

Hydrochemische und hydraulische Eigenschaften der tiefen geothermischen Aquifere in SW- Deutschland

Prof. Dr. Ingrid Stober

Geowissenschaften Universität Freiburg

ingrid.stober@minpet.uni-freiburg.de

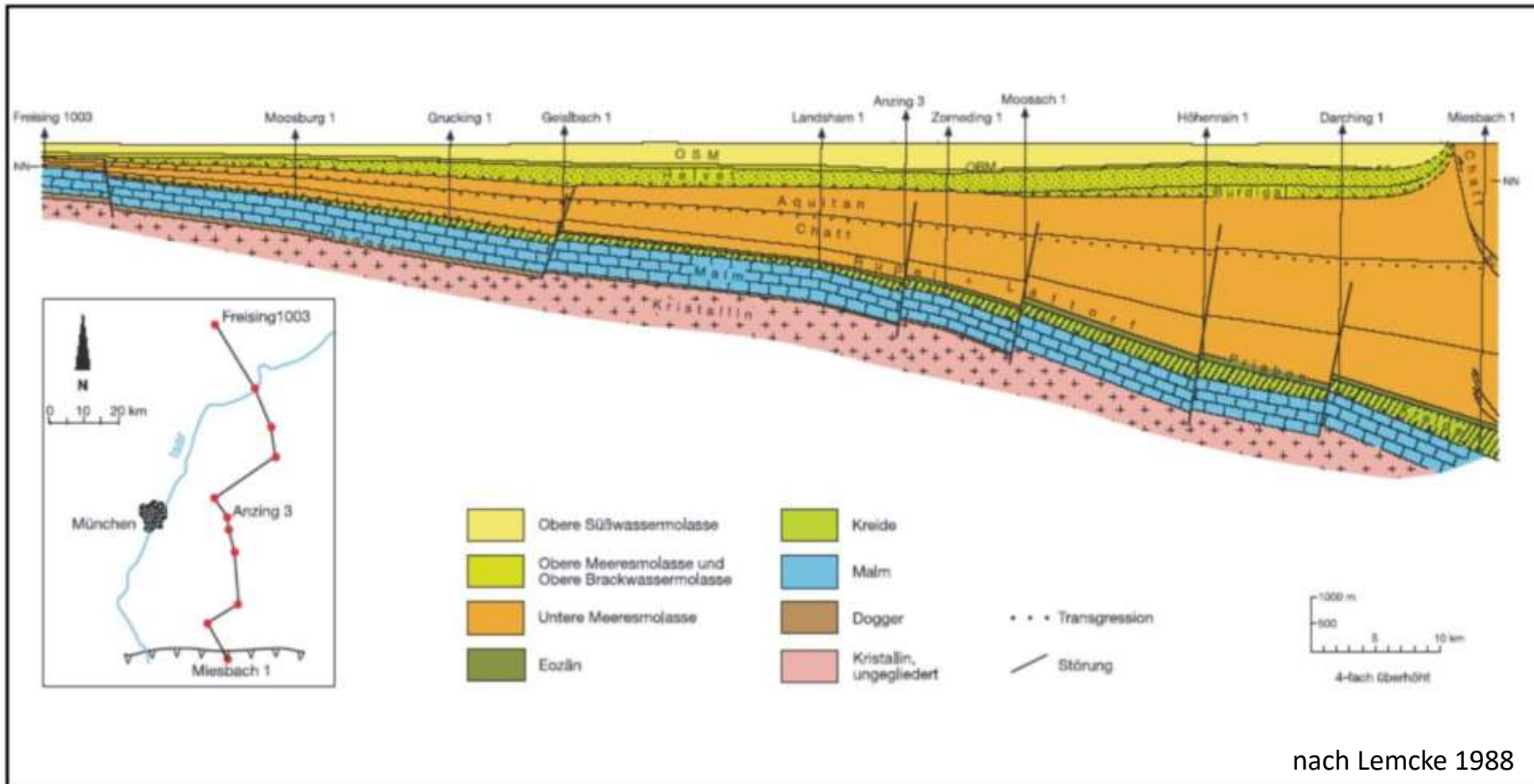


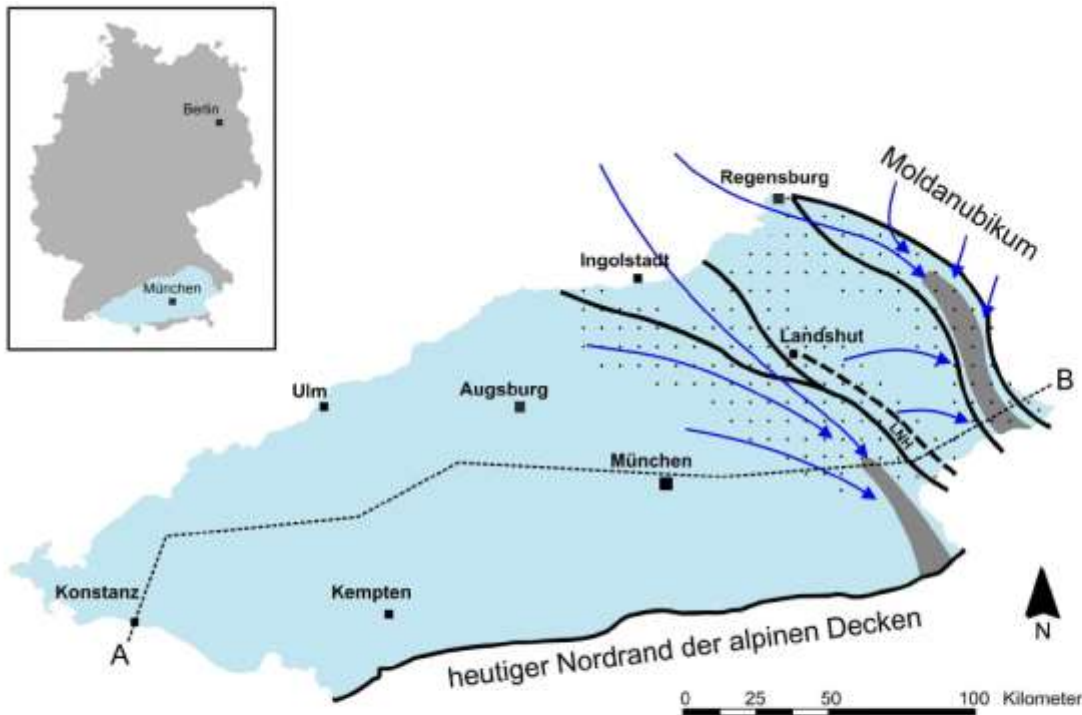
Der
Geothermie
Kongress

19.-21.11.2019 München



Schnitt durch das Molassebecken: tief liegende Aquifere

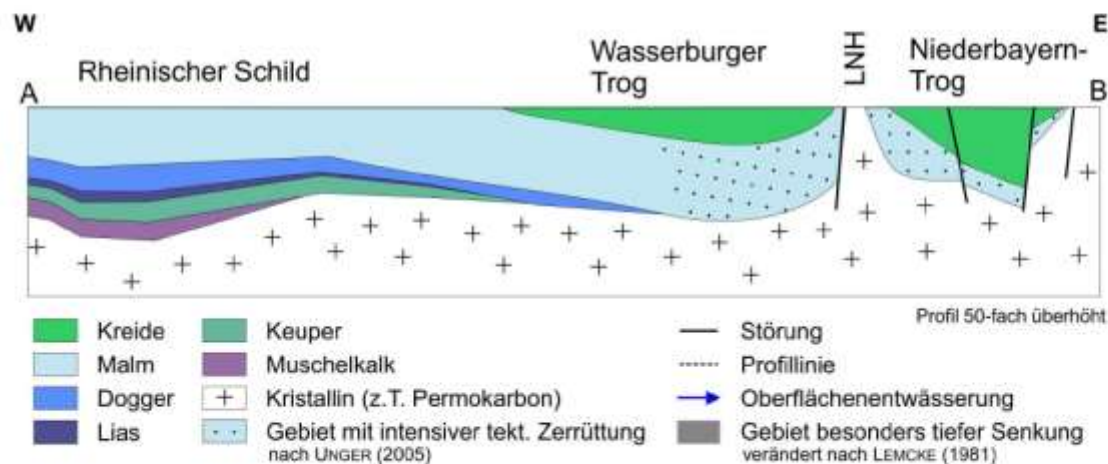




Paläohydrologie des Süddeutschen Molassebeckens in der Kreide

Profil nach Lemcke 1974

Schematisiertes Profil A-B



In Baden-Württemberg:

2 prätertiäre thermale Aquifere:

- Oberjura (Malm)
- Oberer Muschelkalk (ku, **mo**, mm)

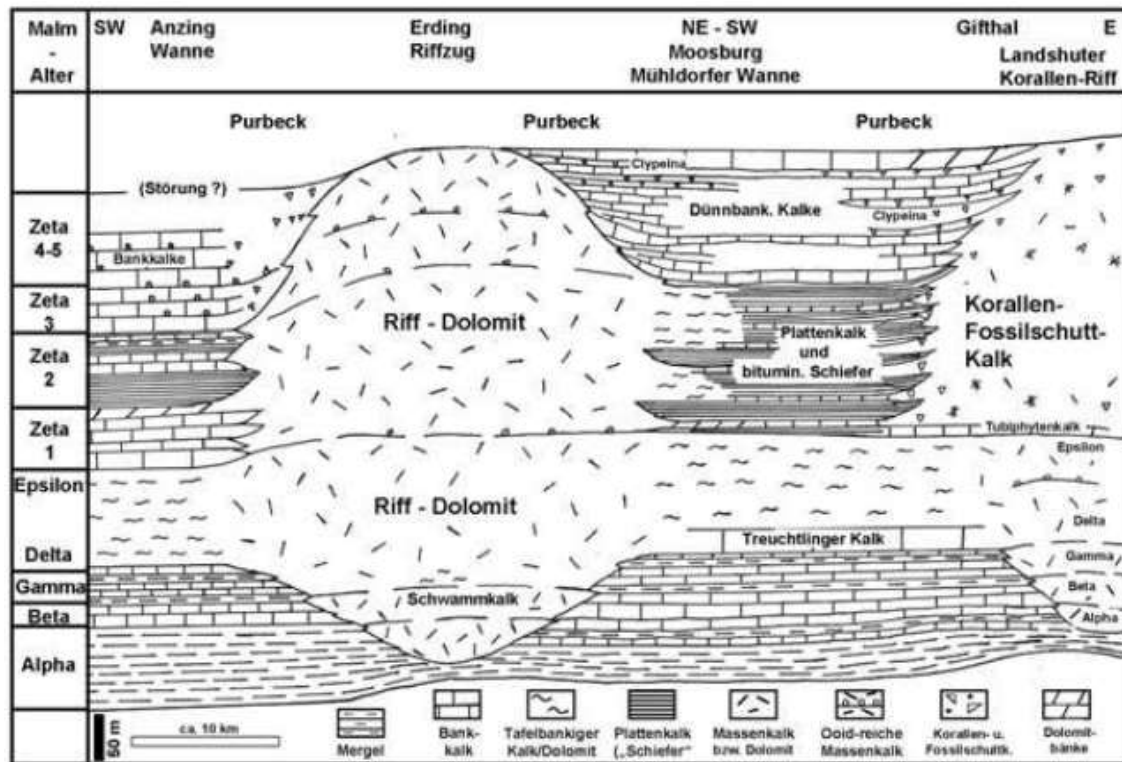
In Bayern:

2 prätertiäre thermale Aquifere:

- Kreide
- Oberjura (Malm)

