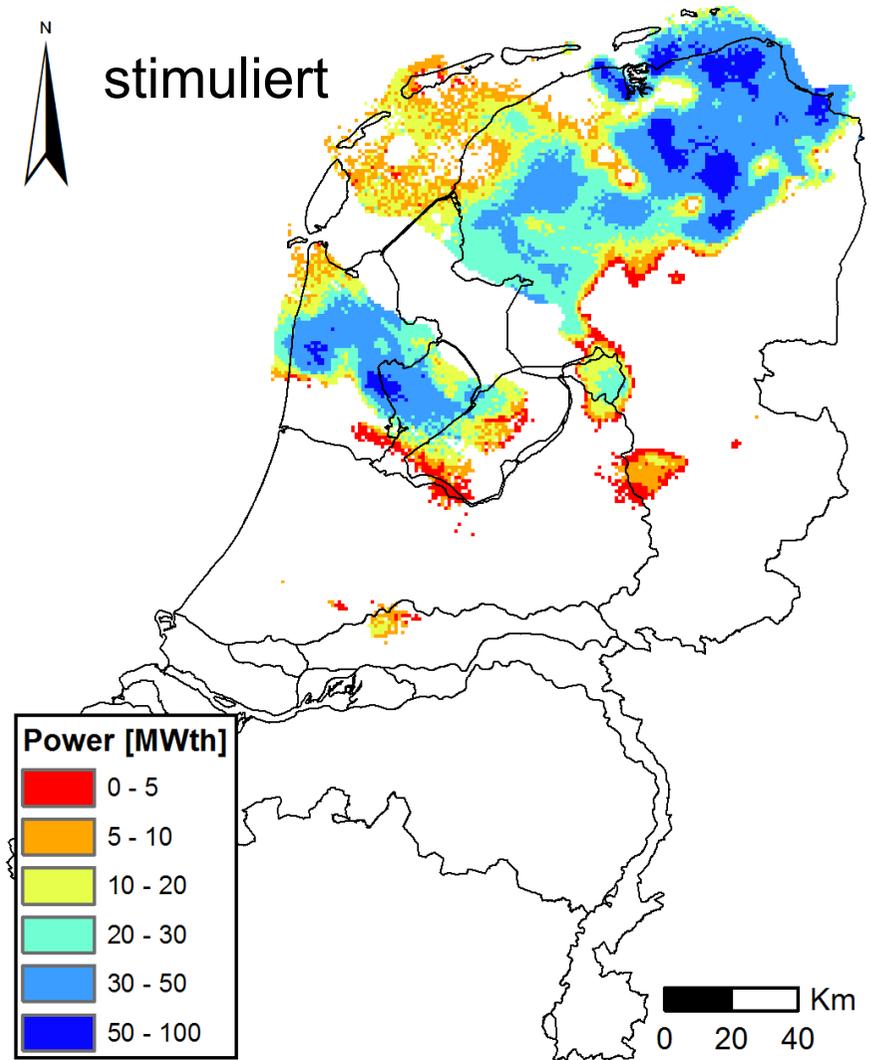
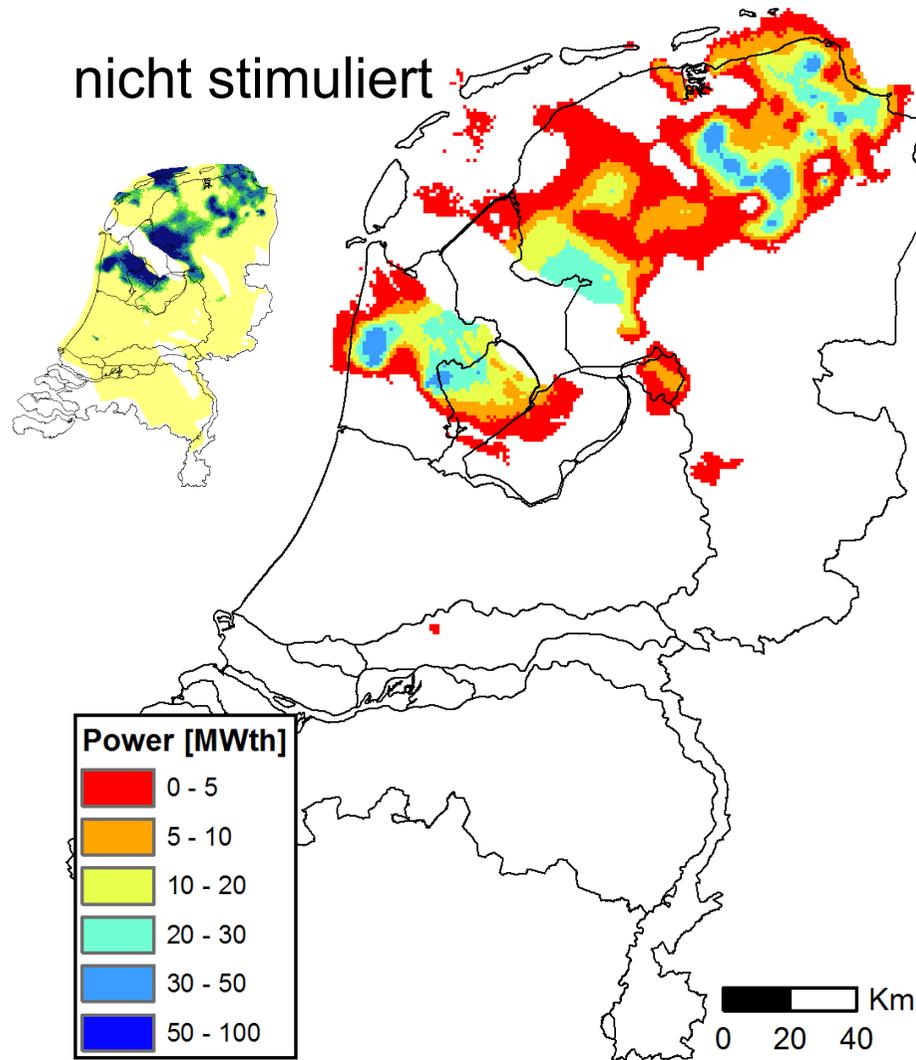


