

Sedimentologisch-fazielle Untersuchungen reduzieren das Fündigkeitsrisikos für kommunale Wärmeprojekte in Norddeutschland

Markus Wolfgramm, Matthias Franz

15.05.2019

Komplexe
Geothermische
Lösungen
aus einer Hand



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Das Teilen dieses Vortrags zugrundeliegende
Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des
Bundesministeriums Wirtschaft
Förderkennzeichen 0325920A und 0325285A
gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt
dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

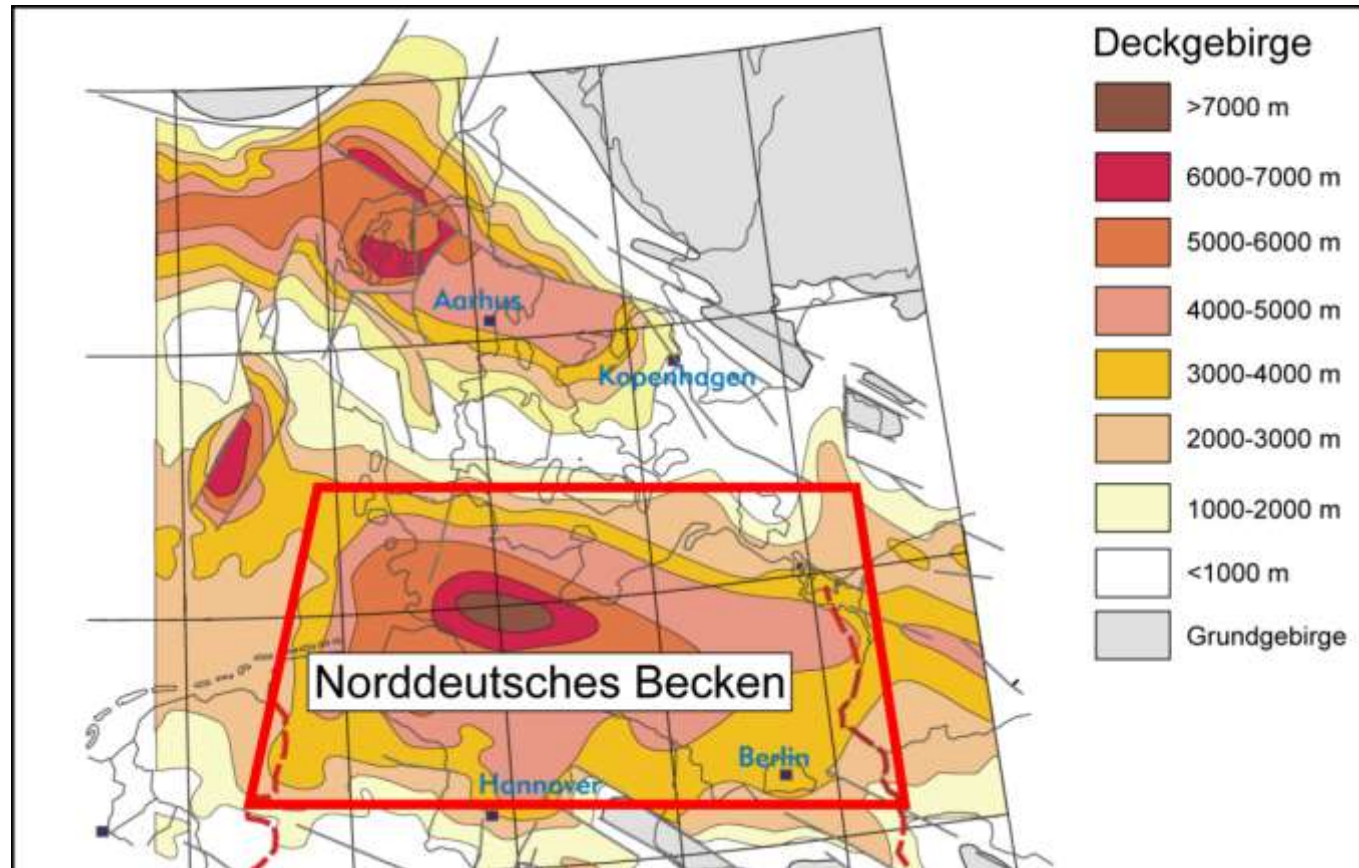
Gliederung

Wärmeprojekte – Fündigkeit - Fazies

- Potentielle Aquifere in Norddeutschland
- Sedimentologisch-fazielle Analyse ausgewählter Aquifere
- Motivation: Wärmeprojekte in Norddeutschland
- Geothermisch relevante Parameter
- Fündigkeitsprognosen – Senkung des Fündigkeitsrisikos
- Projektbeispiel: Bohrung Schwerin

Geothermische Aquifere

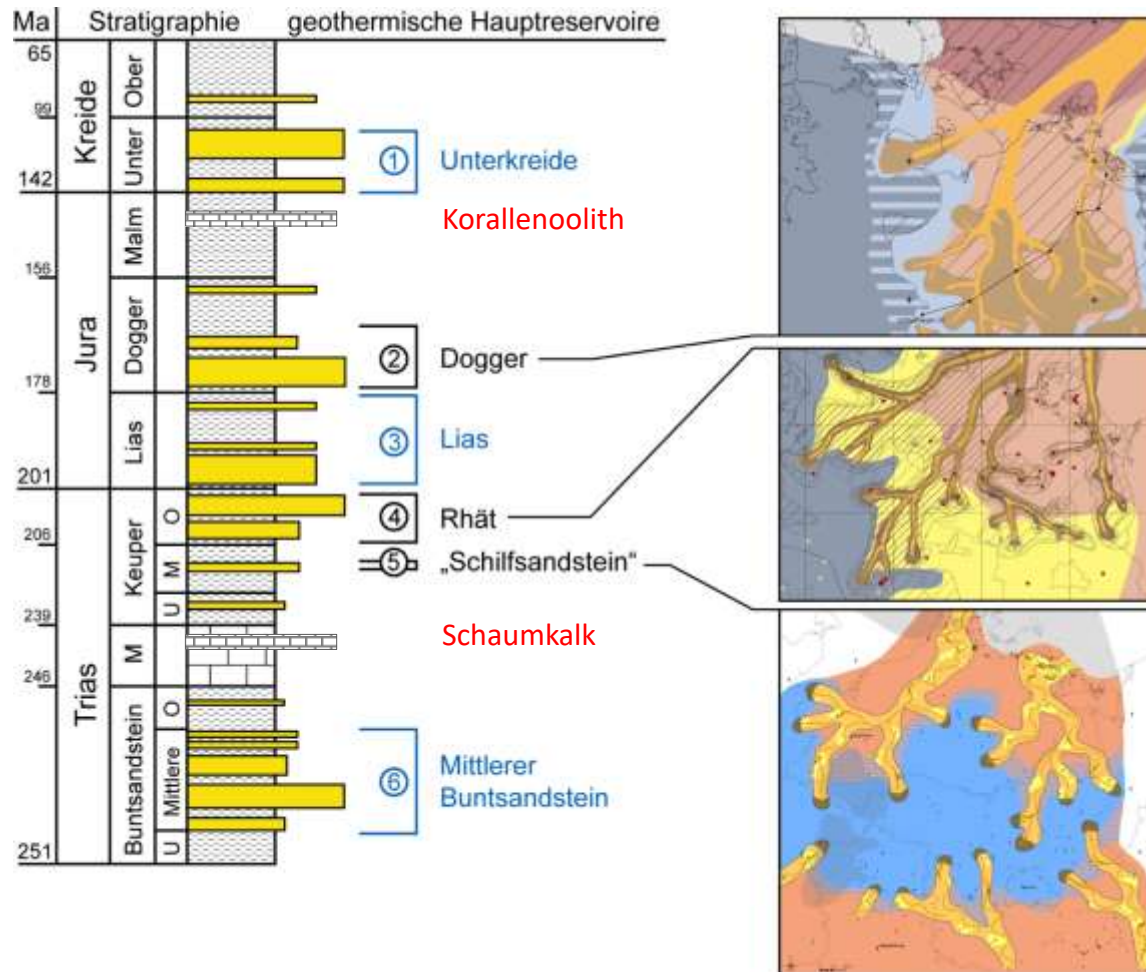
Potentielle Aquifere in Norddeutschland



nach Ziegler (1990)

Geothermische Aquifere

Potentielle Aquifere in Norddeutschland



Pro stratigraphischer Einheit mehrere geothermisch relevante Reservoirire, z.B.:

Unterkreide	i.B.
Korallenoolith	n.b.
Dogger	5
Lias	6
Rhät:	6
Schilfsandstein	2
Schaumkalk	n.b.
Buntsandstein:	i.B.

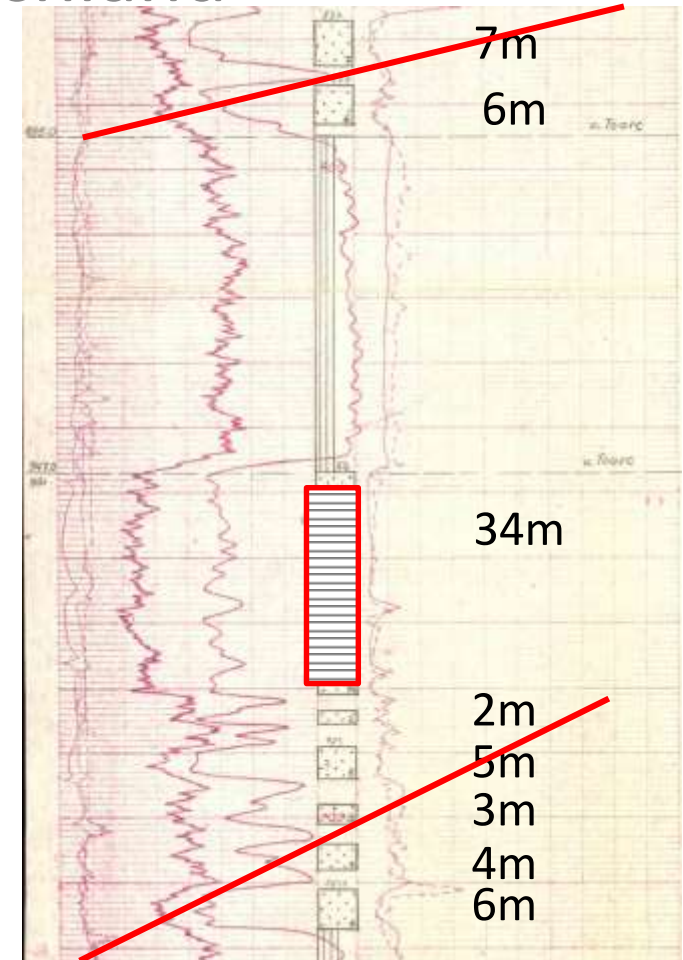
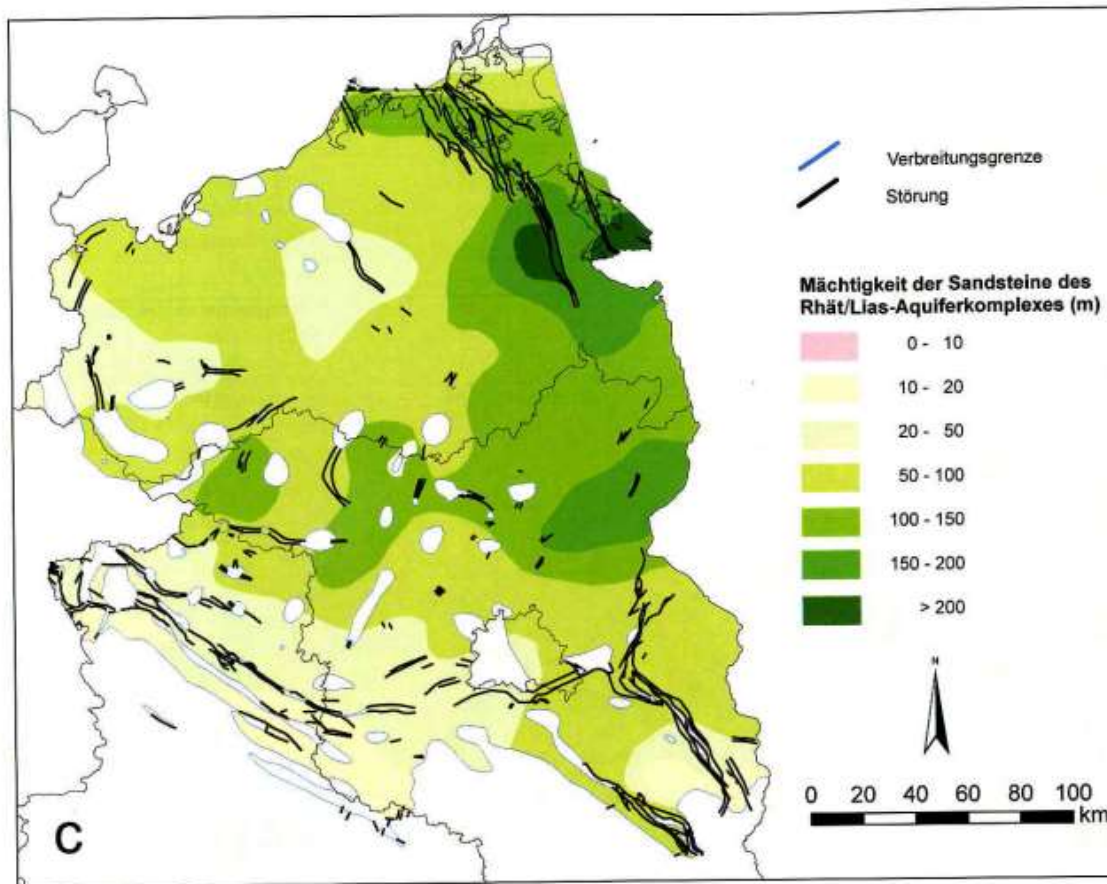
Geothermische Aquifere