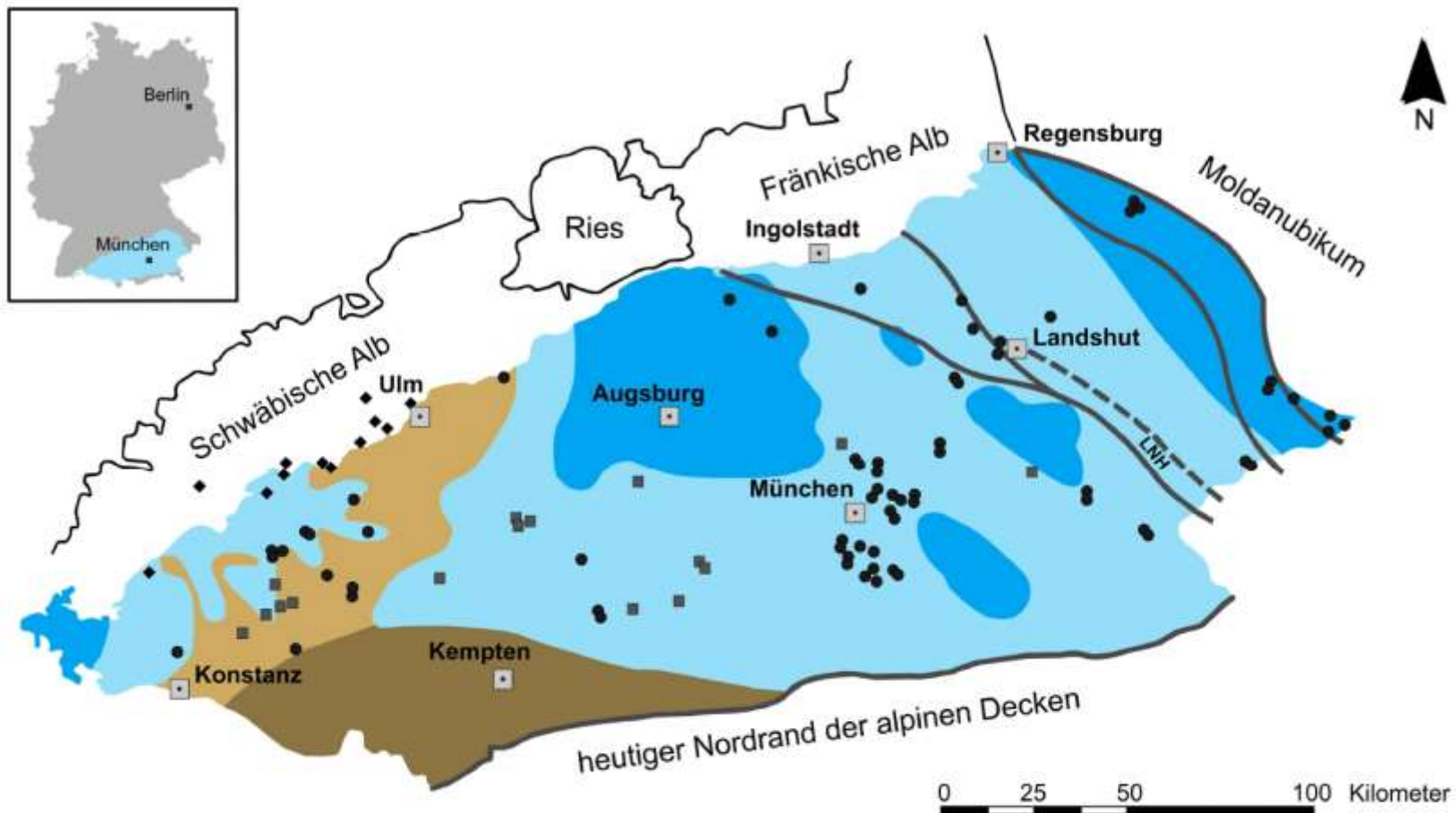
Oberjura (Malm): Riff-Fazies und gebankte Fazies

Mit höherer Durchlässigkeit in der Riff-Fazies



Mayer 1994





Faziesverteilung Malm δ 1+2 (Mittel-Kimmeridge, unterer Teil) nach MEYER & SCHMIDT-KALER (1996)

Riff-Massenfazies	Schwäbisches Mergelbecken	Störung
Bank-Fazies	Übergang ins Helvetische Becken	östlicher Rand des LNH Landshut-Neuöttinger Hoch

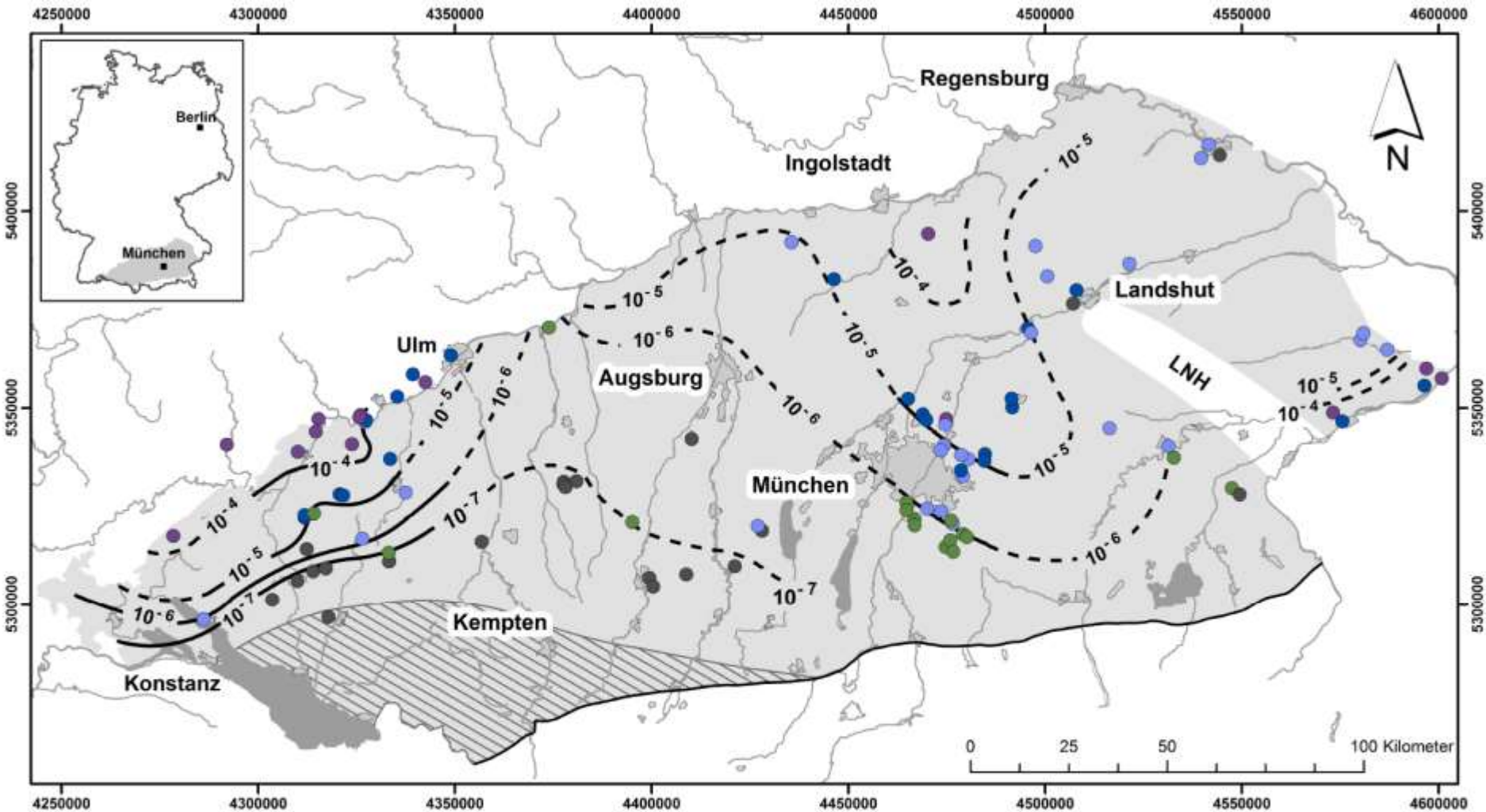
Datengrundlage der hydraulischen Charakterisierung

Erdgas- / Erdölbohrung	Thermalwasserbohrung	Wasserbohrung (T<20°C)
------------------------	----------------------	------------------------

Birner et al. 2012

Gebirgs- Durchlässigkeiten T/H (m/s) Malmaquifers

nicht fündige Bohrungen:
T/H << 10⁻⁷ m/s



Legende

Gebirgsdurchlässigkeit T/H [m/s] aus Bohrlochinformationen

GW-Leiter

- 10⁻⁴ bis 10⁻³
- 10⁻⁵ bis 10⁻⁴
- 10⁻⁶ bis 10⁻⁵

GW-Geringleiter

- 10⁻⁷ bis 10⁻⁶
 - 10⁻¹¹ bis 10⁻⁷
- T/H bezogen auf
Reservoirtemperatur

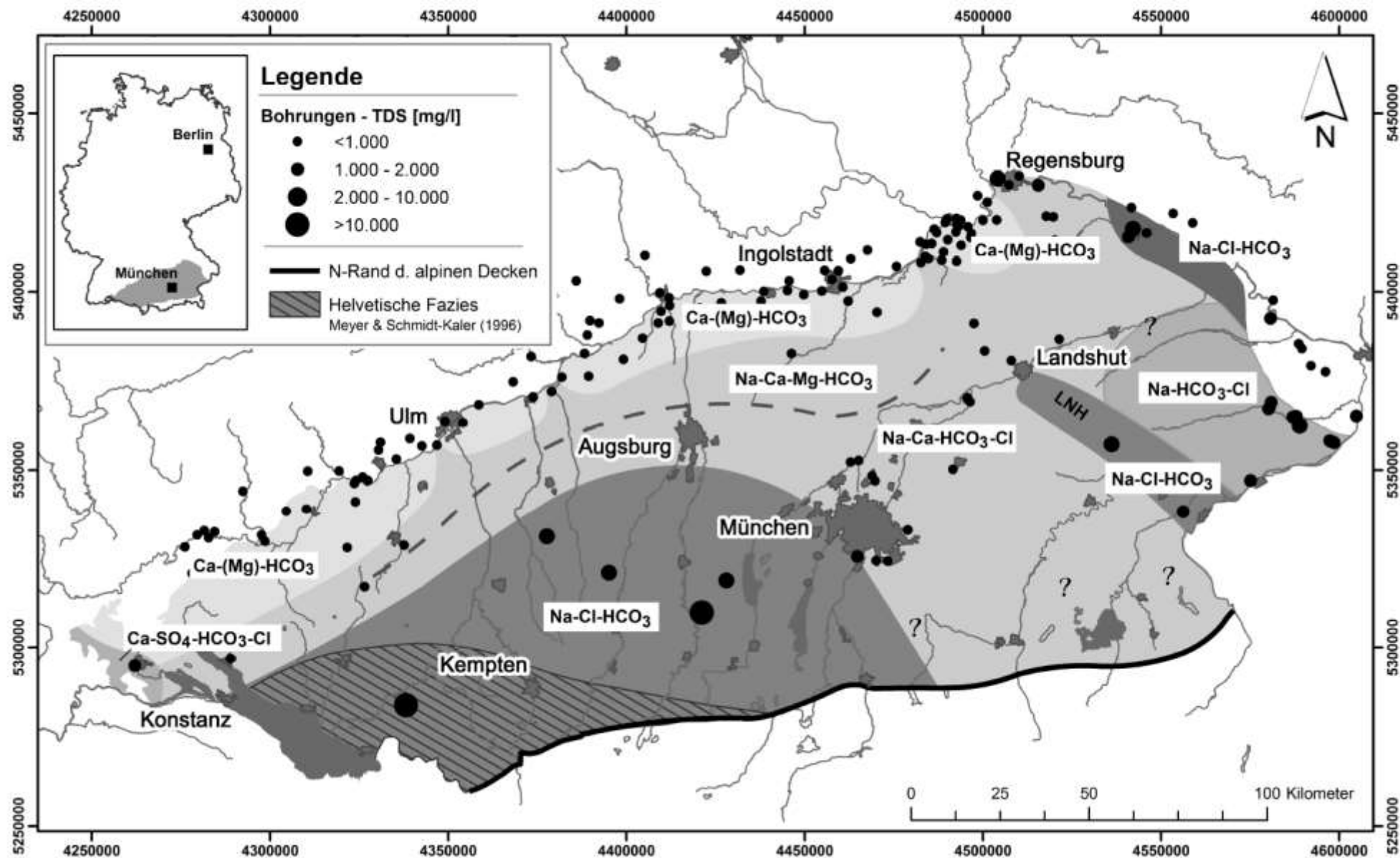
- Verbreitung des Malmaquifers im süddeutschen Molassebecken
- Verbreitung der sehr schwach durchlässigen Helvetischen Fazies nach Meyer & Schmidt-Kaler (1996)
- Linie gleicher Gebirgsdurchlässigkeit [m/s]
- Linie gleicher Gebirgsdurchlässigkeit [m/s] (vermutet)