Doublet dry rock (map view)

Doublet natural perm (map view)



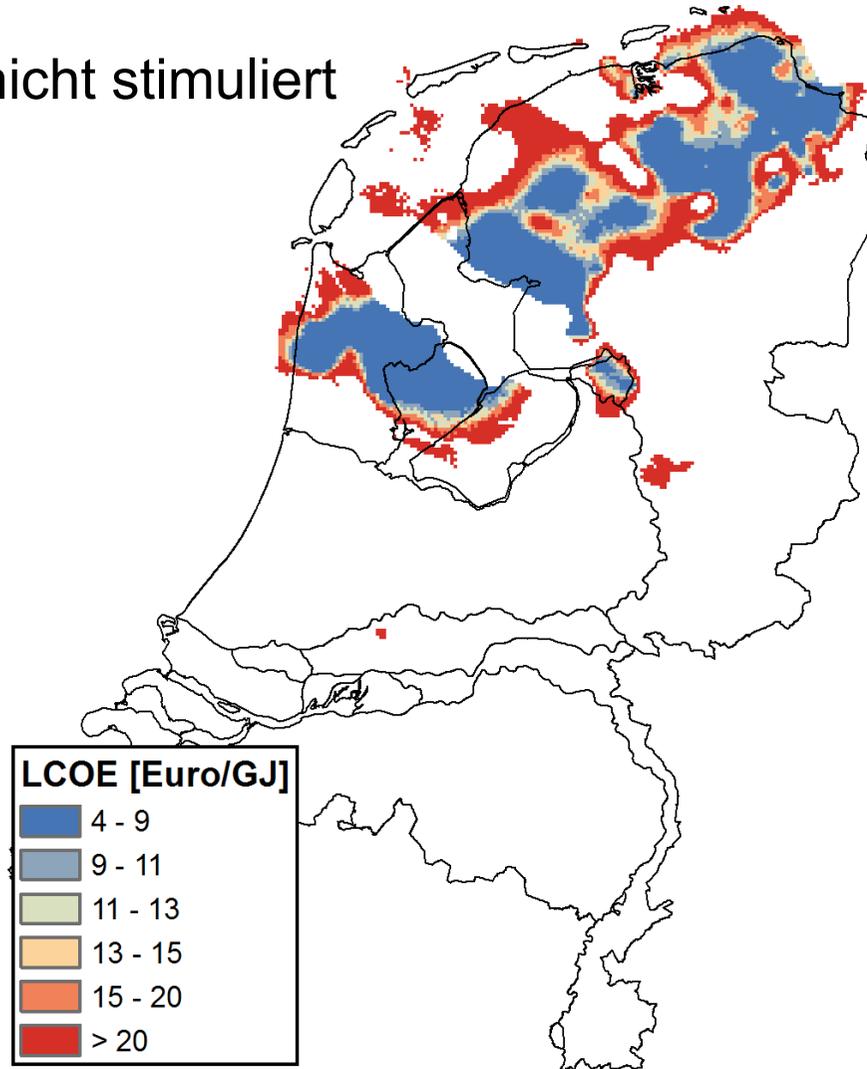
# Geothermale Energie (Rotliegend)