GTN

INGENIEURE & GEOLOGEN

Potentielle Aquifere in Norddeutschland



Feldrappe et al. 2008

Faziesanalyse

Kernbearbeitung Beispiel: Lias Bohrung Kb TaoAt 1/65



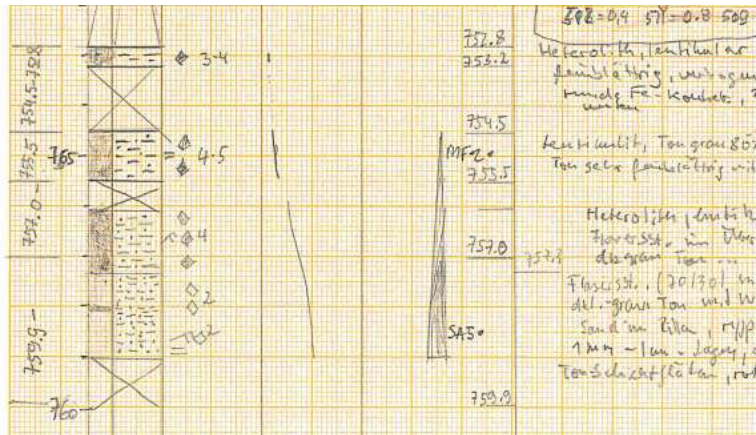
KK 567: Entwässerungsstruktur:
terrestrisch



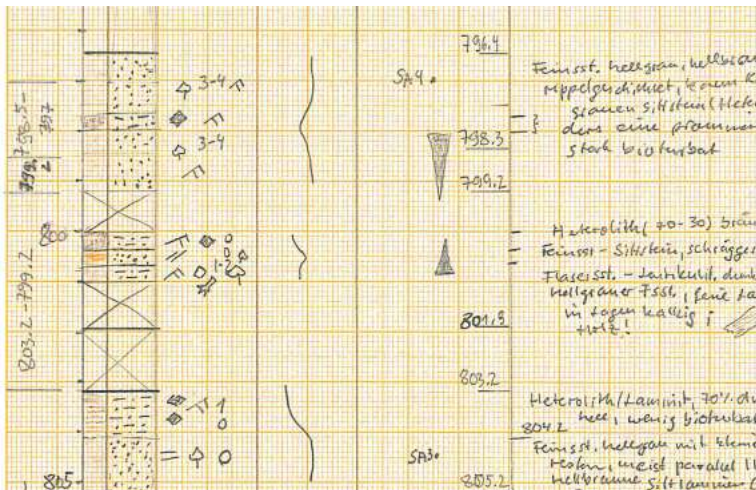
KK 266: Schilfstengel
Küste

Faziesanalyse

Kernbearbeitung Beispiel: Lias Bohrung Kb TaoAt 1/65



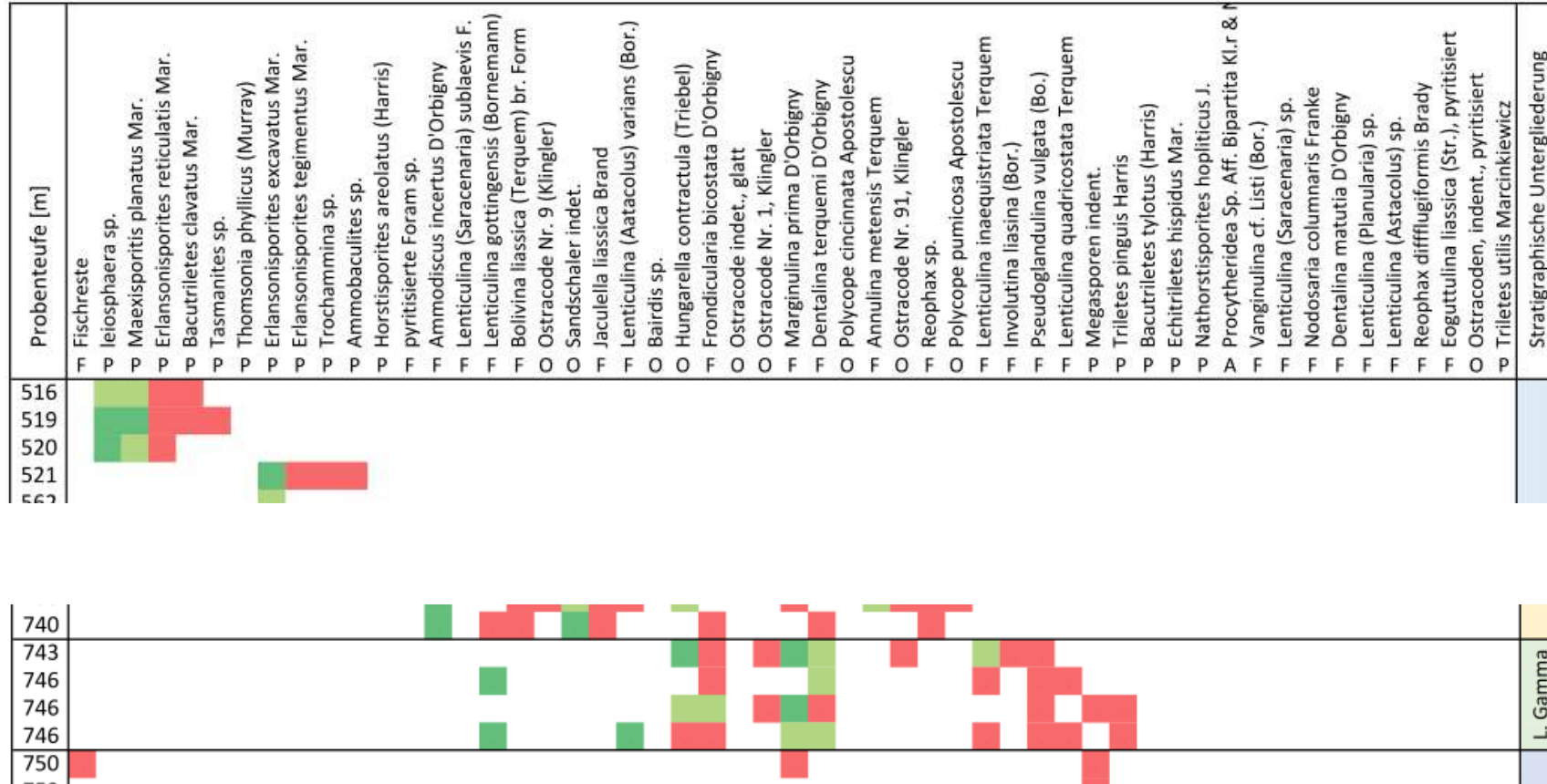
KK 489: Tragophylloceras sp.