- Siedlungsfläche
- Seefläche
- Fließgewässer
- Nordrand der alpinen Decken

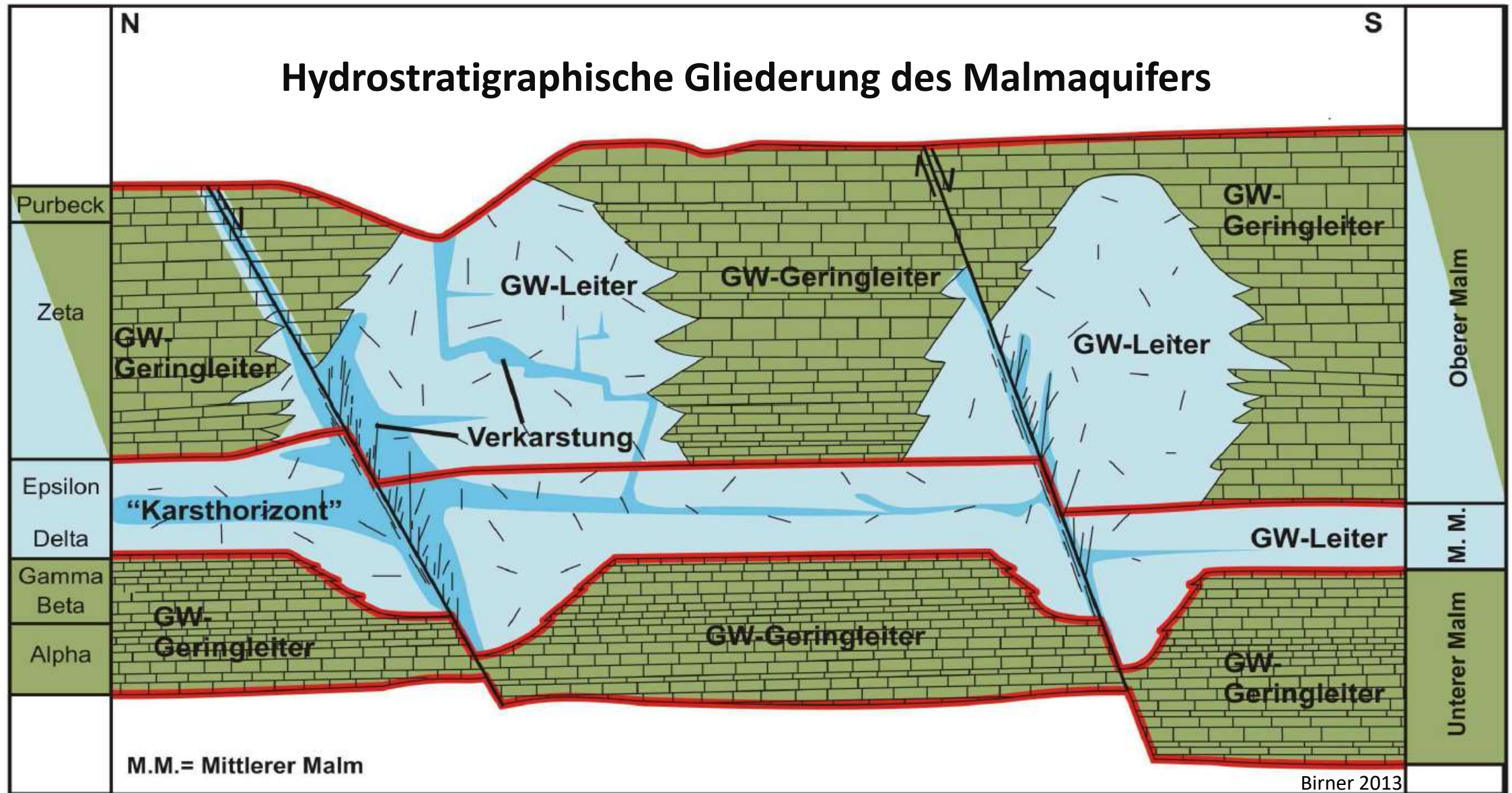
Birner et al. 2012

Wassertypen Malmaquifer (Hydrochemie)

Gestrichelt: etwa Verlauf
der Grundwasserscheide
nach Frisch & Huber 2000

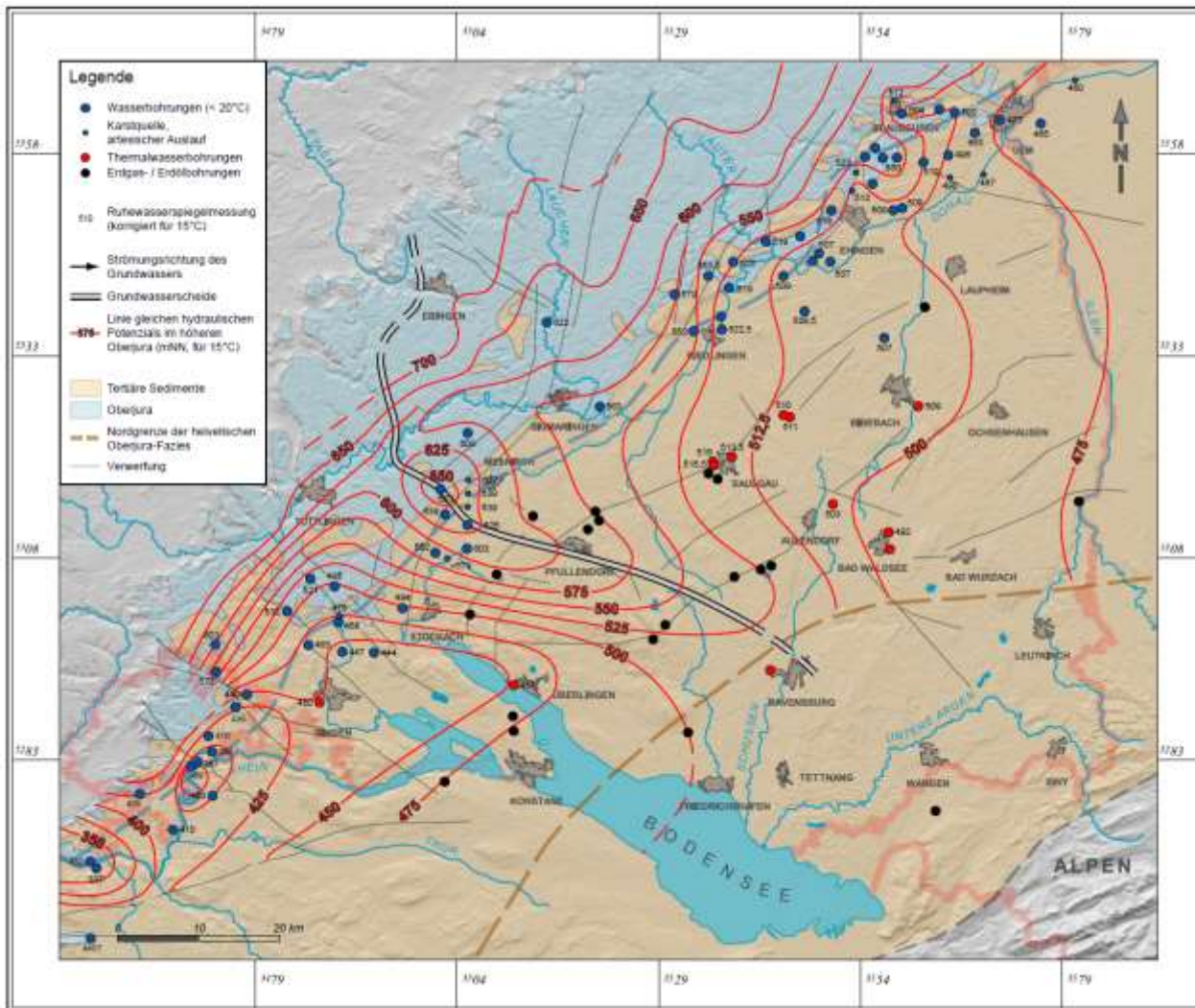


Birner et al. 2012

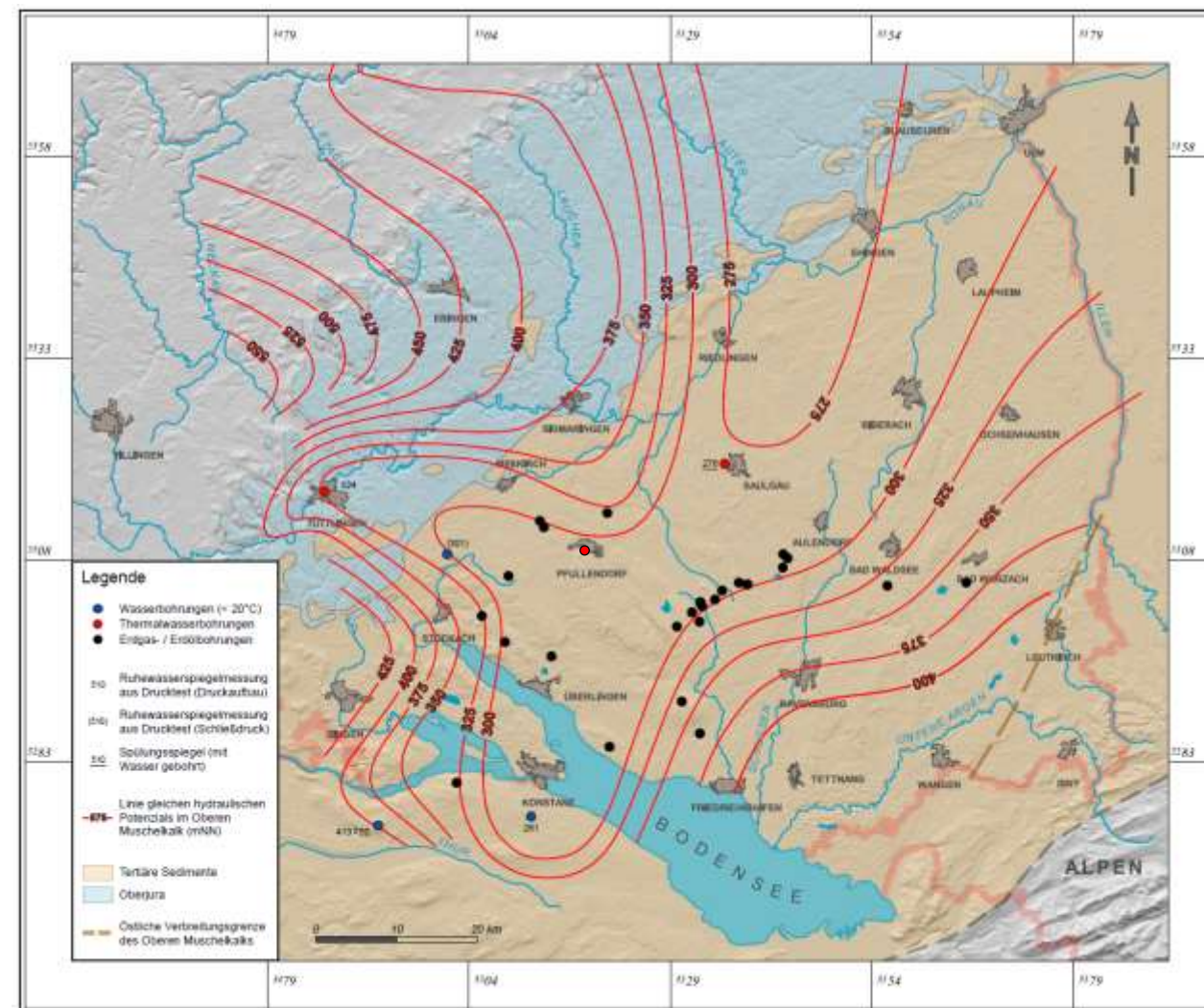


Tiefe thermale Karbonatgestein-Aquifere im westlichen Teil des Molassebeckens

Grundwassergleichen (p-/T-korrigiert)