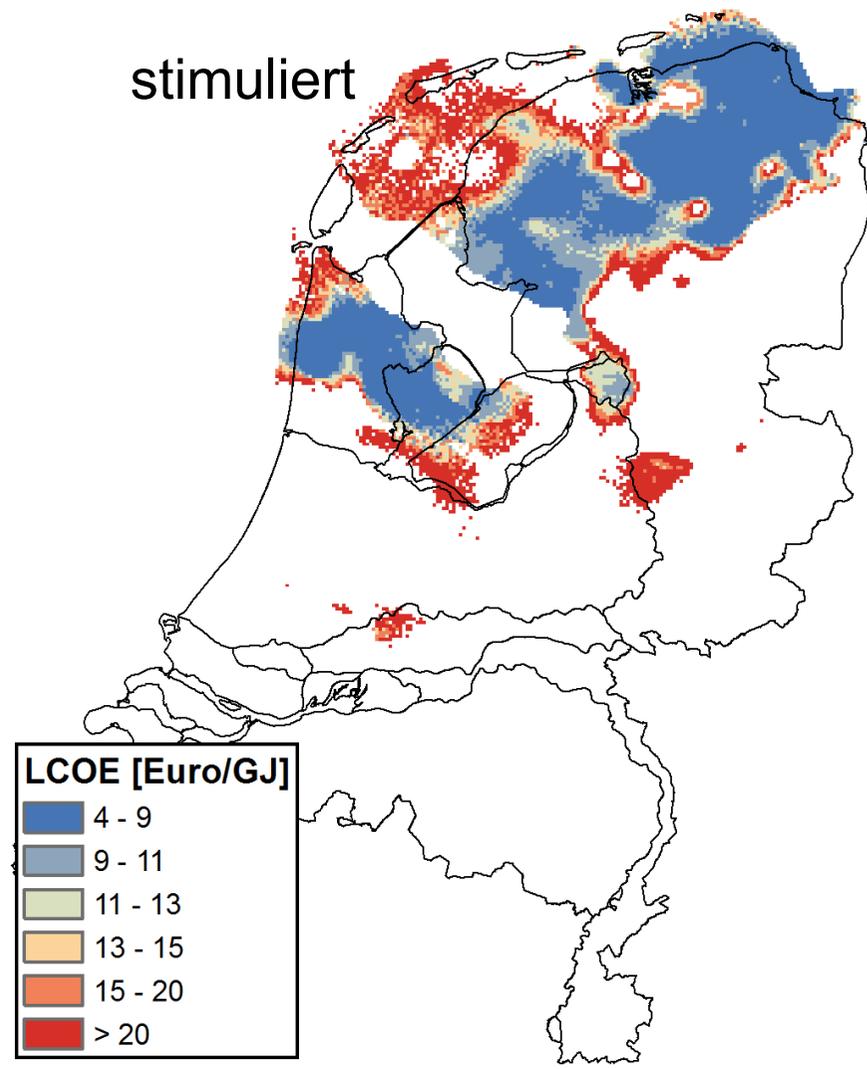


# Levelized Cost Of Energy ( $\text{€}/\text{GJ}_{\text{th}}$ )

nicht stimuliert



stimuliert





## Danksagung an unsere Projektpartner

- › Ammerlaan, Duijvestijn, ECW, Green Well, Koekoekspolder, Van Den Bosch, Wijnen square crops
- › AMAFIL, OBTS, Novochem, Twinfilter, T&A Survey
- › Haltjema Greenhouse geo power, Installlect, Terratech VB Climate
- › HC Hartman, Natures Heat, Aardwarmte De Lier, IF Technology, Hydreco, Panterra, Geo Power Houtcamp





**Ich bedanke mich für  
Ihre Aufmerksamkeit**