KK 412: Bio-turbation

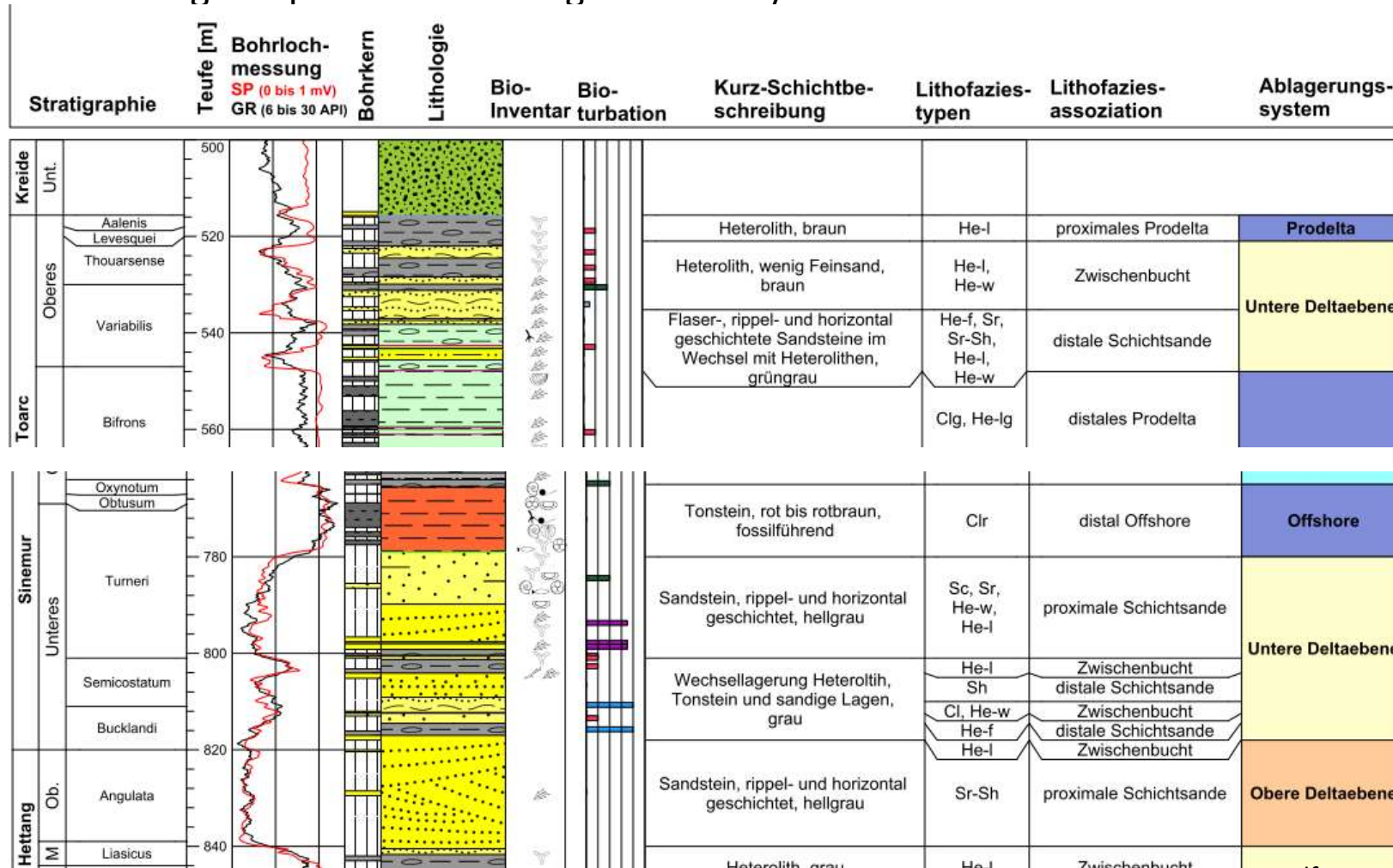
Faziesanalyse

Kernbearbeitung Beispiel: Lias Bohrung Kb TaoAt 1/65



Faziesanalyse

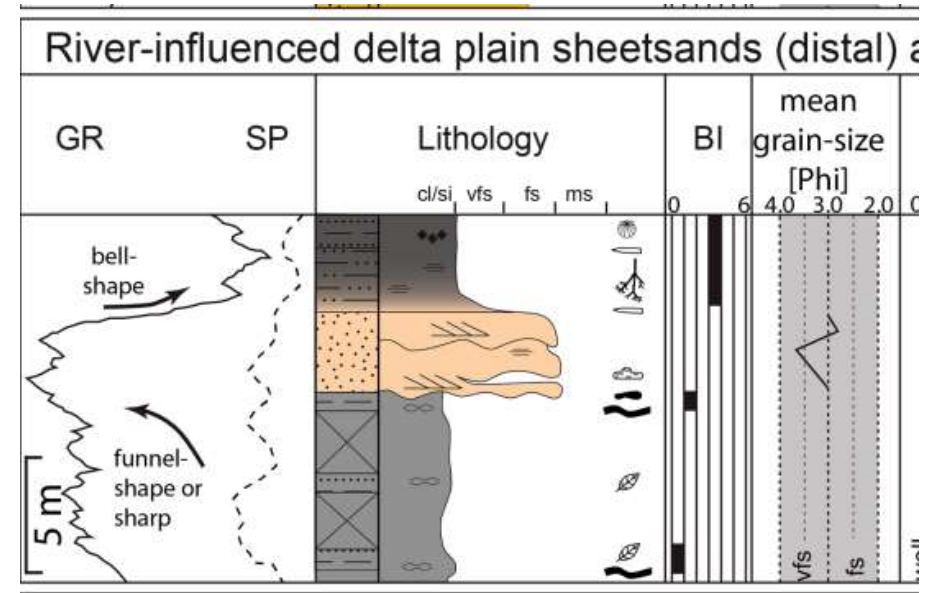
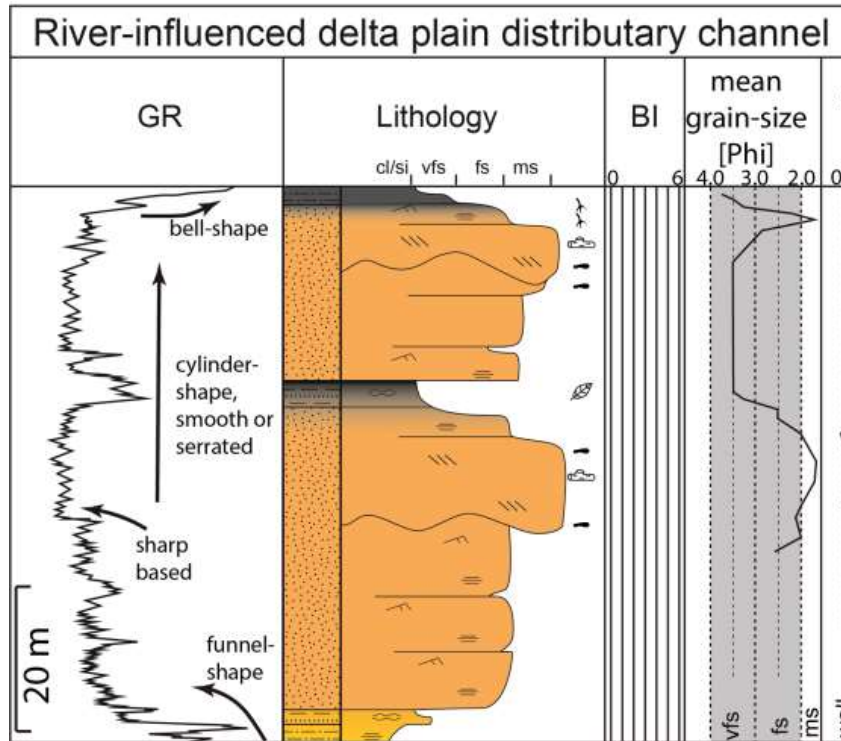
Kernbearbeitung Beispiel: Lias Bohrung Kb TaoAt 1/65



Wolfgang et al. (2018)
bbr-2-2018

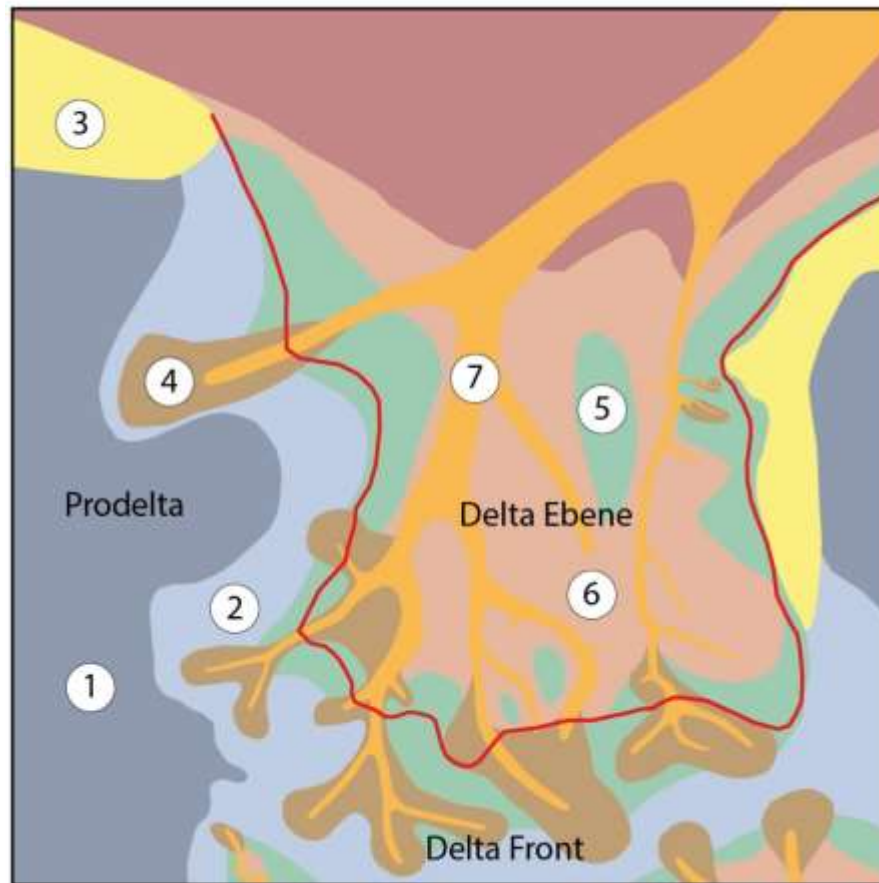
Faziesanalyse

Typprofile verschiedener Lithofaziesassoziationen

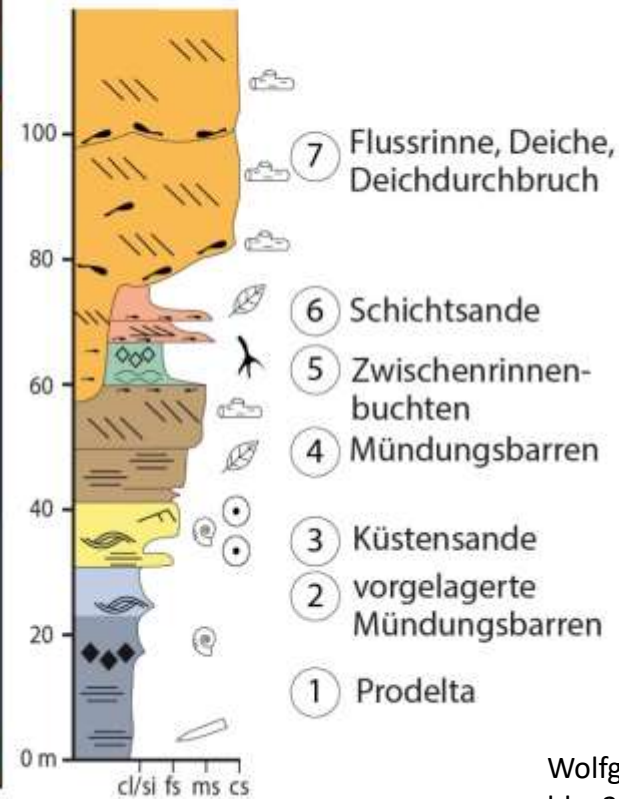


Faziesanalyse

Kernbearbeitung Beispiel: Lias Bohrung Kb TaoAt 1/65



Fluss-dominiertes Delta



Wolfgang et al. (2018)
bbr-2-2018

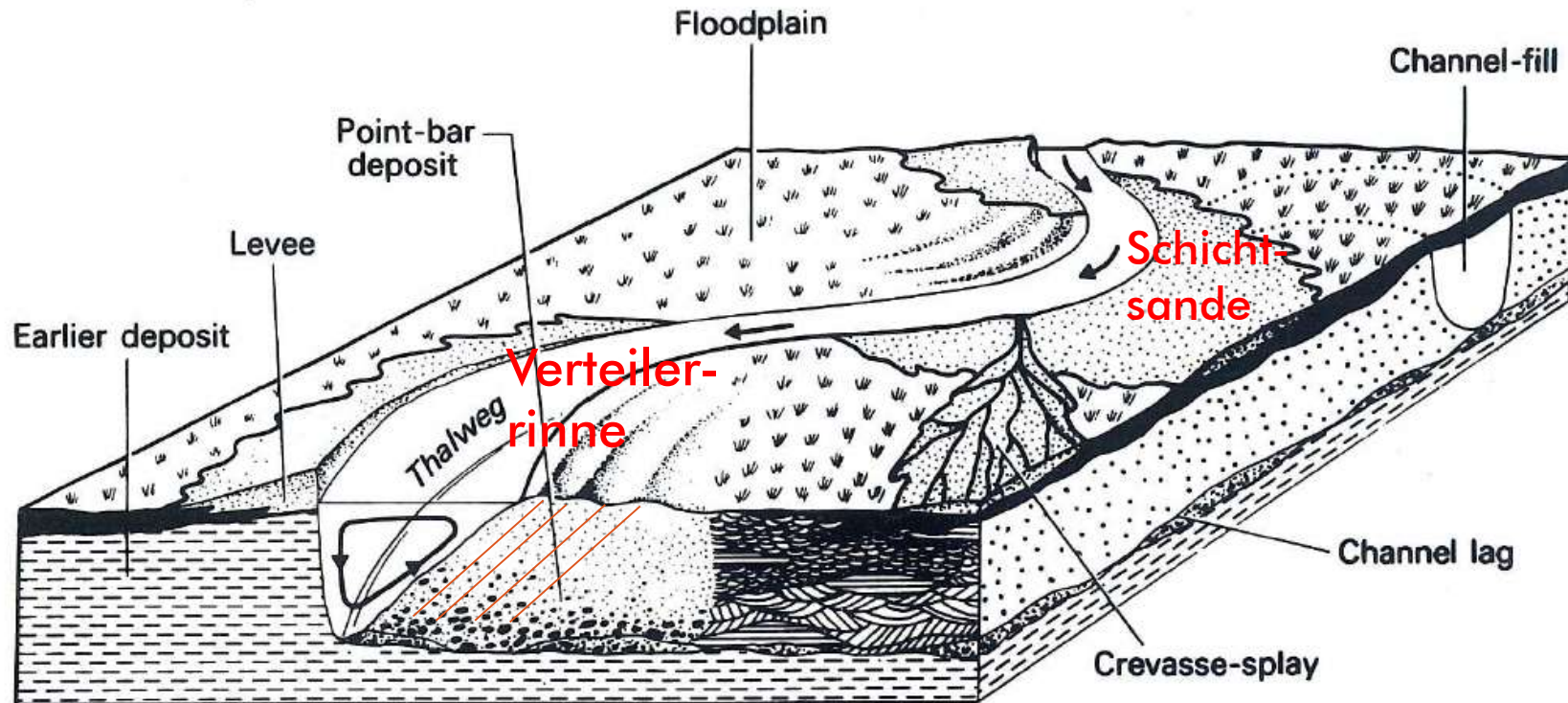
Geologie



GTN

INGENIEURE & GEOLOGEN

Flussrinne



Decreasing grain size



Cross-bedding



Cross-lamination



Flat-bedding

Tucker (1985)