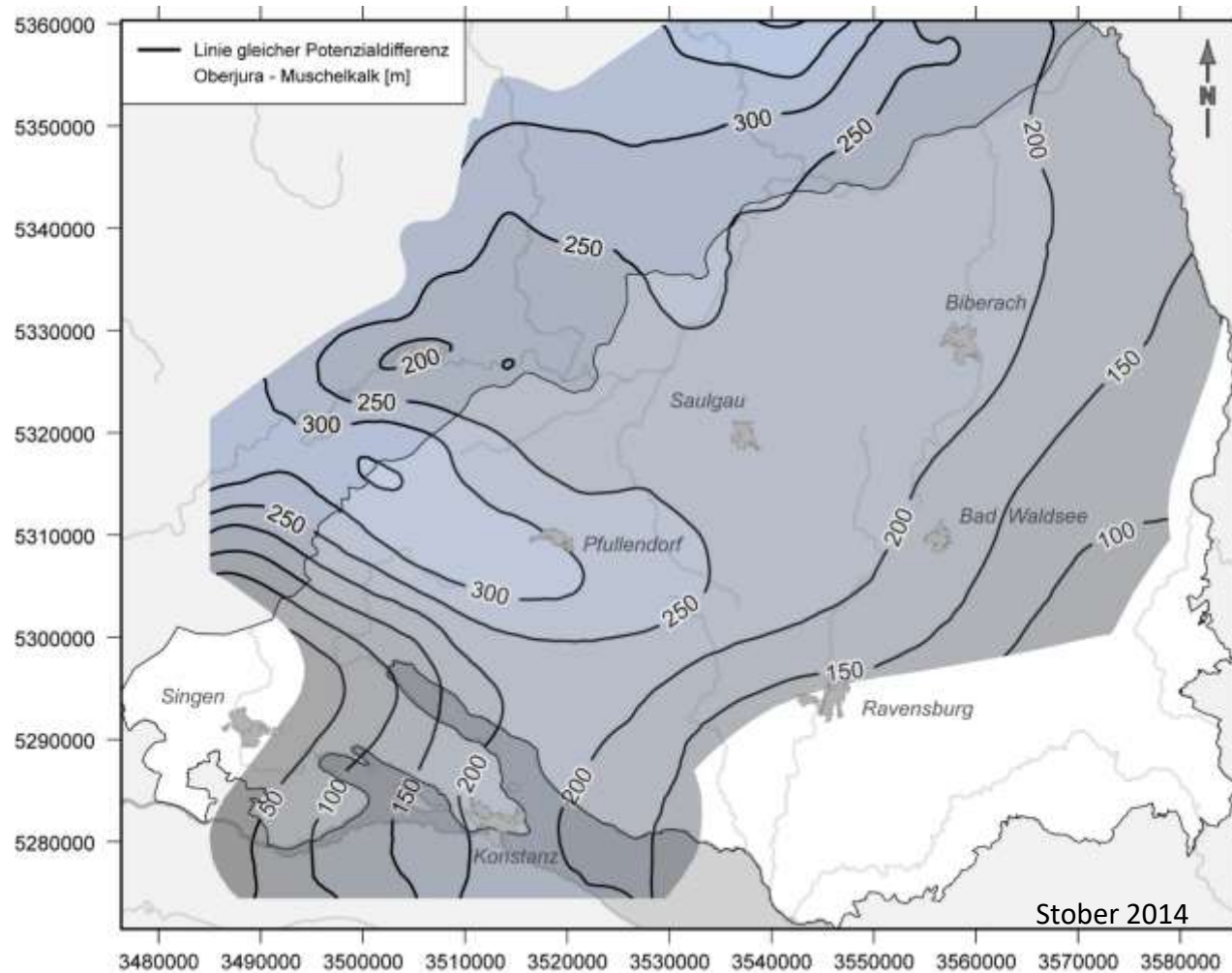


Oberjura (Malm)



Oberer Muschelkalk

Potential-Differenzen Karte zws. Oberjura (Malm) und Oberem Muschelkalk



Die beiden Aquifere scheinen hydraulisch voneinander entkoppelt.

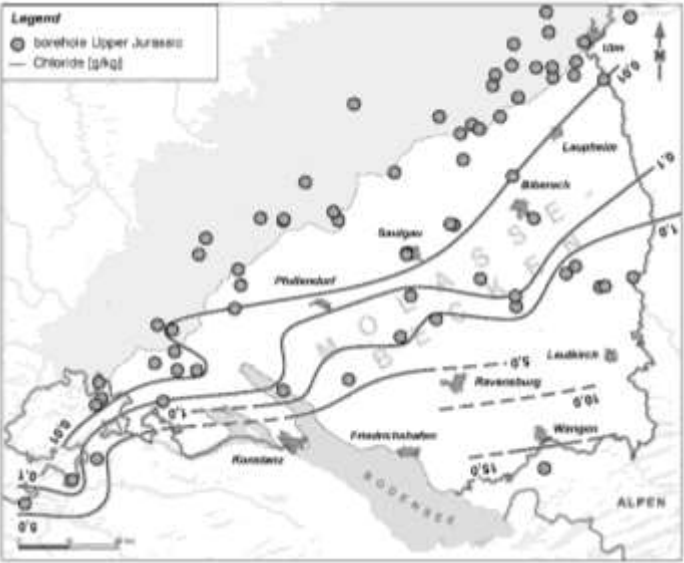
Das zeigt auch die Hydrochemie.



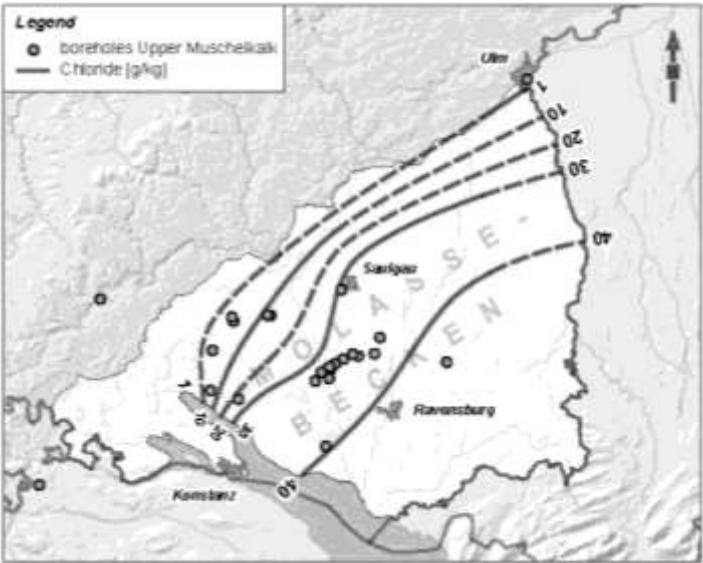
Verkarsteter Oberer Muschelkalk

Tiefe thermale Karbonatgestein-Aquifere im westlichen Teil des Molassebeckens

Hydrochemie - Wassertypen

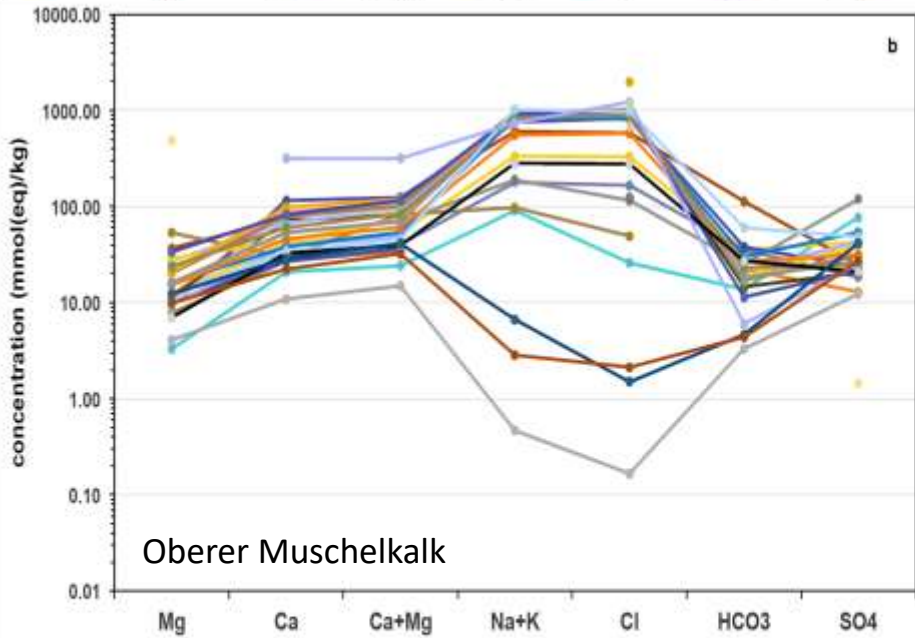
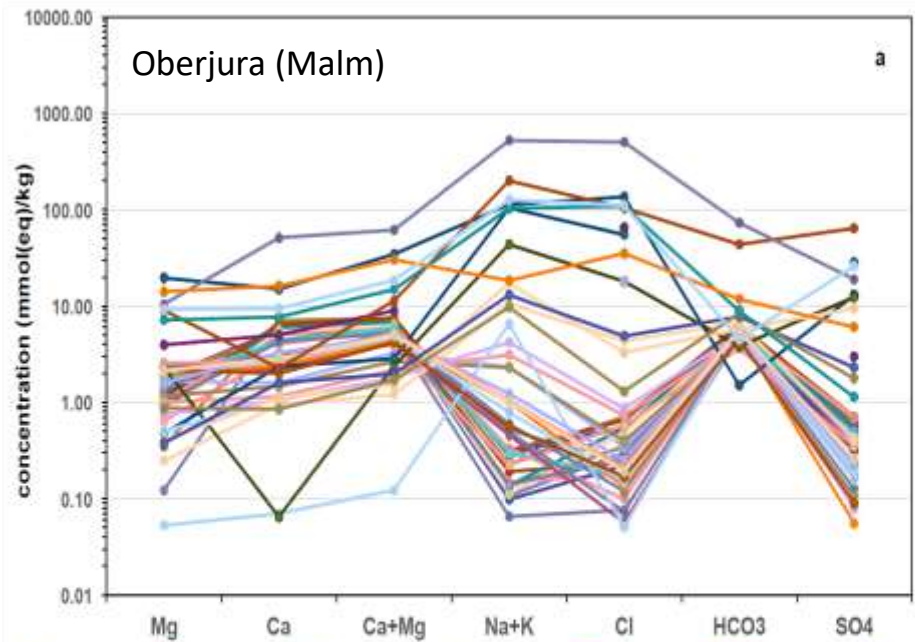


Oberjura (Malm)