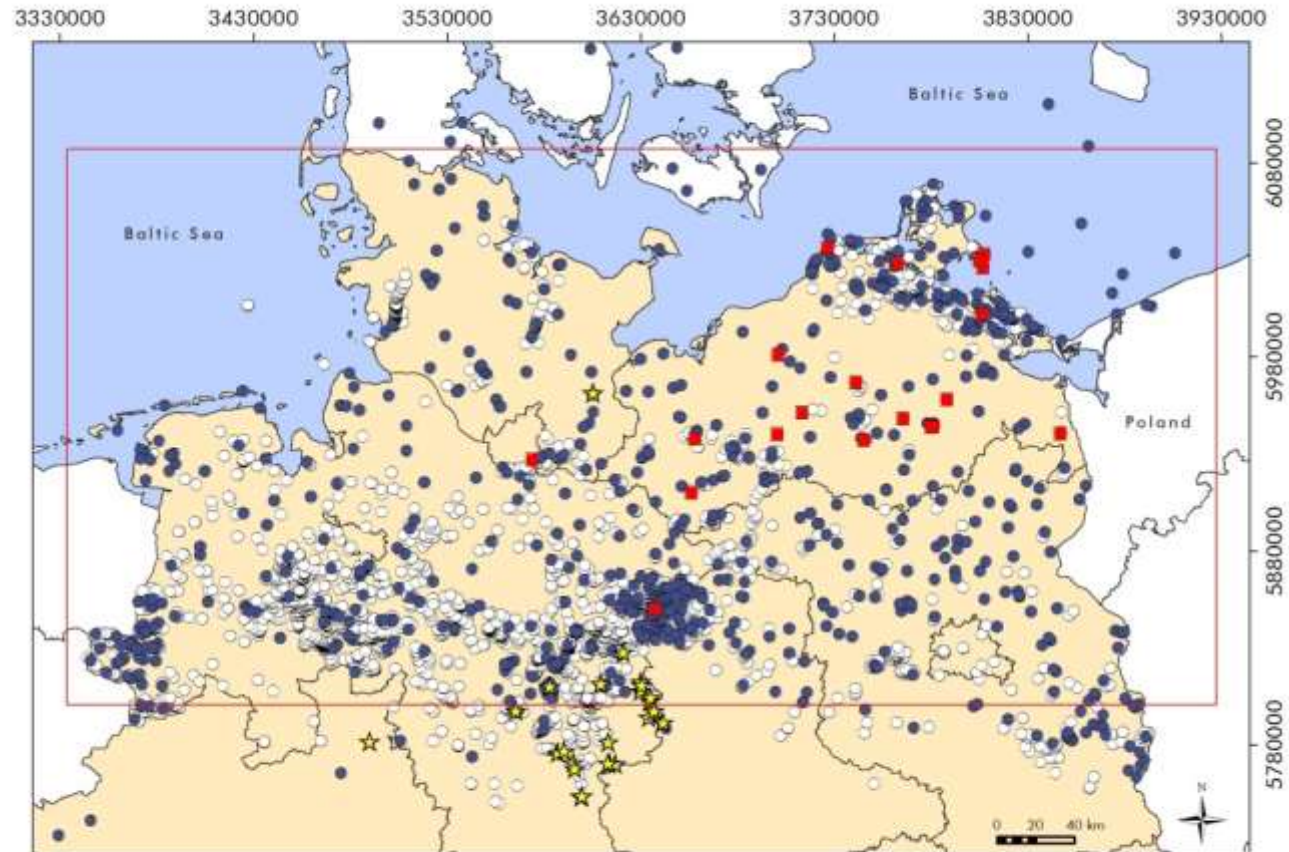
Faziesanalyse



GTN

INGENIEURE & GEOLOGEN

Datengrundlage



- Cored and logged well
- Logged well
- ★ Outcrop
- Section of paleographic map
- Well without Rhaetian-Liassic complex

Wolfgramm et al. (2014)

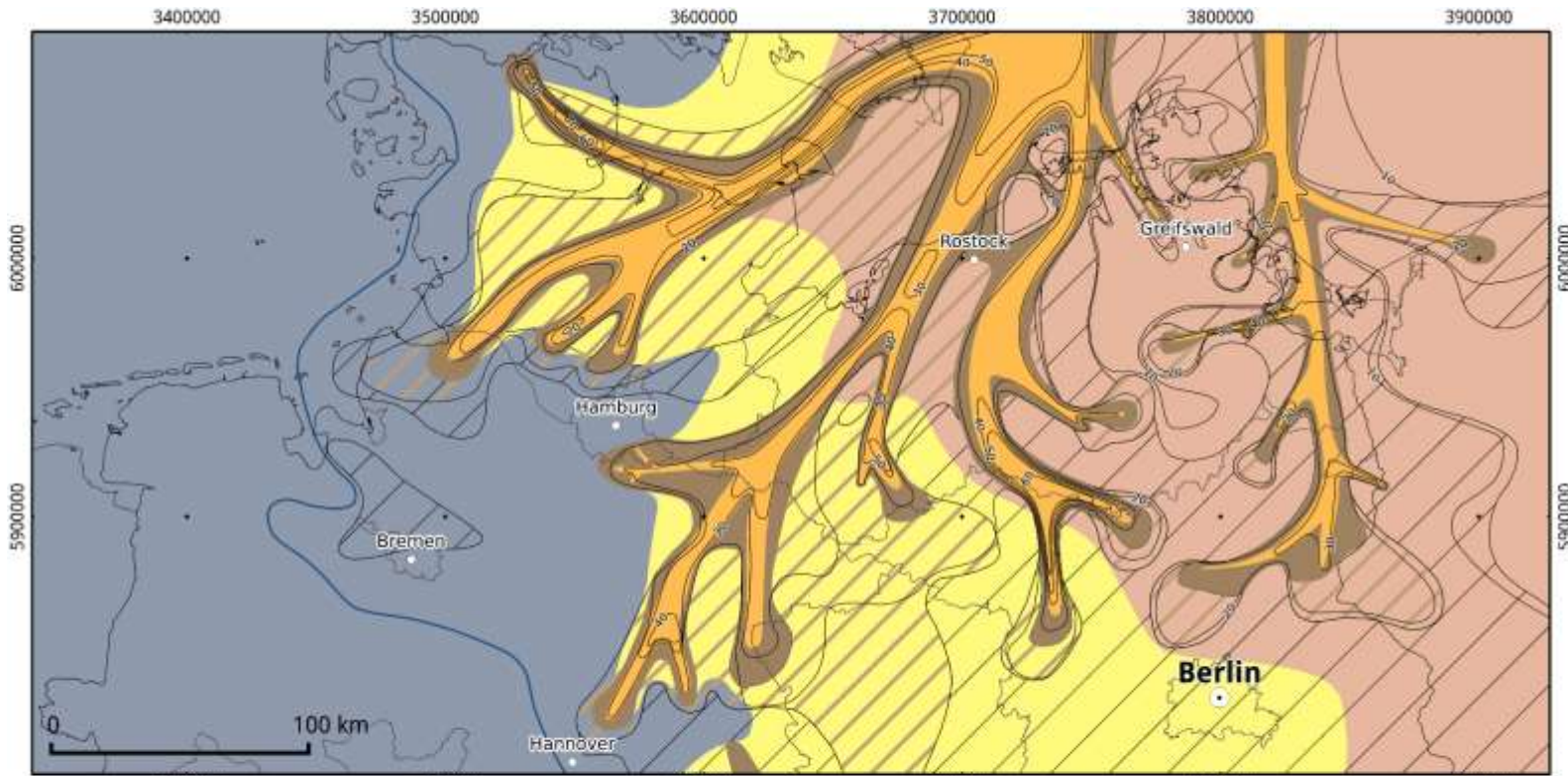
Faziesanalyse



GTN

INGENIEURE & GEOLOGEN

Fazieskartierung: Beispiel „Contorta-Sandstein“



Legende

- max. Verbreitung Prodeltasandsteine
- Mächtigkeiten der Sandsteine [m]

- | | |
|--|-------------------|
| Rinnengürtel | Prodelta |
| Uferdamm, Dambruchfächer, Mündungsbarren | Untere Deltaebene |
| Schichtsand, Prodeltasandsteine > 20 m | Obere Deltaebene |
| Schichtsand, Prodeltasandsteine > 10 m | |

Wolfgramm et al. (2014)

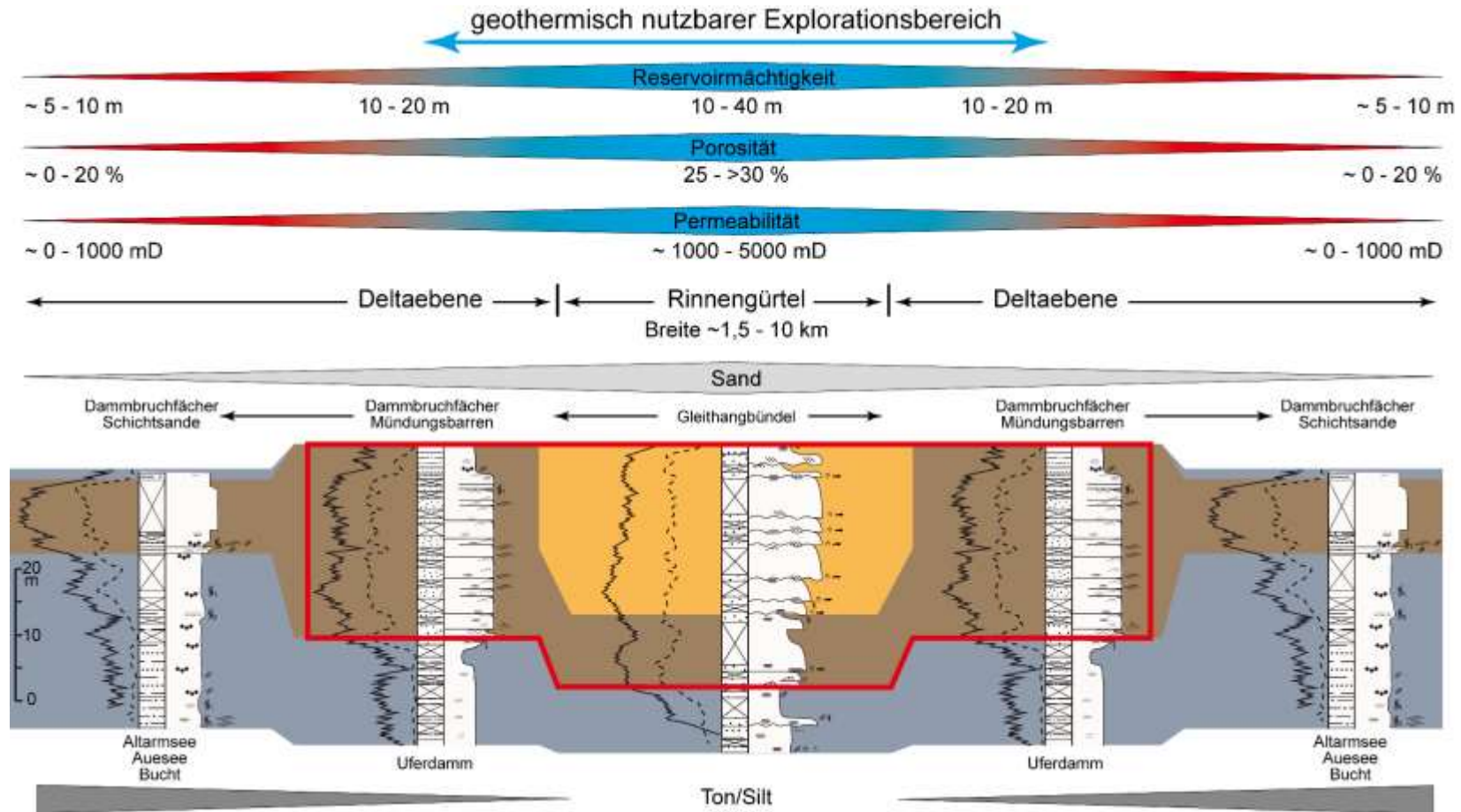
Faziesanalyse



GTN

INGENIEURE & GEOLOGEN

Geothermische Eignung



Wolfgramm et al. (2014)

Motivation

Wärmebedarf (stark vereinfacht)

- Für die Versorgung eines Haushaltes werden ca. 5 kW benötigt
- Mit einer geothermischen Dublette und 5 MW könnten so 1000 Haushalte versorgt werden:
- Temperatur ≤ 60 °C Nutzung mittels HT-Wärmepumpe
- Temperatur 60 – 80°C kombinierte (direkt, HT-Wärmepumpe)
- Temperatur ≥ 80 °C direkte Wärmenutzung

Probleme:

- Wo geht es und wo nicht?
- Temperatur $\gg 100$ °C Chemische Diagenese?

Relevante Parameter

Wärme aus mitteltiefer Geothermie

$$P_{th} = \rho_F \times c_F \times Q \times (T_E - T_A)$$

Thermische Leistung P_{th}

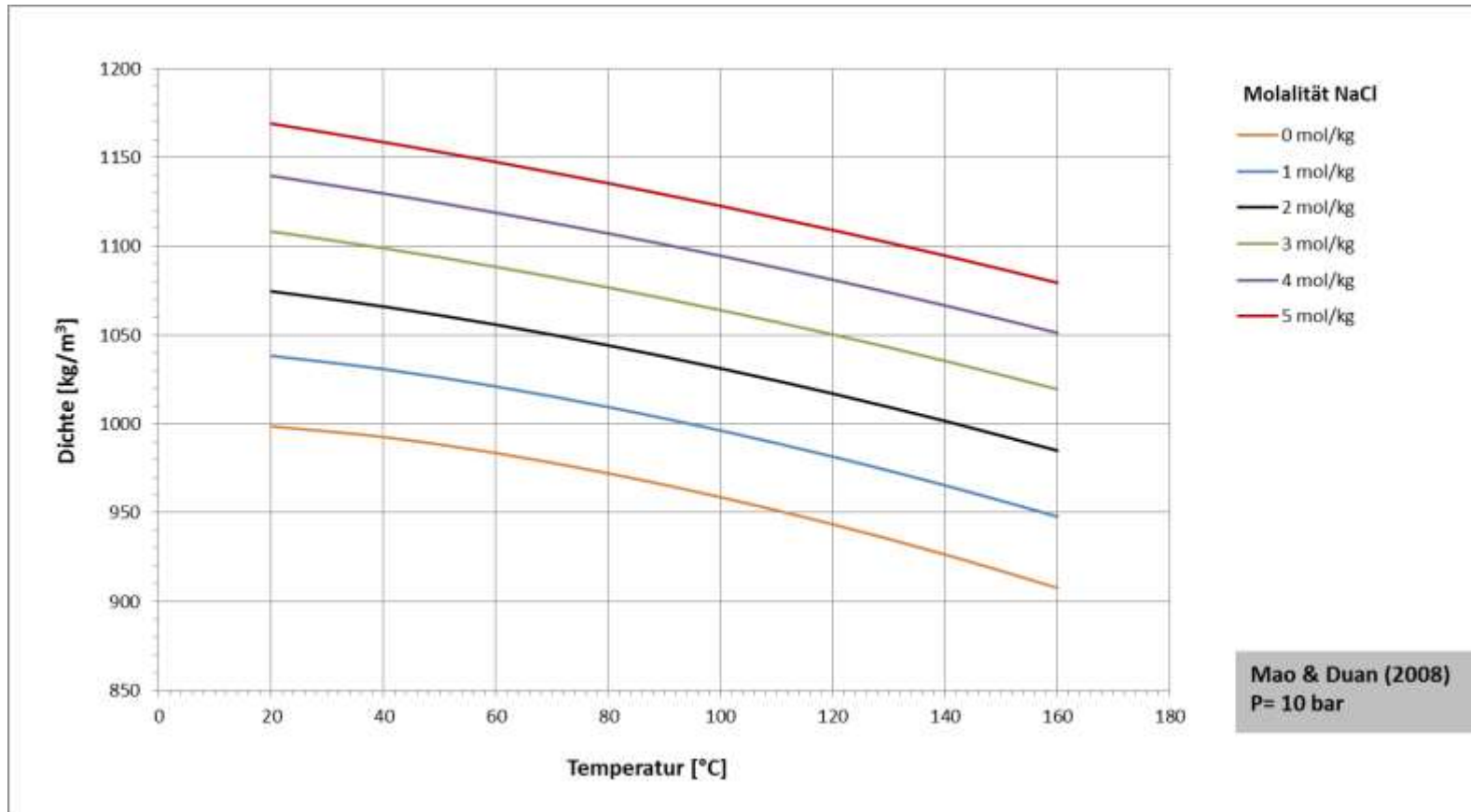
ρ_F	Dichte des Fluids	$[\text{kg} \times \text{m}^{-3}]$
c_F	isobare spezifische Wärmekapazität	$[\text{J} \times \text{kg}^{-1} \times \text{K}^{-1}]$
Q	Förderrate, Volumenstrom	$[\text{m}^3 \times \text{s}^{-1}]$
T_E, T_A	Eingangs- und Austrittstemperatur	$[\text{K}]$ oder $[\text{°C}]$
$\Delta p, \Delta h$	Depression, Absenkung des Wasserspiegels	$[\text{m}]$, $[\text{bar}]$ oder $[\text{MPa}]$

Schichttemperatur: 70°C

Reinjektion: 30°C

Relevante Parameter

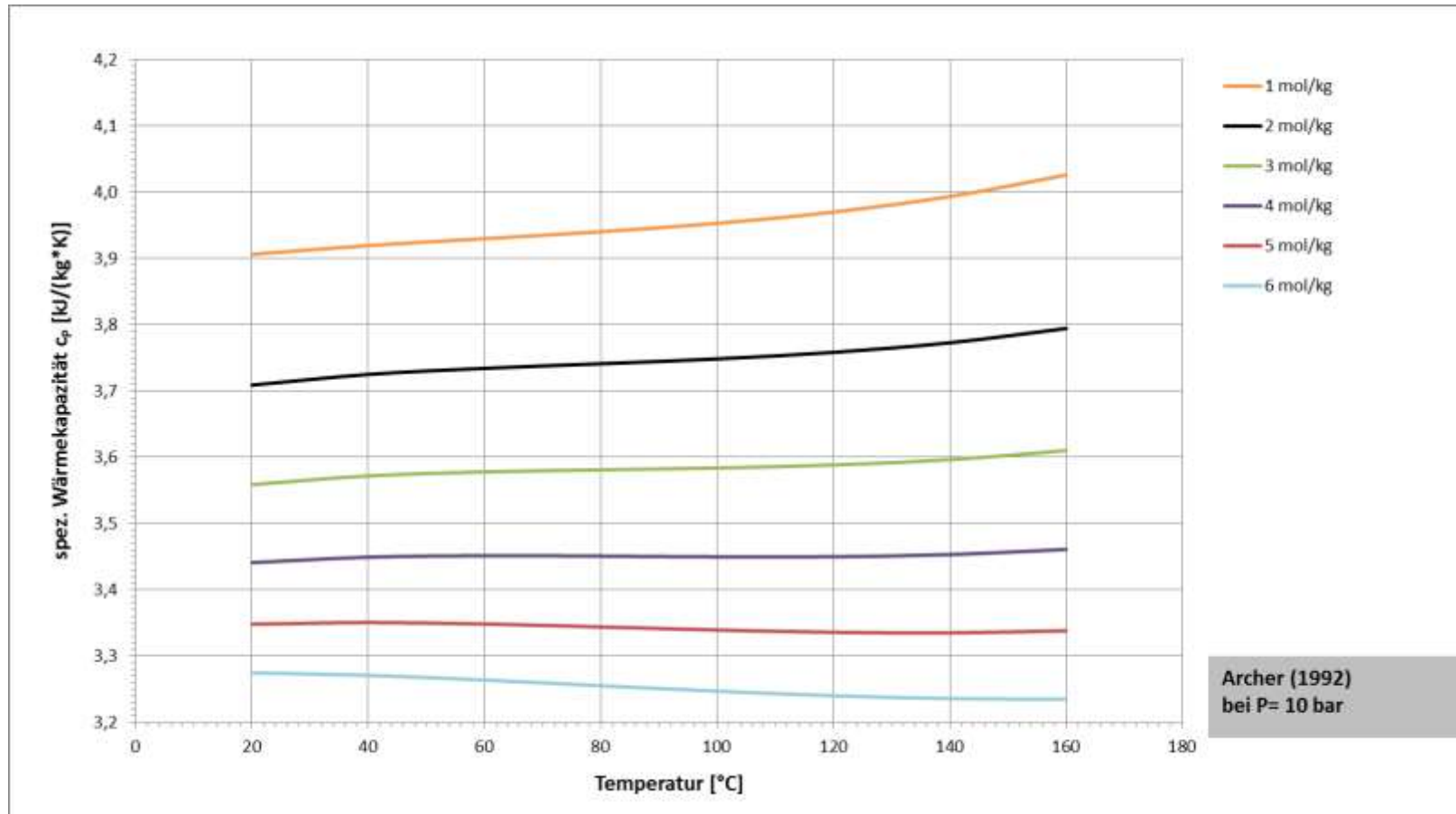
Qualitative Parameter: Dichte



Birner et al. (2012), bbr

Relevante Parameter

Qualitative Parameter: Wärmekapazität



Birner et al. (2012), bbr

Relevante Parameter

Wärme aus mitteltiefer Geothermie

$$P_{th} = \rho_F \times c_F \times Q \times (T_E - T_A)$$

Thermische Leistung P_{th}

$$PI = Q / \Delta p$$

Produktivitätsindex PI

ρ_F	Dichte des Fluids	$[\text{kg} \times \text{m}^{-3}]$
c_F	isobare spezifische Wärmekapazität	$[\text{J} \times \text{kg}^{-1} \times \text{K}^{-1}]$
Q	Förderrate, Volumenstrom	$[\text{m}^3 \times \text{s}^{-1}]$
T_E, T_A	Eingangs- und Austrittstemperatur	$[\text{K}]$ oder $[\text{°C}]$
$\Delta p, \Delta h$	Depression, Absenkung des Wasserspiegels	$[\text{m}]$, $[\text{bar}]$ oder $[\text{MPa}]$