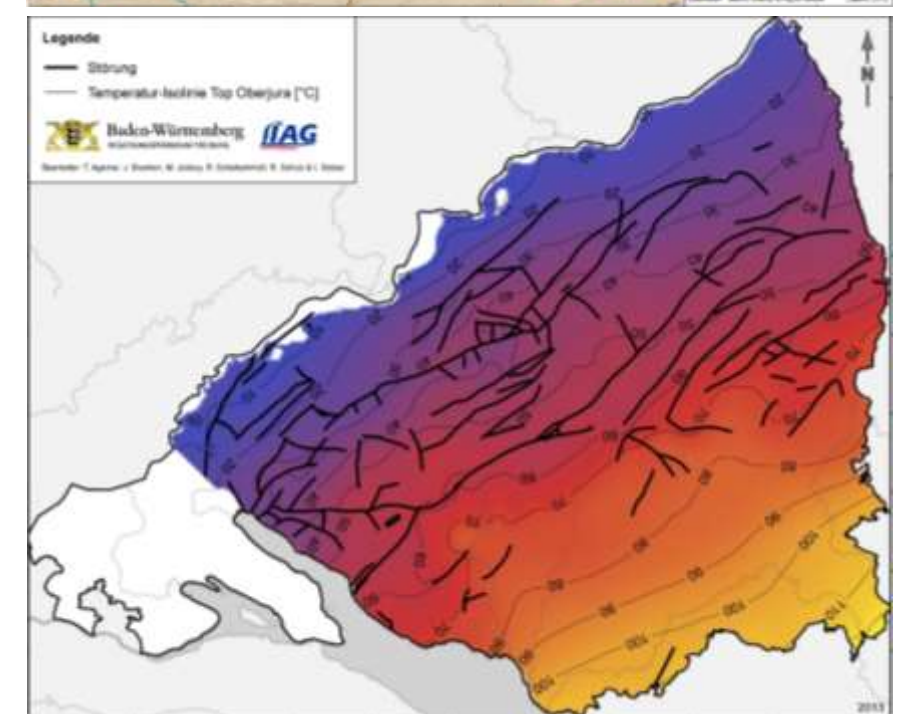
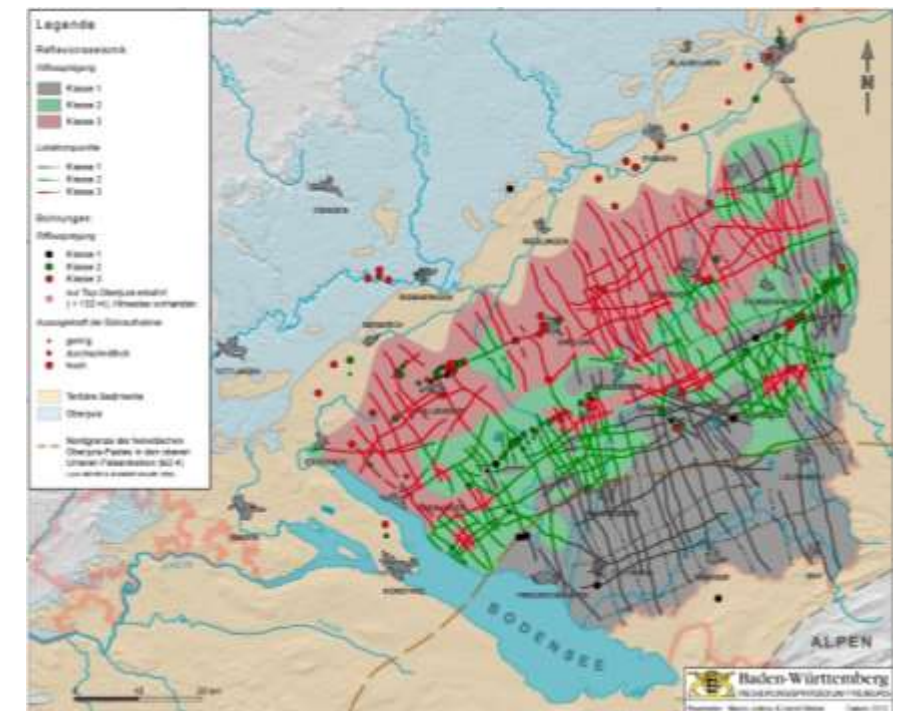
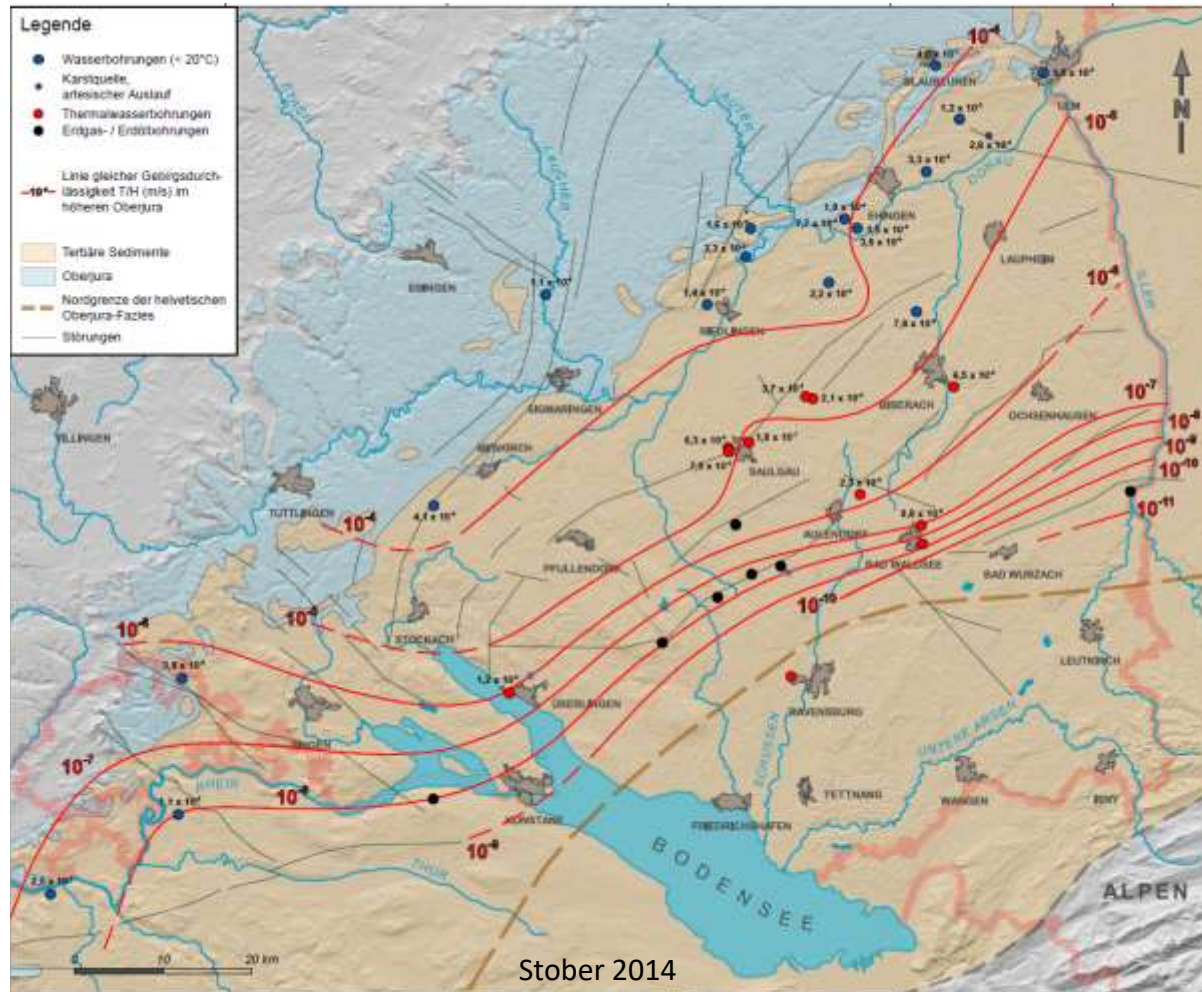


Oberer Muschelkalk

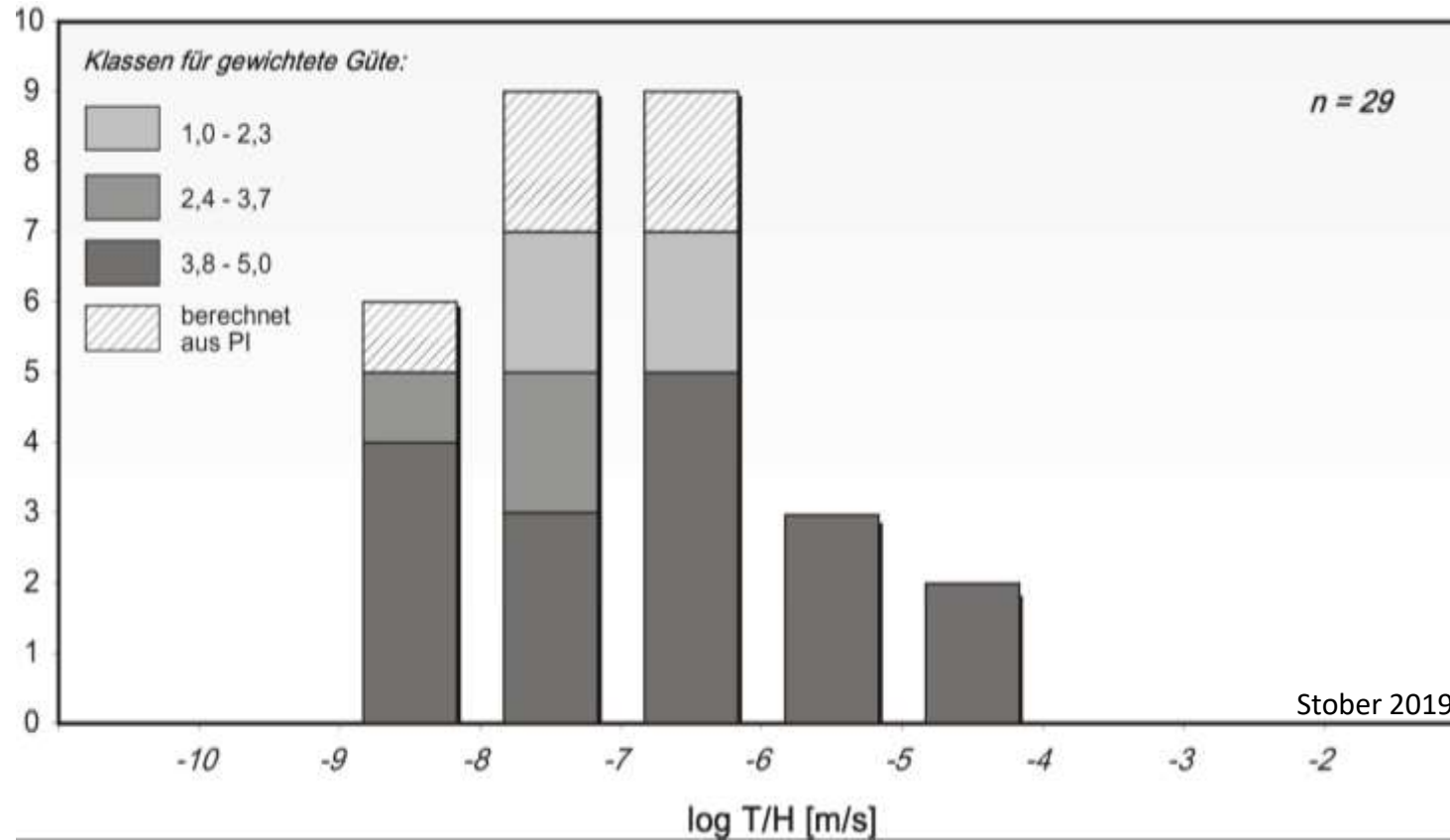
Stober 2014



Durchlässigkeiten T/H (m/s) und Temperaturen im Oberjura (Malm) von BW

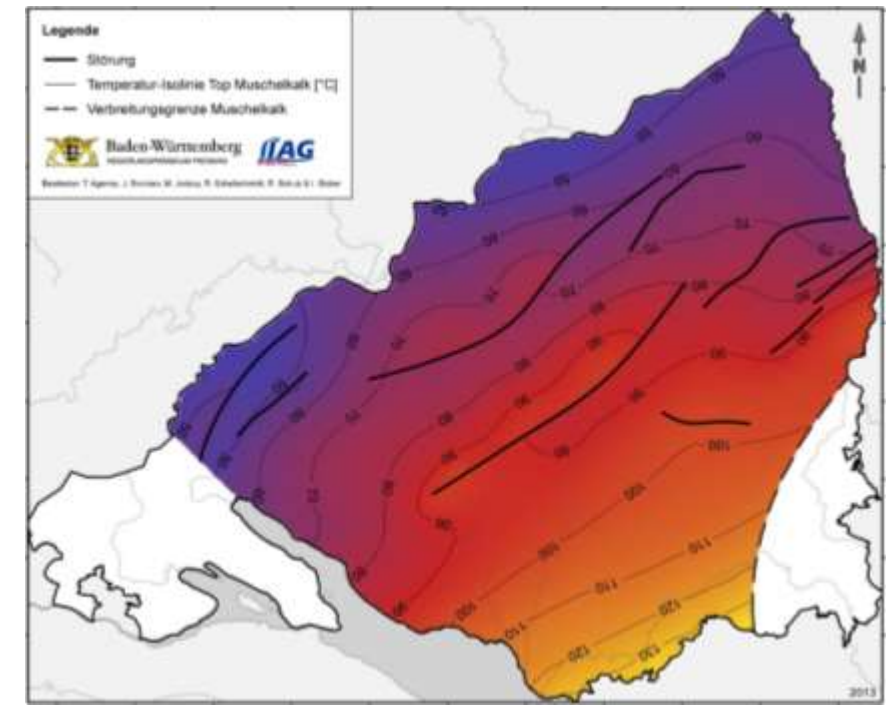
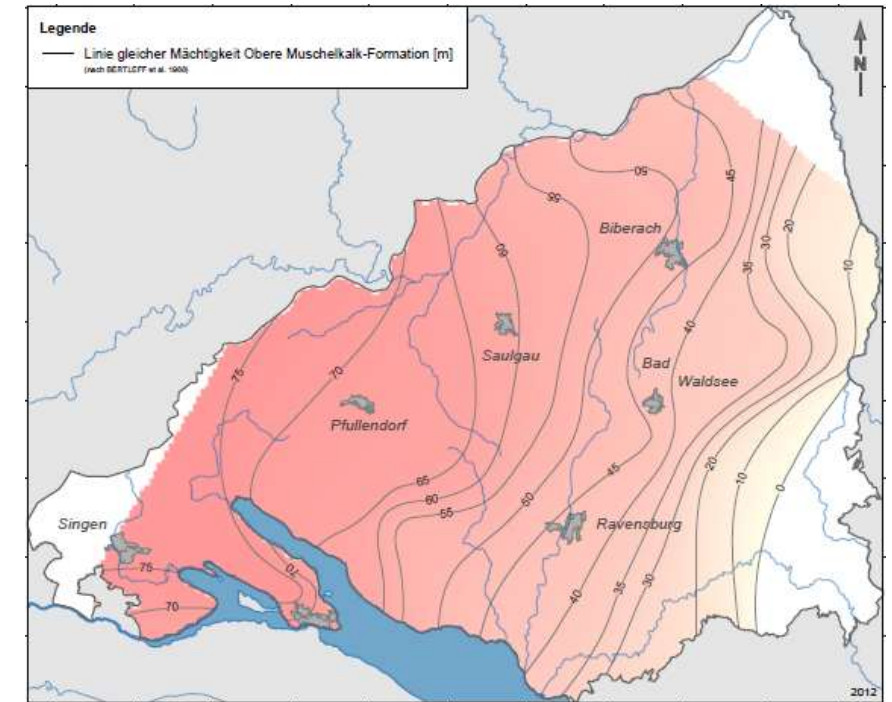


Durchlässigkeiten T/H (m/s) und Temperaturen im Oberen Muschelkalk Komplex von BW



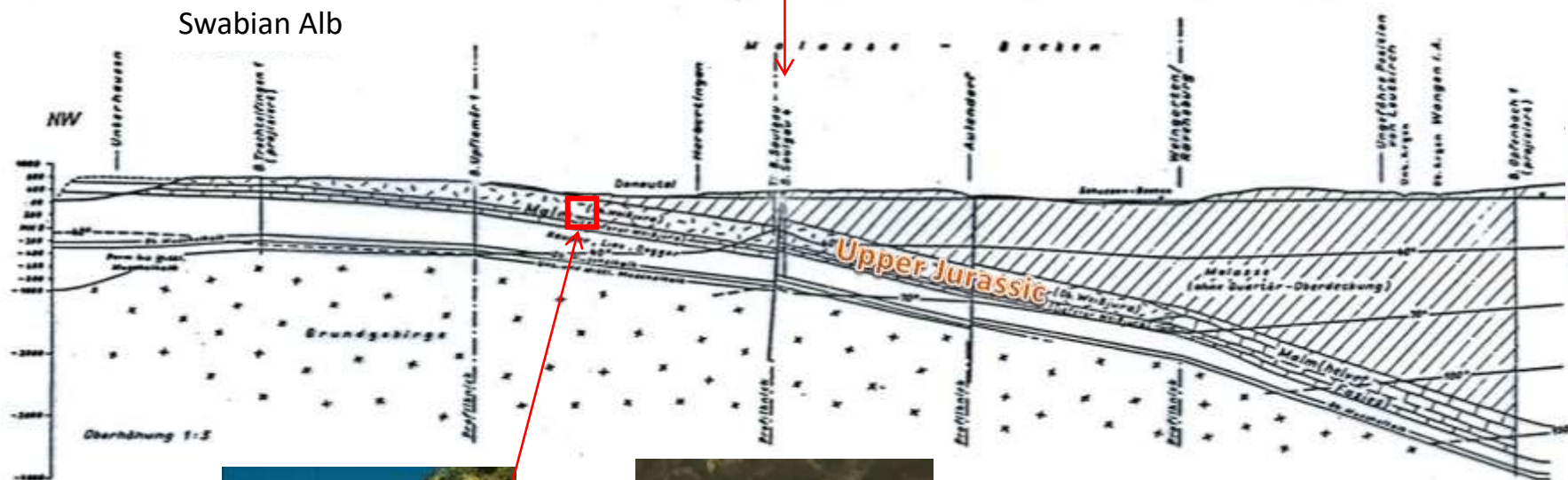
Neue Geothermieranlage zur Beheizung der Staufer-Kaserne Pfullendorf (Generaloberst-von-Fritsch):

2 ca. 1.500 m tiefe Bohrungen, Abstand: 850 m, 78°C, TDS = 39 g/kg

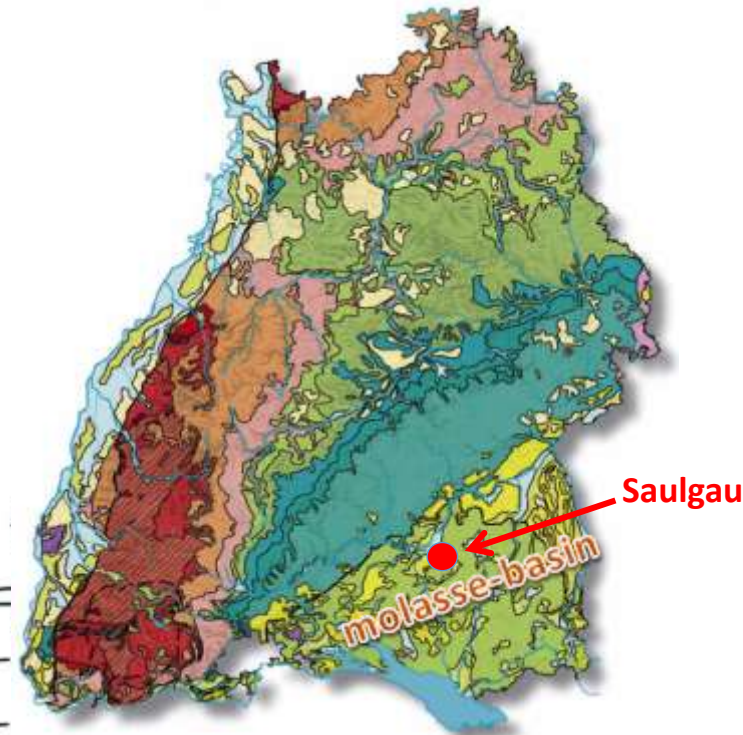


Tracer test between 2 geothermal wells in the Upper Jurassic

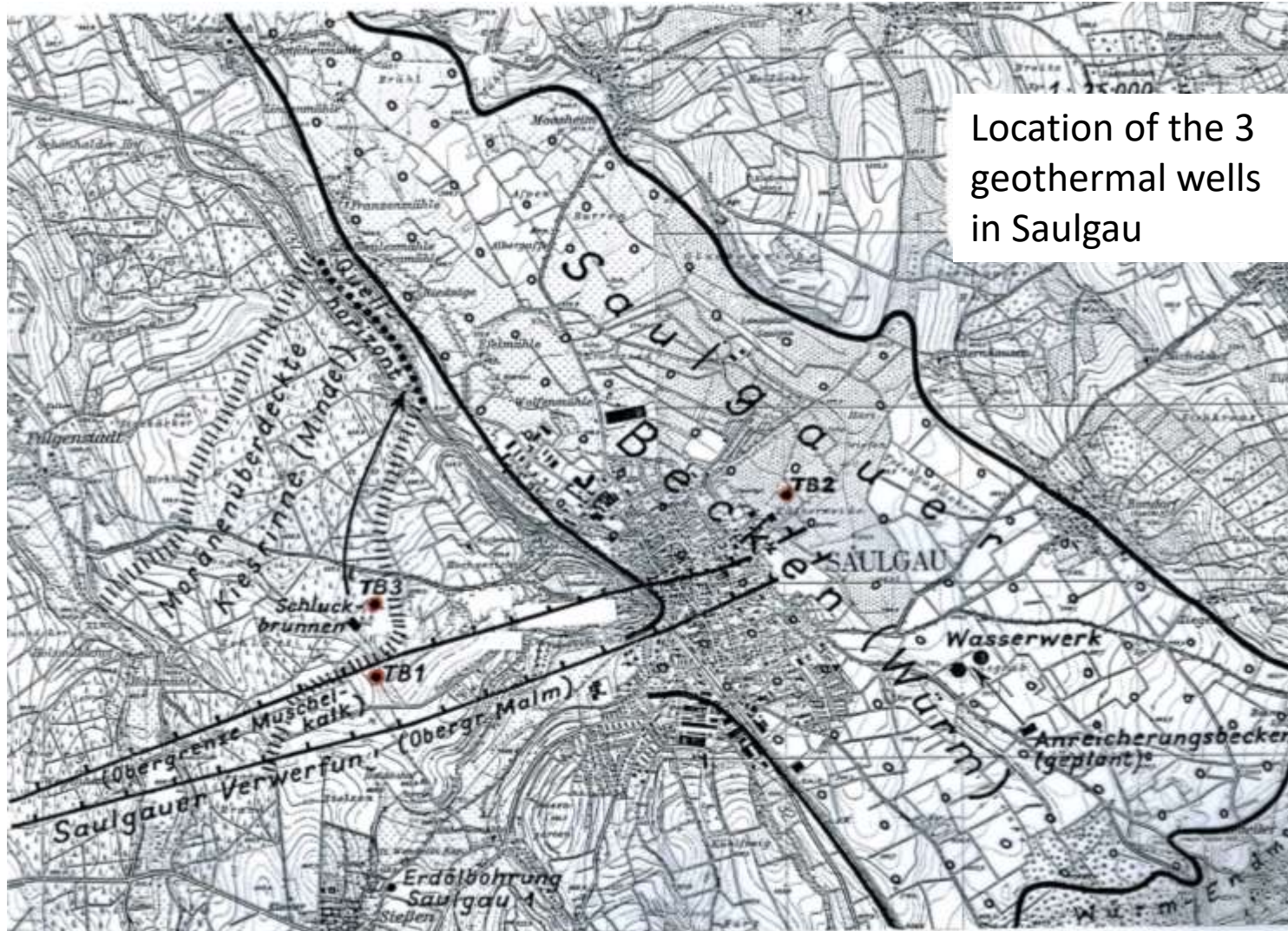
Saulgau wells:
temperature
~ 42°C, H = 35 m



Strongly enlarged
lead cast of a pore
of a sandstone

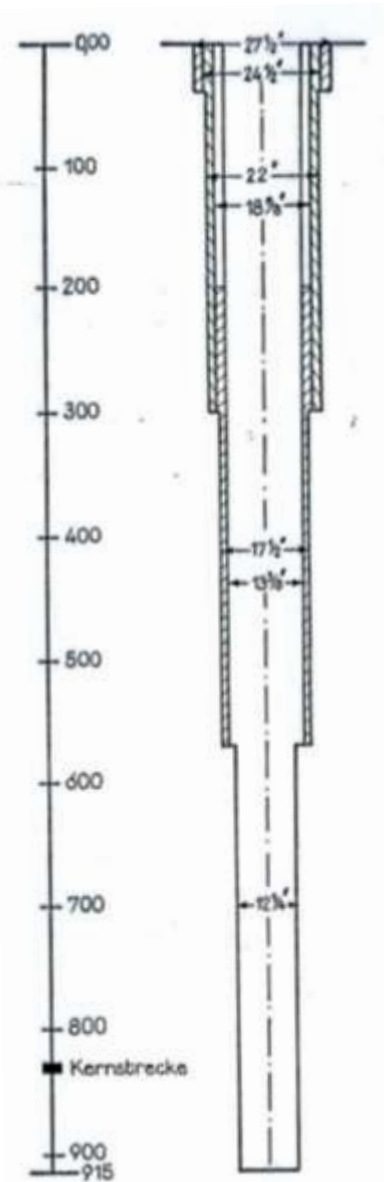


Cross section through the
molasses-basin in SE direction

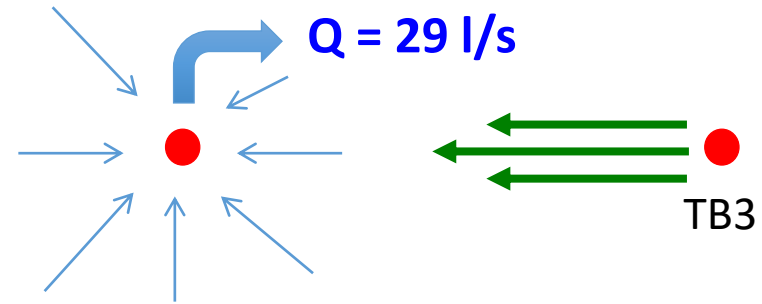


The tracer test was carried out between the wells TB1 and TB3
distance: 430 m, depth: 650 m