Schichttemperatur:	70°C
c_F :	4 kJ/(kg*K)
Förderrate:	100 m ³ /h

Reinjektion:	30°C
Dichte:	1080 kg/m ³
P_{th} :	ca. 5 MW

Relevante Parameter

Förderrate

$$Q = 2 \times \pi \times k_f \times M \times \frac{\Delta p}{\ln \frac{R}{r}}$$

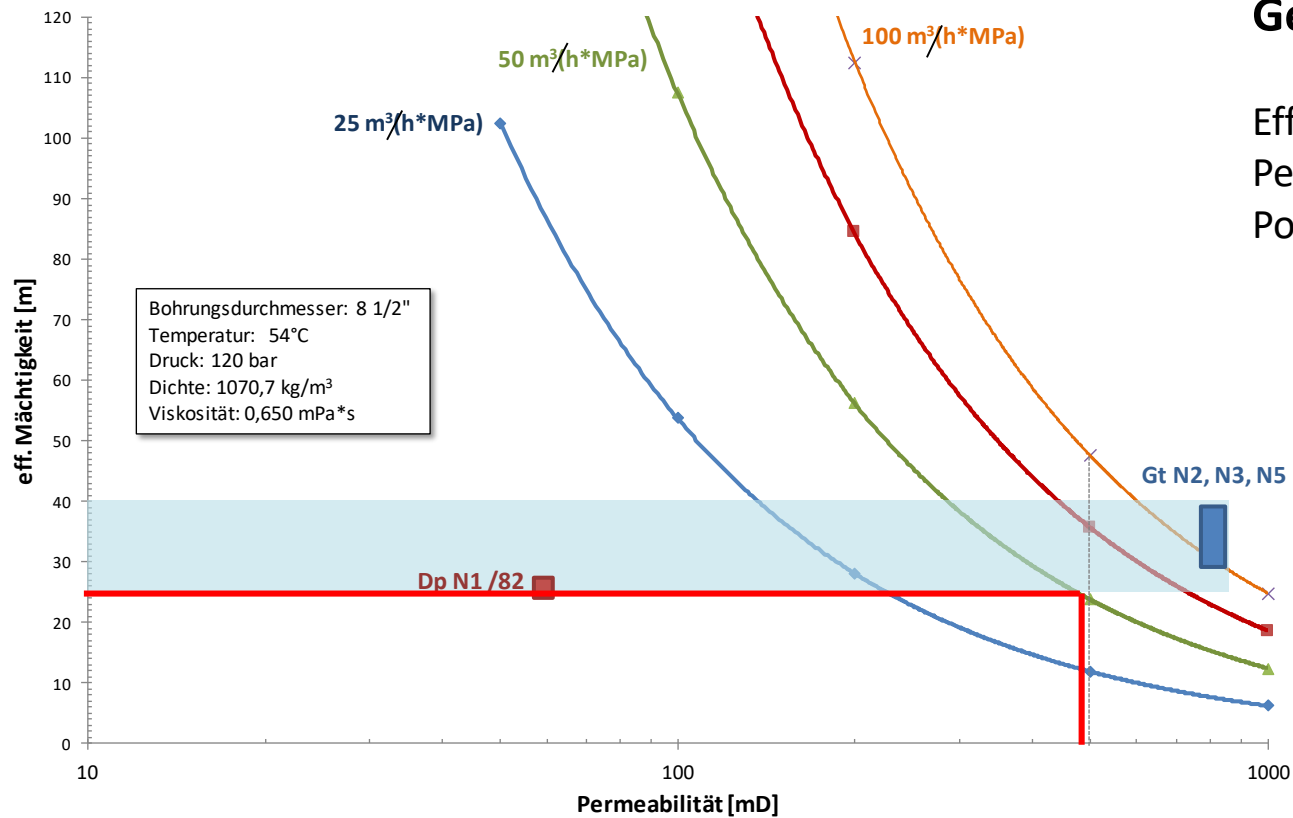
k_f	Durchlässigkeitsbeiwert	$[m \times s^{-1}]$
M	effektive Mächtigkeit des Aquifers	$[m]$
R	Reichweite des Absenktrichters	$[m]$
r	Radius des Bohrloches	$[m]$
π	Kreiszahl, 3,14	

$$k_f = \frac{k \times \rho_F \times g}{\mu}$$

k	Permeabilität	$[mD = 10^{-9}m^2]$
ρ_F	Dichte des Fluids	$[kg \times m^{-3}]$
μ	Viskosität des Fluids	$[mPa \times s]$

Relevante Parameter

Förderrate – m, k



Geotherm. Aquifer

Eff. Mächtigkeit: >25 m
Permeabilität: >500mD
Porosität: >20%

Wolfgramm et al. 2017

Relevante Parameter

Anforderungen an Sandsteinaquifer

Sandstein:	grobkörnig, gleichkörnig, matur, geringer Feinstanteil
Verbreitung:	flächig korrelierbar
Tiefenlage:	> 300 m
Effektive Mächtigkeit:	> 25 m (eine Lage)
Porosität:	>20%
Permeabilität:	>500 mD



Fündigkeitsprognosen

Methode - Parameter

$$P_{th} = \rho_F \times c_F \times Q \times (T_E - T_A)$$

Thermische Leistung P_{th}

ρ_F	Dichte des Fluids	[kg x m ⁻³]
c_F	isobare spezifische Wärmekapazität	[J x kg ⁻¹ x K ⁻¹]
Q	Förderrate, Volumenstrom	[m ³ x s ⁻¹]
T_E, T_A	Eingangs- und Austrittstemperatur	[K] oder [°C]
$\Delta p, \Delta h$	Depression, Absenkung des Wasserspiegels	[m], [bar] oder [MPa]

Fündigkeitsprognosen

Methode

$$POS = \frac{\sum W_i \times A_i}{\sum W_i}$$

A_i

1 – erfolgreich, 0 – nicht erfolgreich

W_i

Wichtungsfaktor



Wolfgramm & Thorwart (2015)

Fündigkeitsprognosen

Methode

$$POS = \frac{\sum W_i \times A_i}{\sum W_i}$$

A_i
W_i

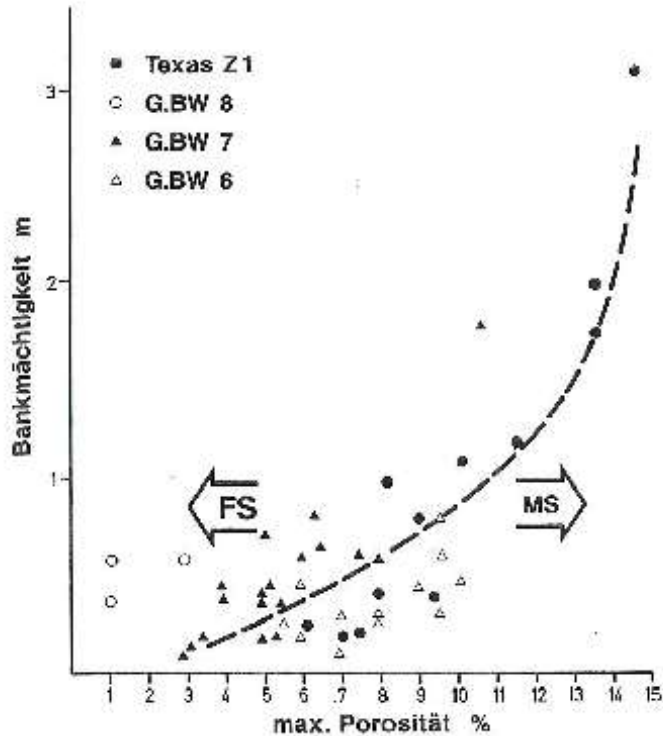
1 – erfolgreich, 0 – nicht erfolgreich
Wichtungsfaktor



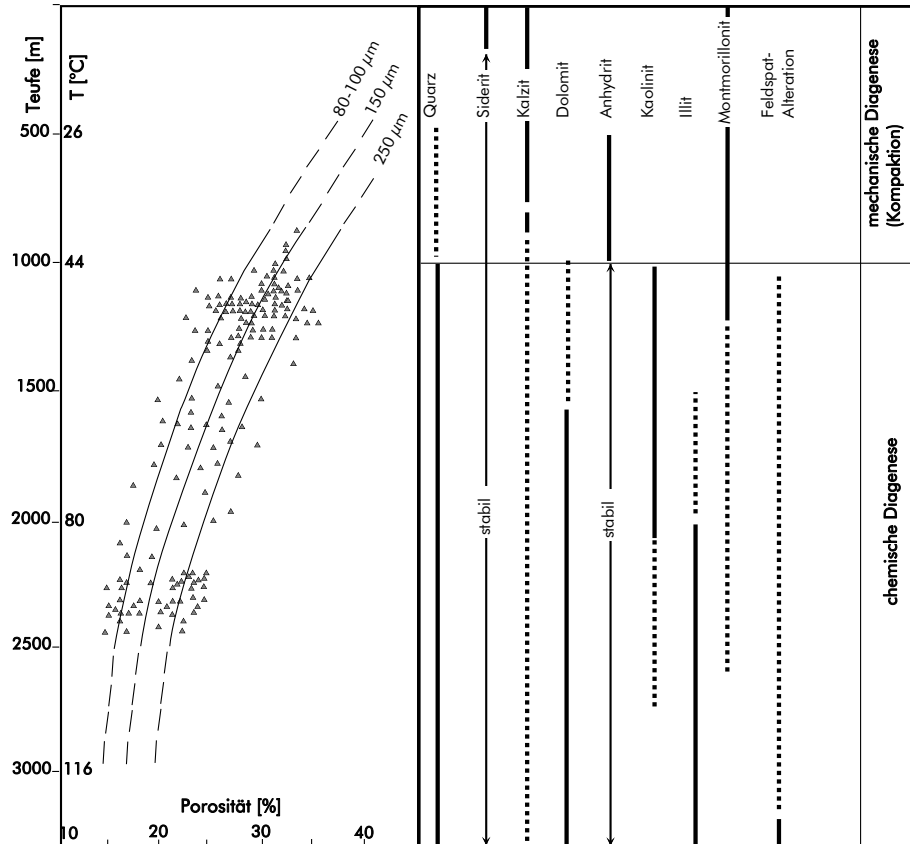
Fündigkeitsprognosen

Methode

Die Verwendung unkorrigierter Messwerte führt zu falschen Bewertungen (Q und T)!



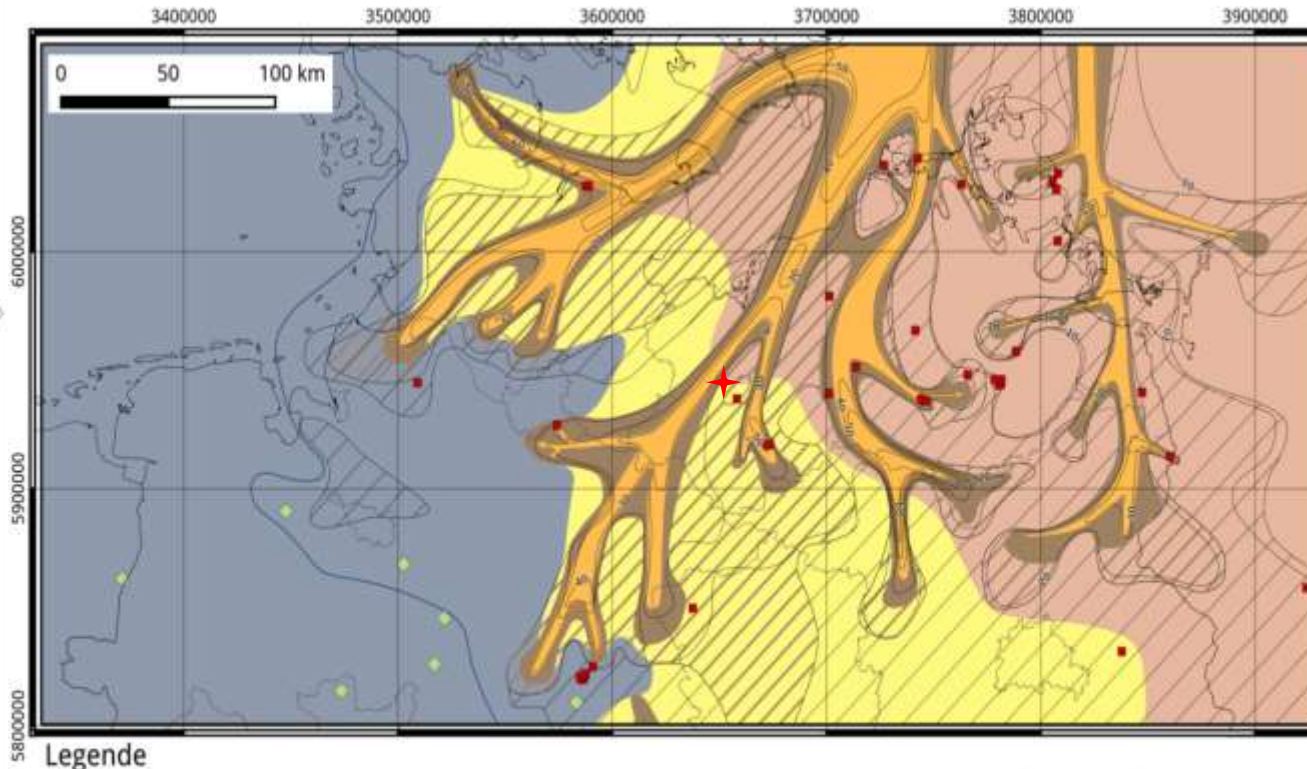
Gaupp (2011)



Wolfgramm (2014) nach Scholle (1992)