TB1



Performance of the tracer test



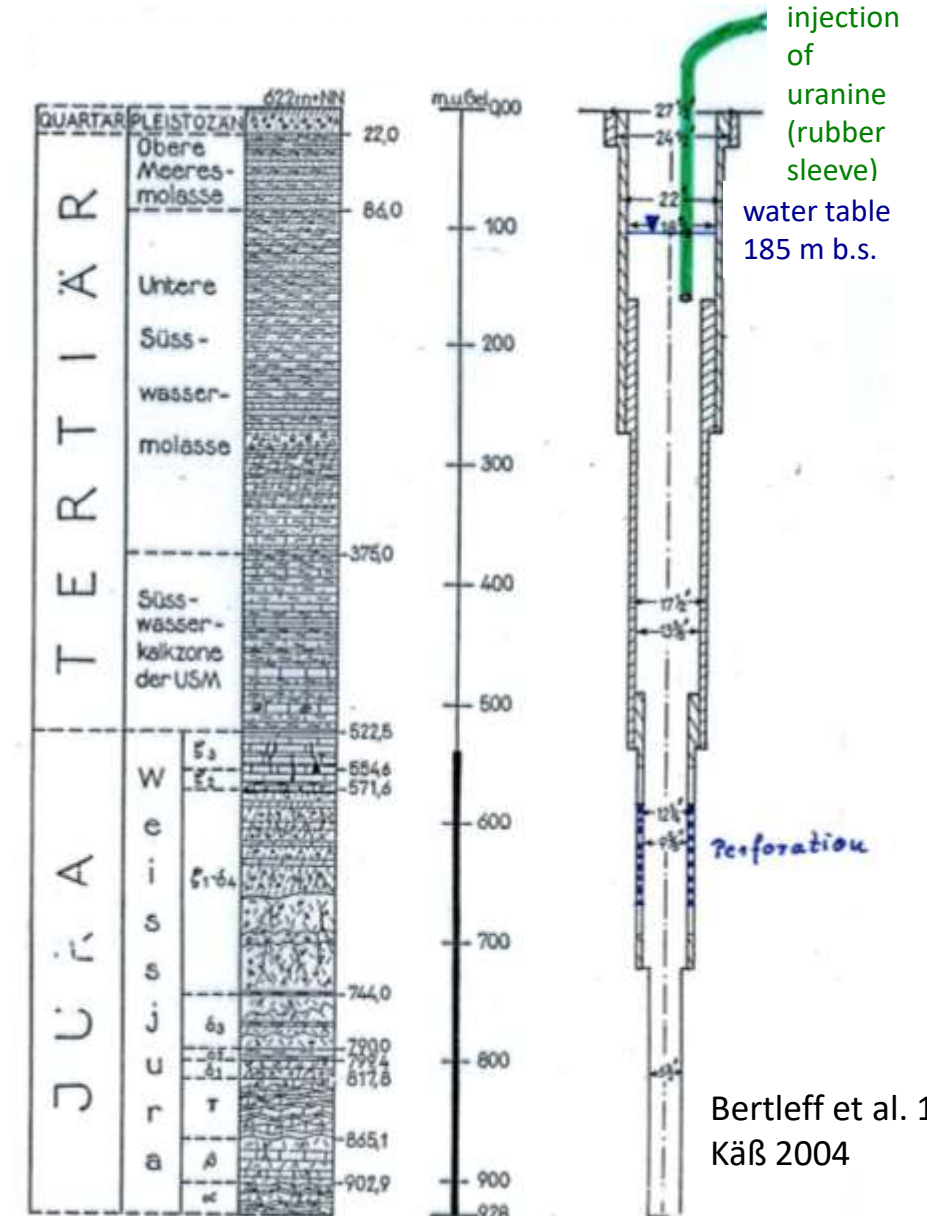
TB1

brief tracer input:
2 kg uranine,
5/10/1982

radial
convergent
flow

$r = 430 \text{ m}$

TB3

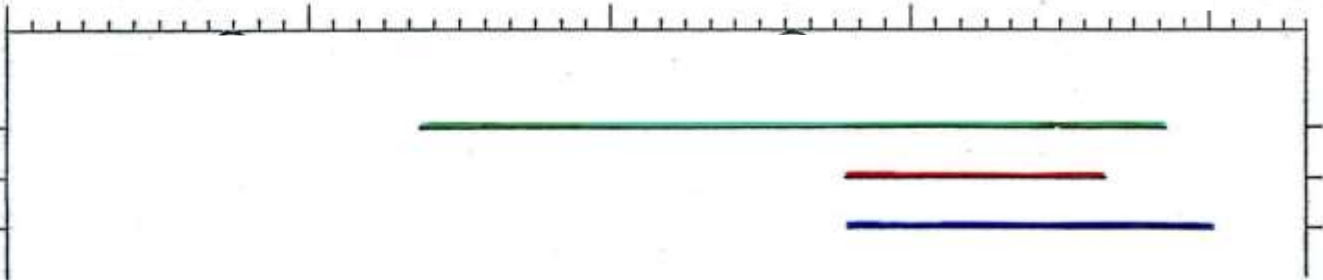


Bertleff et al. 1988
Käß 2004

Tracer tests in the borehole Saulgau TB3, to exclude a thermal shortcut

tracer tests in TB3

Uranin
Eosin
Tritium

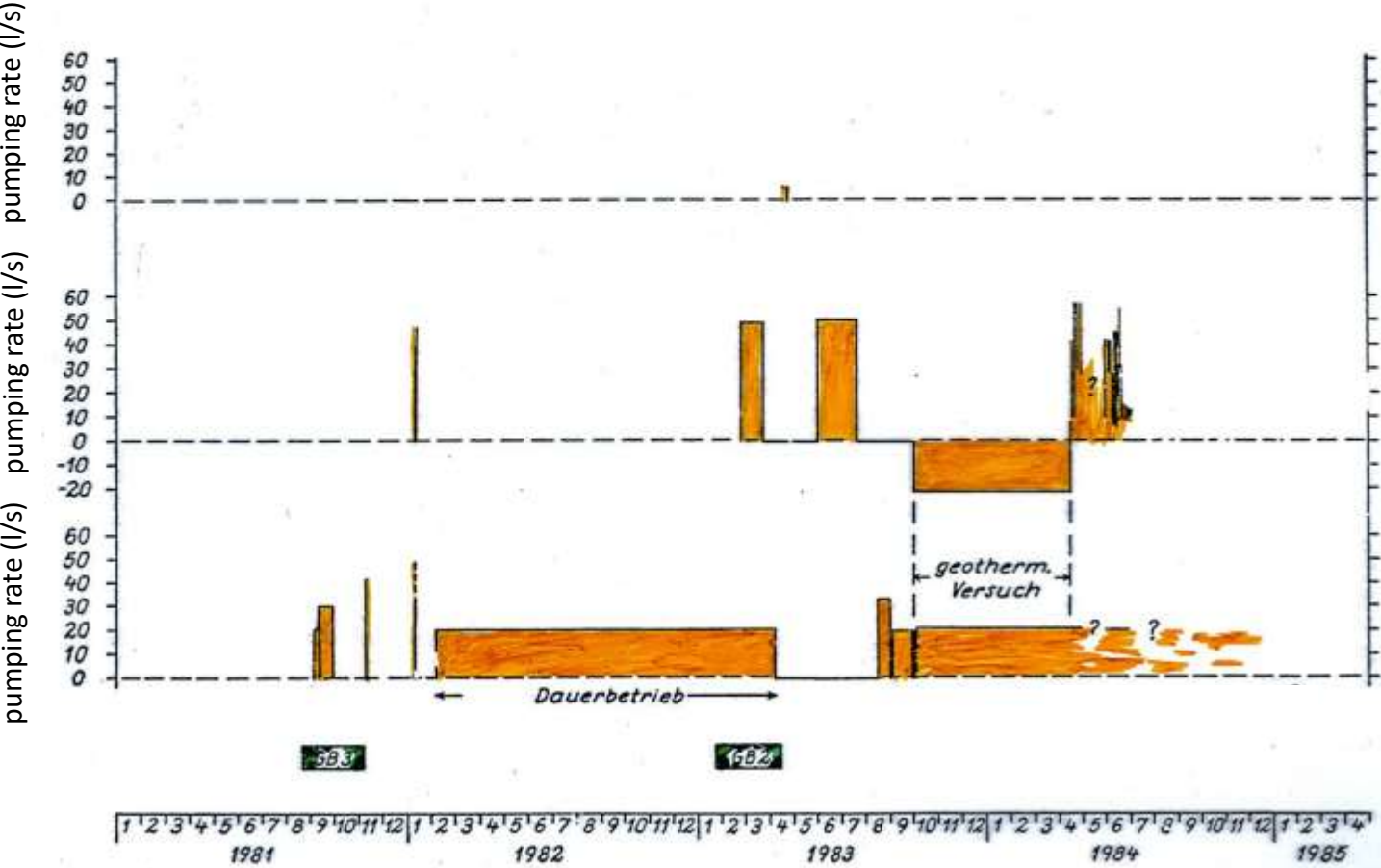


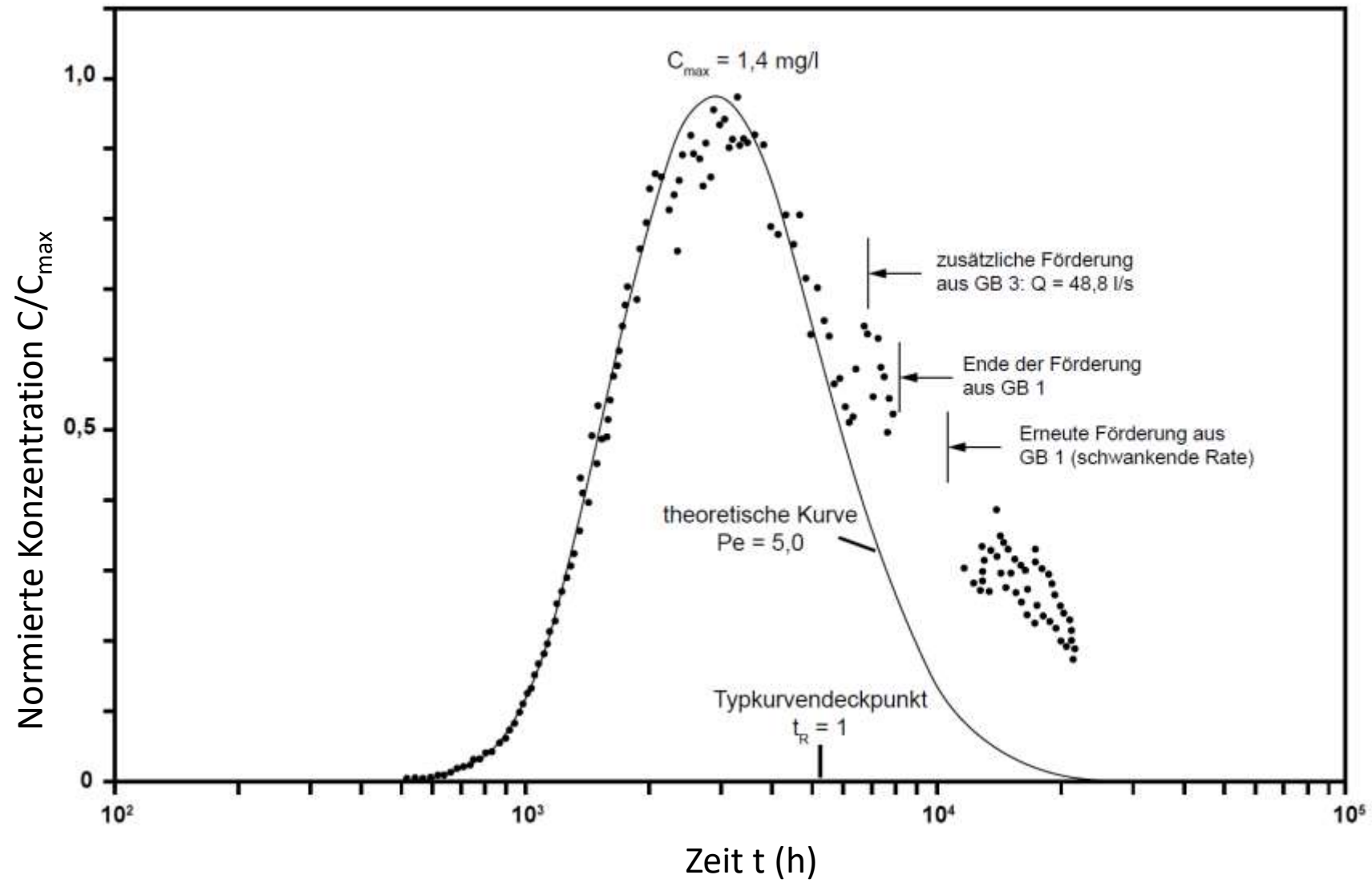
Pumpversuche

TB 2

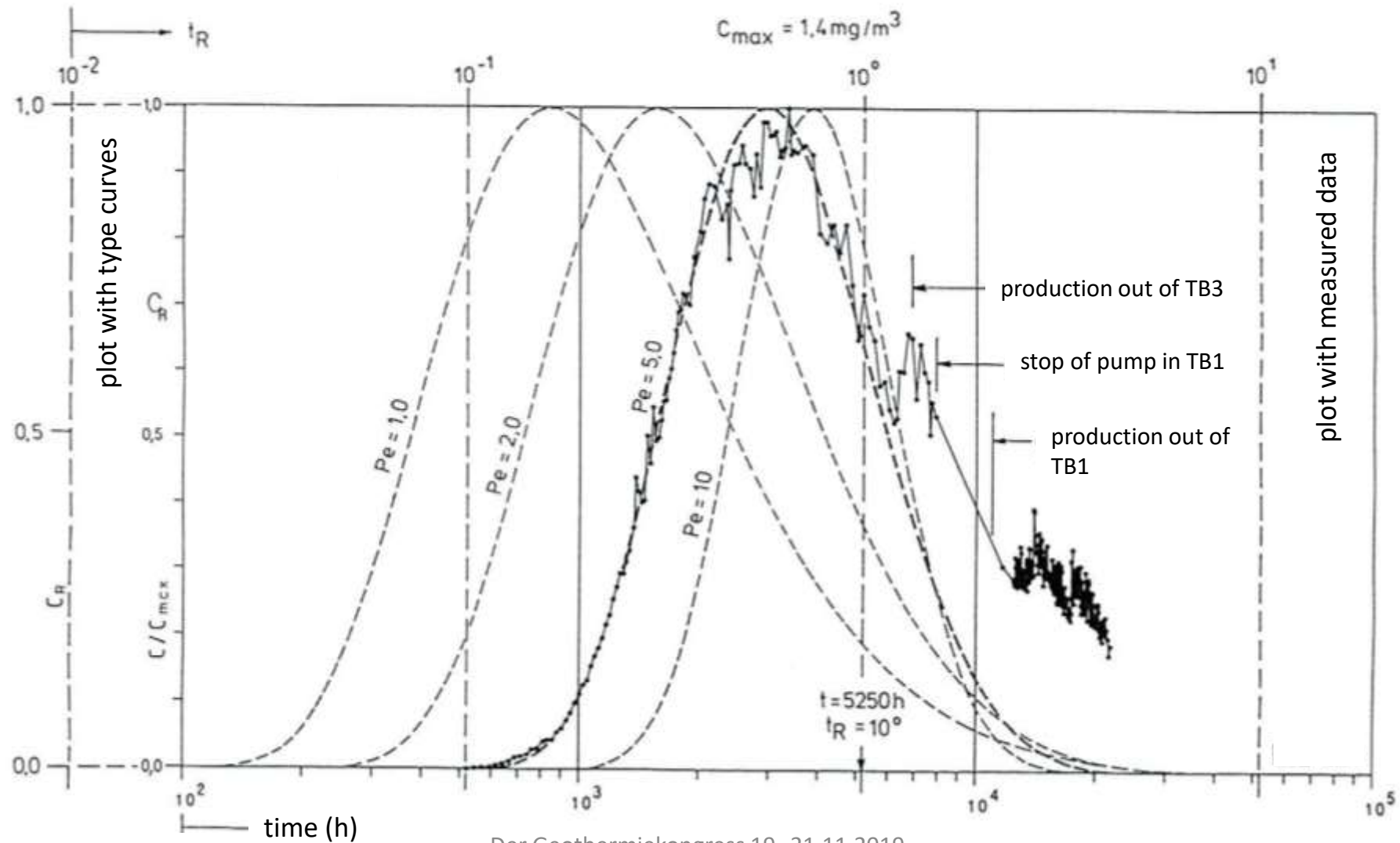
TB 3

TB 1





Fitting the measured data with type curve (radial convergent flow field)



Determination of aquifer parameters using type curves

convection time (t_K)

$$t_K = t/t_R = 5.25 \cdot 10^3 \text{ h} / 1 = 5.25 \cdot 10^3 \text{ h}$$

effective porosity (n_e)

$$n_e = (t_K Q) / (\pi r^2 H) = 0.027 = 2.7\%$$

$$Q = 29 \text{ l/s}$$

$$H = 35 \text{ m}$$

$$r = 430.5 \text{ m}$$

effective velocity (u)

$$u = Q / (2 \pi r H n_e) = 1.14 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} = 0.98 \text{ m/d}$$

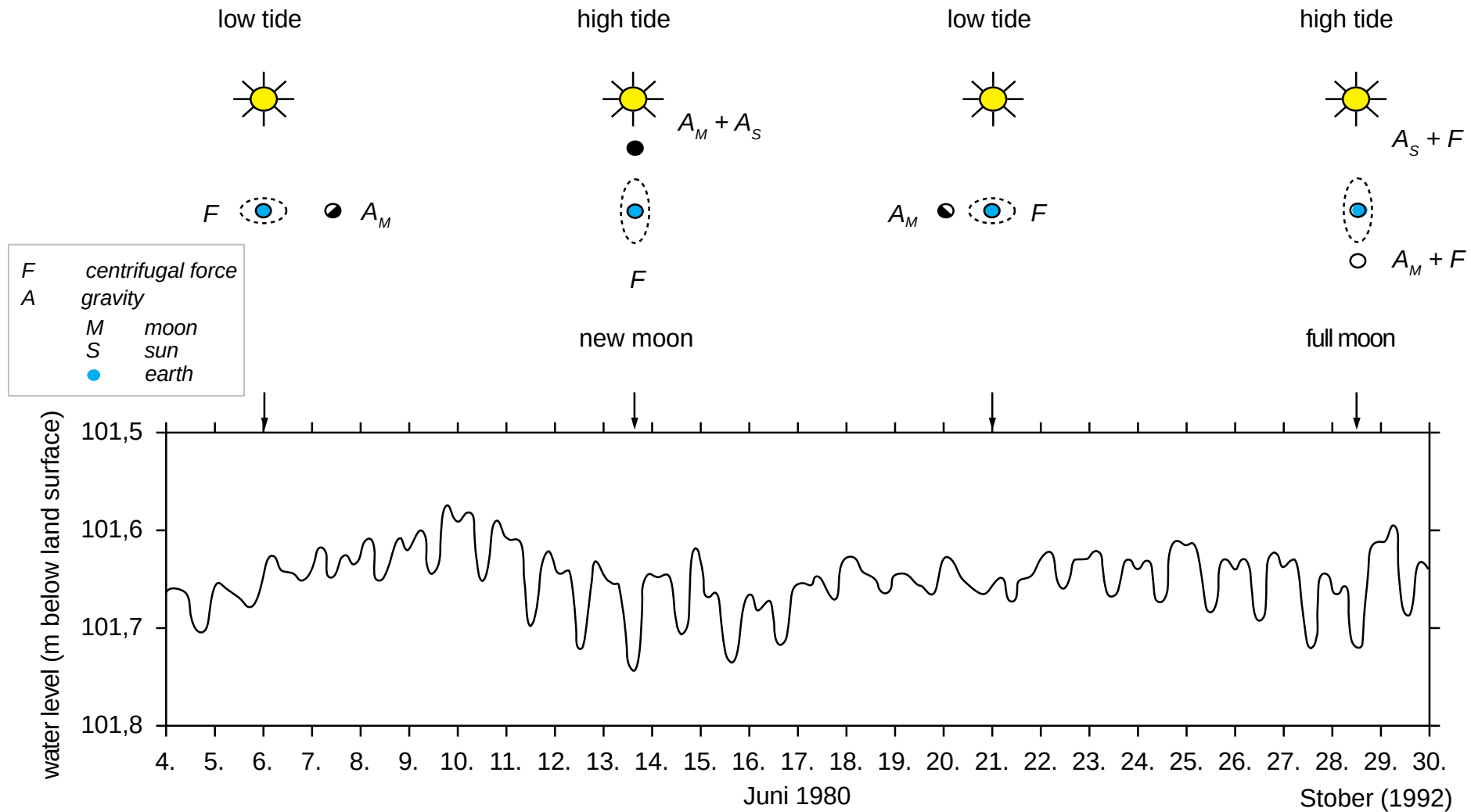
longitudinal dispersion (D_L)

$$D_L = u r / Pe = 9.78 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

longitudinal dispersivity (α_L)

$$\alpha_L = D_L / u = 85.8 \text{ m}$$

Groundwater table is not constant



Daily groundwater table fluctuations due to earthtides in a confined aquifer:
karstified Upper Jurassic, 640 m depth, TB3 Saulgau

Quellen-Verzeichnis

- Bertleff, B., Joachim, H., Kozirowski, G., Leiber, J., Ohmert, W., Prestel, R., Stober, I., Strayle, G., Villinger, E., Werner, J. (1988):
Ergebnisse der Hydrogeothermiebohrungen in Baden-Württemberg.- Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, H. 30, S. 27-116,
30 Abb., 6 Tab., 1 Tafel, 2 Beil., Freiburg i.Br.
- Birner, J. (2013): Hydrogeologisches Modell des Malmaquifers im Süddeutschen Molassebecken.- Dissertation Universität Berlin.
- Birner, J., Fritzer, T., Jodocy, M., Savvartis, A., Schneider, M. & Stober, I. (2012): Hydraulische Eigenschaften des Malmaquifers im
Süddeutschen Molassebecken und ihre Bedeutung für die geothermische Erschließung.- Z. geol. Wiss., 40(2-3): 133-156.
- Freudenberger, W. & Schwerd, K. (1996): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:500000. – (4 Aufl.), 67: 329 Abb., 21 Tab.,
8 Beil.; München (GLA).
- Käss, W. (2004): Geohydrologische Markierungstechnik, Lehrbuch der Hydrogeologie Bd. 9, mit Beiträgen von: H. BEHRENS, J. FRANK, K.
GRUST, TH. HIMMELSBACH, R. HOCK, P. HÖHENER, H. HÖTZL, D. HUNKELER, H. MOSER, P. ROSSI, H.D. SCHULZ, I. STOBER, A.
WERNER, 557 S., Gebrüder Bornträger Berlin u. Stuttgart.
- Lemcke, K. (1974): Vertikalbewegungen des vormesozöischen Sockels im nördlichen Alpenvorland vom Perm bis zur Gegenwart.- Eclog.
Geol. Helv., 67, 121-133.
- Lemcke, K. (1988): Das bayerische Alpenvorland vor der Eiszeit. – Geologie von Bayern I; 115 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- Meyer, R. K. F. (1994): Moosburg 4, die erste Kernbohrung durch den Malm unter der bayerischen Molasse.- Erlanger geol. Abh., 123,
51-81, Erlangen.
- Meyer, R.K.F. & Schmidt-Kaler, H. (1996): Jura. – In: Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.): Erläuterungen zur Geologischen Karte
von Bayern 1:500.000 (4.Aufl.): S.90-111; München.
- Stober, I. (1992): Die Gezeiten der Erde in ihren Auswirkungen auf das Grundwasser.- DGM, **36**, H. 5/6, 4 Abb., S.142-147, Koblenz.
- Stober, I. (2014): Hydrochemical properties of deep carbonate aquifers in the SW-German Molasse Basin.- Geothermal Energy
(doi:10.1186/s40517-014-0013-1).
- Stober, I., Jodocy, M., Hintersberger, B. (2013): Gegenüberstellung von Durchlässigkeiten aus verschiedenen Verfahren im tief liegenden
Oberjura des südwestdeutschen Molassebeckens.- Z. Dt. Ges. Geowiss.,164(4), 663-679 (DOI: 10.1127/1860-1804/2013/00033).
- Stober, I., Fritzer, T., Obst, K., Agemar, T., Schulz, R. (2016): Tiefe Geothermie - Grundlagen und Nutzungsmöglichkeiten in Deutschland. -
Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) (Eds.), 4. überarb. Aufl., 87 p., Hannover.

Information concerning the other tracer tests:

Tracer test with eosine (fluorescent tracer):

- input of 5 kg eosine in TB3 10/10/1983, brief tracer input
- during the geothermal test, e.g. injection of $Q=21$ l/s water in TB3 and production of $Q=21$ l/s water in TB1
- recover rate of the injected tracer: 52.7%
- $C_{\max} = 4.86 \text{ mg/m}^3$

Tracer test with tritium:

- by chance, due to the geothermal test, e.g. injection of surface water in TB3, continuous tracer input
- surface water is enriched with tritium, deep thermal water is tritium free
- input $^3\text{H} = 36.1 \pm 4.1 \text{ TU}$
- $C_{\max} = 10.2 \pm 0.8 \text{ TU}$

Measured Tritium concentrations (in TB1)
during the geothermal test (injection in GB3, production of TB1)