Projekt Schwerin

Schwerin - Kenntnisstandsanalyse



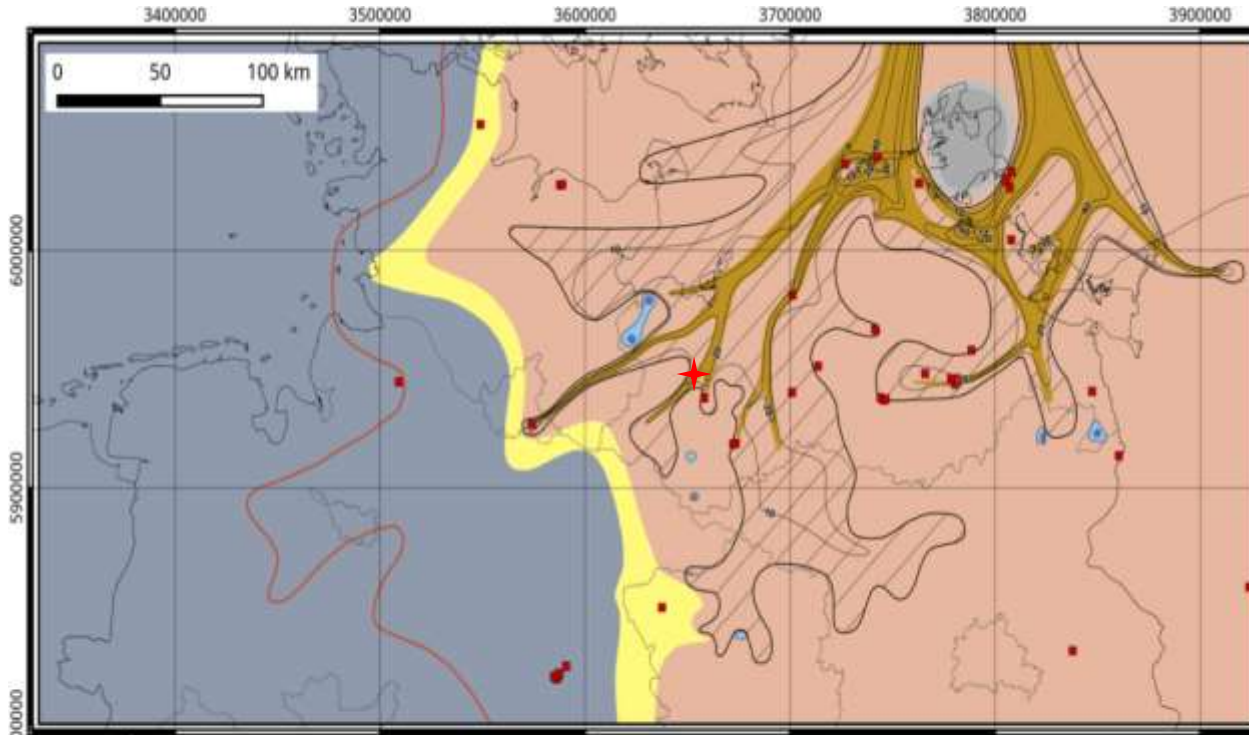
O. Exter III – Contorta-Sch.
-Crevasse Splay,
-prox. Schichtsand
-Mächtigkeit >20 m

Legende

- | | | |
|---|--|----------------------|
| ■ Kerne untersucht [43] | ■ Rinnengürtel der Verteilerrinnen | ■ Delta-Bereiche |
| ◆ Vorkommen <i>Rhaetavicula contorta</i> | ■ Mündungsbarren, randl. Verteilerrinnen | ■ Prodelta |
| — Maximale Progradation des distalen Prodelta | ▨ Schichtsand, Prodelta-Sande >20 m | ■ Untere Delta-Ebene |
| — Mächtigkeit Sandsteine [m] | ▨ Schichtsand, Prodelta-Sande >10 m | ■ Obere Delta-Ebene |

Projekt Schwerin

Schwerin - Kenntnisstandsanalyse



Exter III – Postera-Sch.
-Rinnensandstein
-Mächtigkeit 25 – 30 m

Exter II – Poster-Sch.
-proximale Schichtsand
-Mächtigkeit 10 - 15 m

Legende

- | | | |
|--|--|---------------------------|
| ■ Kerne untersucht [43] | ■ Fluviale Schwemmfächer, Rinnengürtel | ■ Siliziklastische Küste |
| ■ Lakustrine (feuchte) Playa, sicher | — Mächtigkeit Sandsteine [m] | — Distaler Küsteneinfluss |
| ■ Lakustrine (feuchte) Playa, vermutet | □ Schichtsand | ■ Marin |
| ■ Tonige (trockene) Playa | ■ Hochländer | |

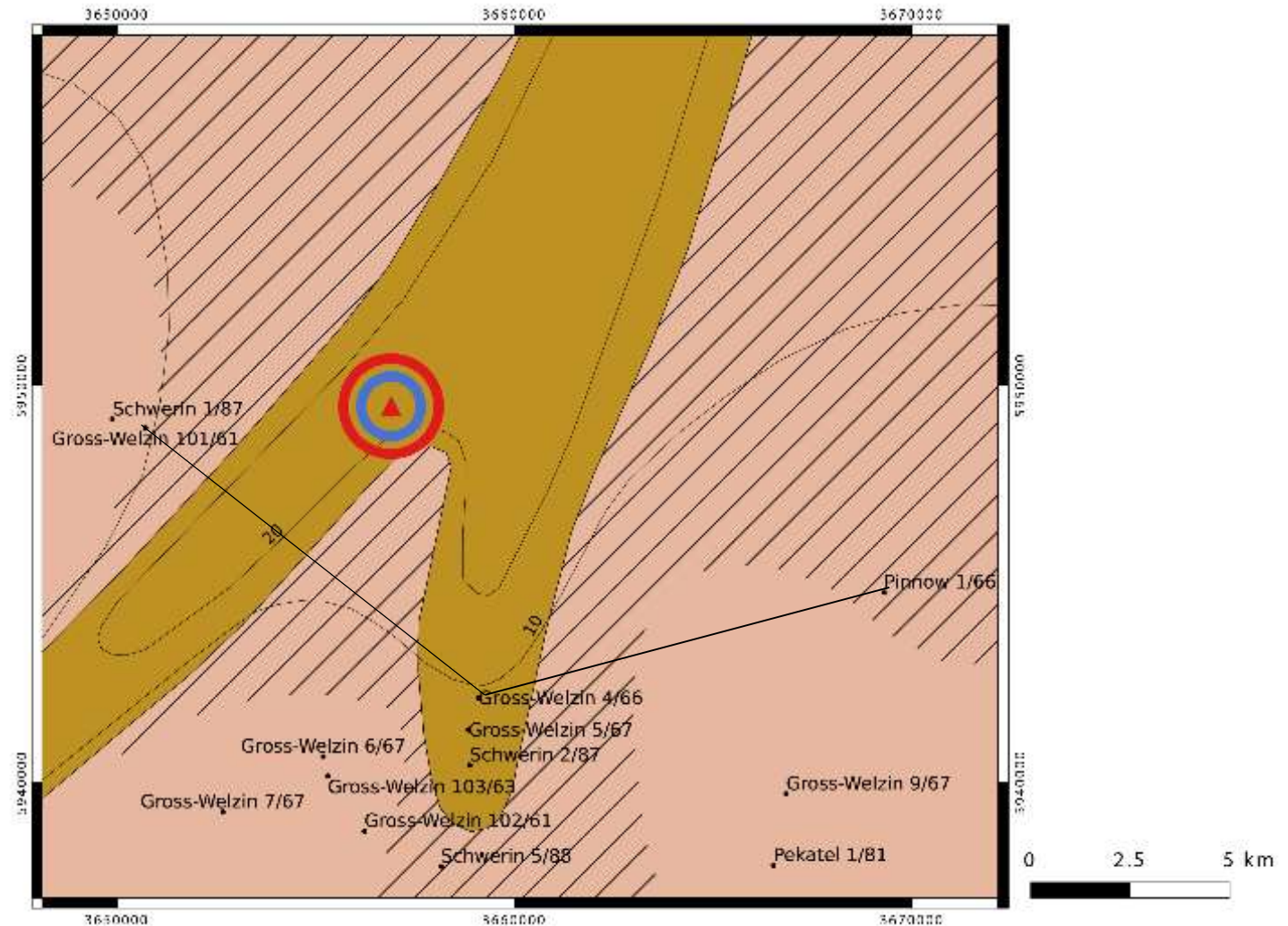
Projekt Schwerin



GTN

INGENIEURE & GEOLOGEN

Schwerin - K



Projekt Schwerin

Bohrung Schwerin 6/17: Ergebnisse

xxxx,x – xxxx,x m MD	xx,x m	Sh-Sr	Hettang (Lias)
xxxx,x – xxxx,x m MD	xx,x m	Sr-Sh	Contorta (Rhät)
xxxx,x – xxxx,x m MD	xx,x m	Sh-Sr	Contorta (Rhät)
xxxx,x – xxxx,x m MD	xx,x m	Ss, Sr, Sl	Postera (Rhät)



Contorta:
Schichtsand



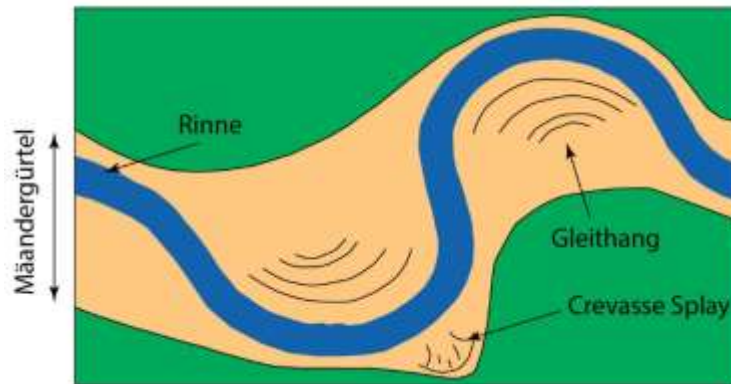
Hettang:
Crevasse Splay



Postera:
Rinnensandstein

Projekt Schwerin

Bohrung Schwerin 6/17: Ergebnisse



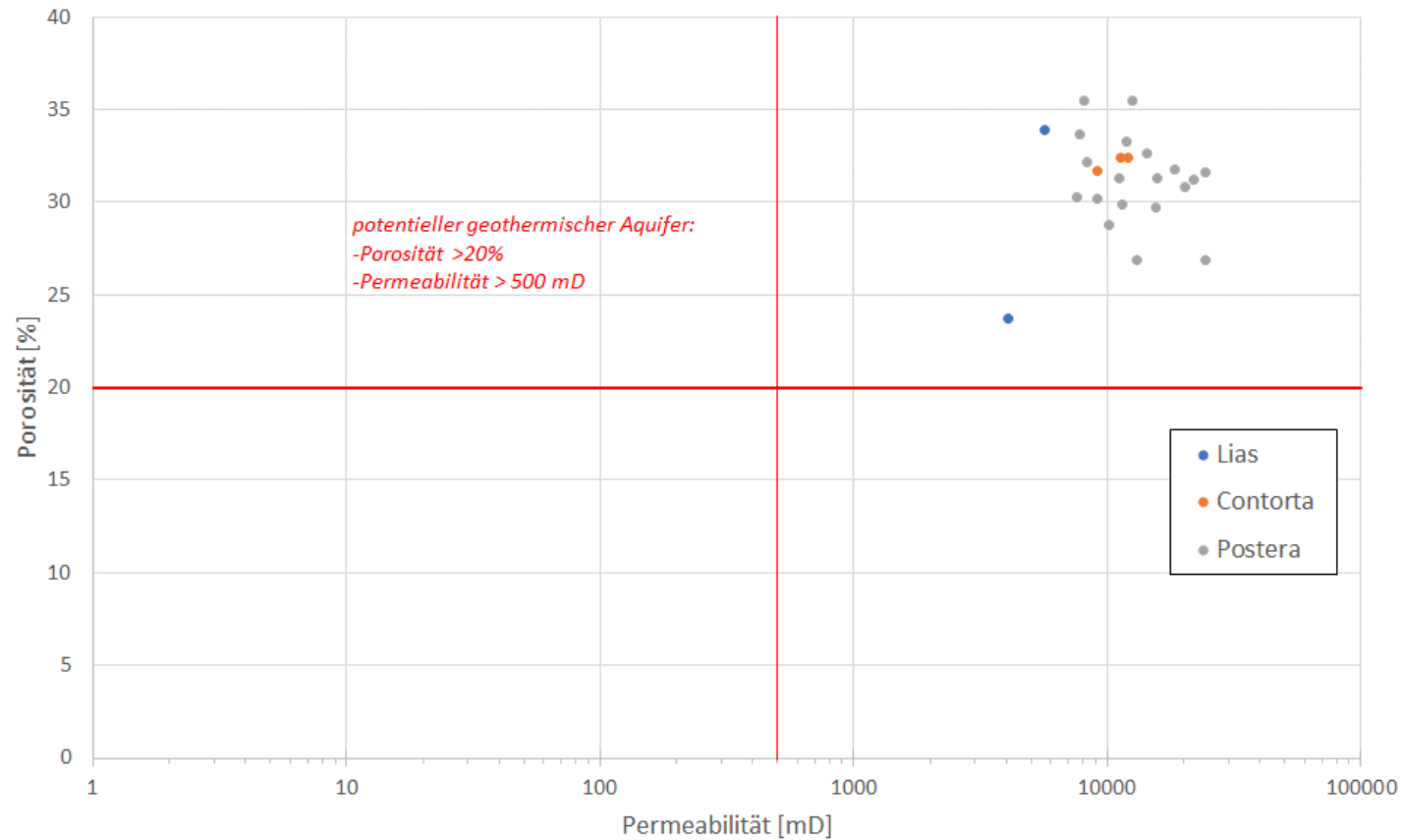
- Bestätigung der prognostizierten Mäandergürtelbreite („Verteilerrinne“) von 500 – 2500 m
- Bestätigung des Faziesmodells sowohl für Postera- als auch die Contorta-Sandsteine
- Das ist eine wichtige Grundlage für die weiteren Planungen

Nummer	von [mMD]	bis [mMD]	Mächtigkeit Gleithangbündel M_{GI} [m]	Rinnenbreite von Mächtigkeit Gleithangbündel (Leeder 1973)	Mäanderbreite von Mächtigkeit Gleithangbündel (Lorenz et al. 1985)
1			2,3	24,5	188,4
2			1,1	7,9	59,8
3			2,2	22,9	175,8
4			0,8	4,8	36,4
5			2,2	22,9	175,8
6			1,9	18,3	140,0
7			2,2	22,9	175,8
8			0,9	5,8	43,8
9			1,4	11,4	87,0
10			2,1	21,3	163,5
11			4,1	59,7	462,9
12			0,7	3,9	29,6
13			0,5	2,3	17,5
14			4,2	62,0	480,6
15			0,6	3,1	23,3
16			1,8	16,8	128,7
17			1,3	10,2	77,6
18			0,3	1,1	7,9
19			1,1	7,9	59,8
20			1,7	15,4	117,7
21			3,7	51,0	394,6

Projekt Schwerin

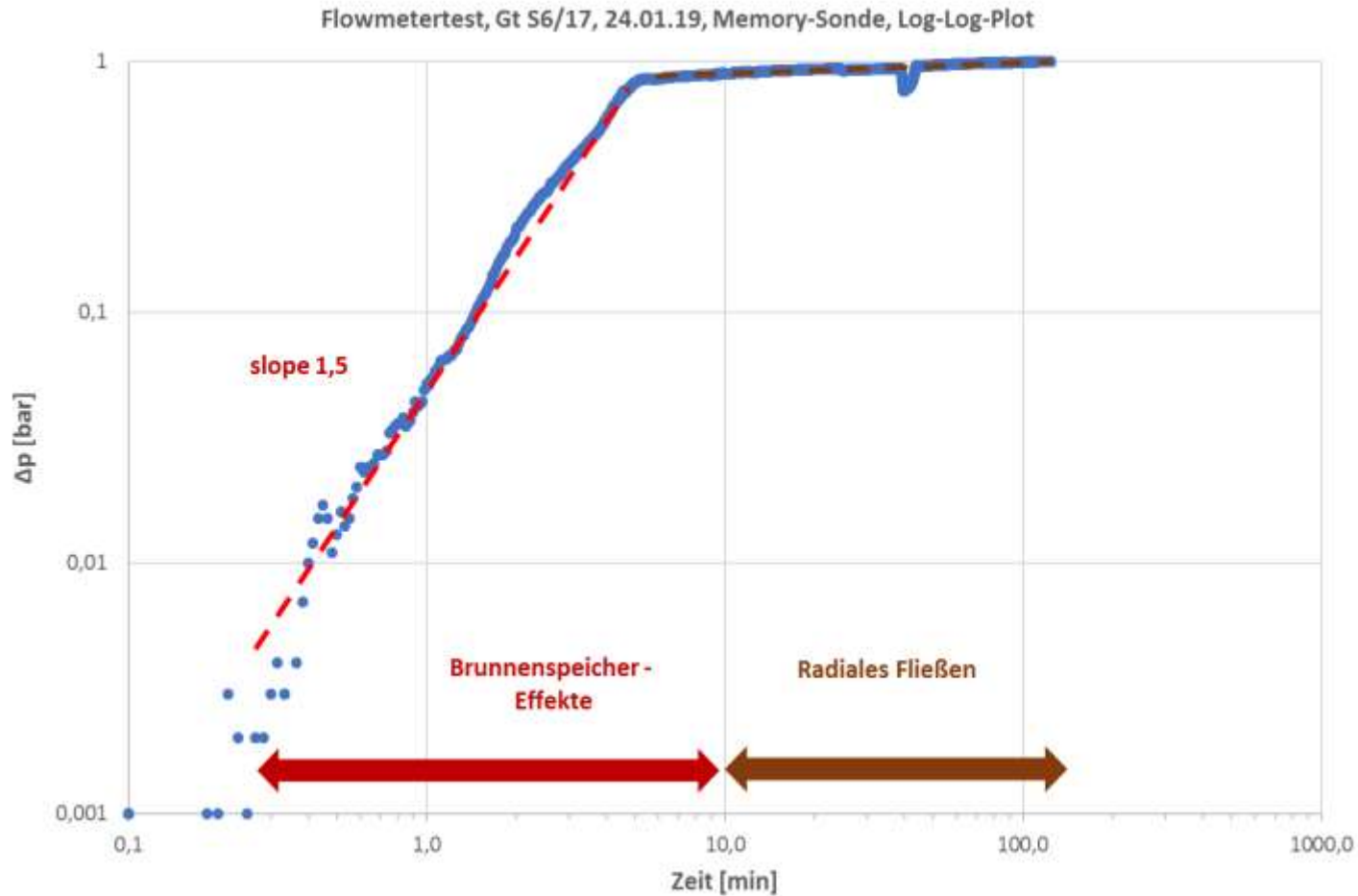
Bohrung Schwerin 6/17: Ergebnisse

Porositäten und Permeabilitäten des Rhät/Lias der Gt Schwerin 1/17



Projekt Schwerin

Bohrung Schwerin 6/17: Ergebnisse



Projekt Schwerin

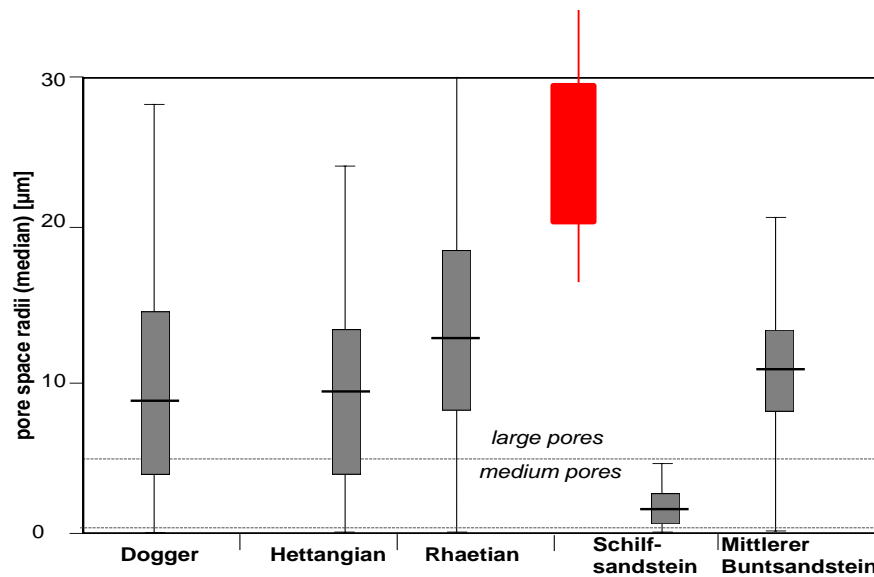
Bohrung Schwerin 6/17: Ergebnisse

Tiefe Postera-Sandstein:	xxxx – xxxx mMD
Mächtigkeit:	45 m
Förderrate Test:	ca. xx l/s
max. Fördertemperatur:	xx,x°C
Produktivitätsindex Test:	xx l/(s*bar)
Produktivitätsindex extrapol.:	xx l/(s*bar)
Permeabilität:	6,8 D
Permeabilitätsmächtigkeit:	304 Dm

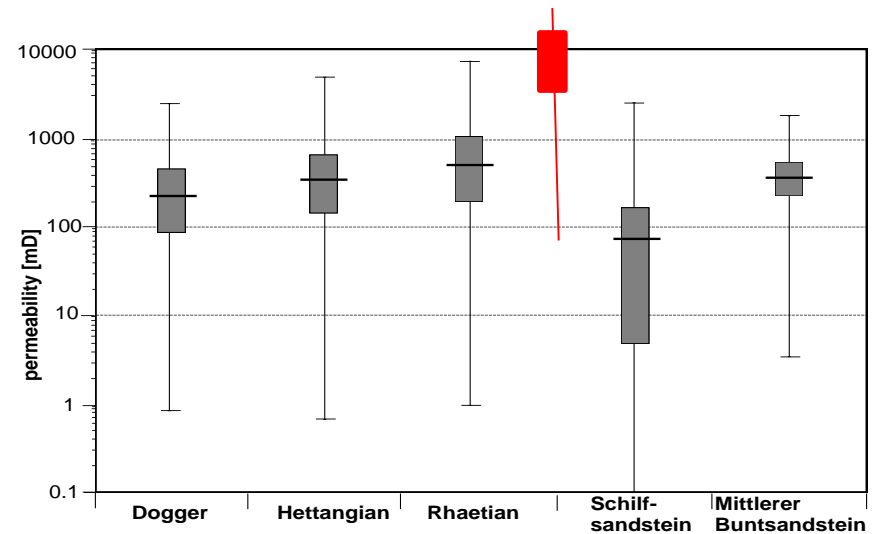
Projekt Schwerin

Bohrung Schwerin 6/17: Ergebnisse

Parameter	KA (GTN)	POS (Extern)	real
Temperatur [°C]	xx - xx - xx	xx mit 16%	xx.x
Produktivität [l/(s*bar)]	x	x mit 44%	xx
Förderrate [l/s]	xx - xx - xx	xx mit 44%	xx - xx - xx



Wolfgramm et al. (2008)



Wolfgramm et al. (2008)

Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Geothermische Wärmegewinnung im NDB umfassend möglich
- Nutzbar sind dafür die vorliegenden Fazieskarten (geotis)
- Fündigkeitsprognosen: Für NDB muss entsprechende Methodik entwickelt werden; Die Methode ist nicht vom Molassebecken übertragbar
- Bohrung Schwerin hat gezeigt:
 - Faziesmodell funktioniert
 - Regional bekannte Werte sind nicht die Oberkante des Möglichen (die Produktivität in Schwerin ist deutlich höher als in den besten Bohrungen des Molassebeckens)
 - Es ist zu klären, warum die Werte in Schwerin so hoch sind
 - Weiter umzusetzende Projekte oder Forschungsbohrungen können helfen
- Sind Projekte in Temperaturniveaus $\gg 100^\circ\text{C}$ realisierbar?

www.gtn-online.de