

**Leibniz-Institut für  
Angewandte Geophysik  
Hannover**

**Fachinformationssystem Geophysik:  
Änderung der BHT-Korrekturverfahren für einfach belegte Messungen**

Sachbearbeiter: Dr. Thorsten Agemar

Berichtsdatum: 14.11.2017

Archivnummer: 0135259

## Änderung der BHT-Korrekturen

Zur Erstellung von Temperaturkarten und 3D-Temperaturmodellen werden neben gestörten und ungestörten Temperaturlogs, Lagerstättentemperaturen und Fördertests auch Einzelmessungen im Bohrloch tiefsten verwendet. Diese sog. *Bottom Hole Temperatures* (BHT) werden in fast allen Industriebohrungen, unmittelbar nach Einstellen der Bohrarbeiten, ausgeführt und sind durch den Bohrvorgang (Spülungsumlauf) thermisch gestört. Eine Korrektur (Extrapolation) dieser BHT-Werte auf ungestörte Temperaturen ist möglich, da im Bohrloch tiefsten der störende Einfluss des Spülungsumlaufs auf das Temperaturfeld am geringsten ist. In Abhängigkeit von der Stillstandzeit nach Bohrende, der Spüldauer (Spülungsumlauf) und der Anzahl der für jede Tiefe zur Verfügung stehenden Temperaturwerte können unterschiedliche Extrapolationsverfahren angewendet werden (AGEMAR et al. 2012, SCHULZ & SCHELLSCHMIDT 1991, SCHULZ et al. 1990, SCHULZ et al. 1992, SCHULZ & WERNER 1987).

### Explosionszylinderquellenansatz (LEBLANC et al. 1982, MIDDLETON 1982):

Wenn drei oder mehr BHT-Werte in einer Tiefe zu unterschiedlichen Zeiten nach Zirkulationsstopp vorliegen, kann die Explosionszylinderquellenkorrektur eingesetzt werden. Bei diesem Ansatz wird die Temperatur der Spülungsflüssigkeit nach Einstellen der Zirkulation ( $t = 0$ ) als konstant angenommen und weicht um den Betrag  $\Delta T$  von der ungestörten Gebirgstemperatur ab.

$$T_{\infty} = \text{BHT}(t) - \Delta T (e^{-a^2/4kt} - 1) \quad (1)$$

|     |              |   |                                  |                     |
|-----|--------------|---|----------------------------------|---------------------|
| mit | $T_{\infty}$ | = | ungestörte Gebirgstemperatur     | [°C]                |
|     | BHT          | = | gemessene Bottom Hole Temperatur | [°C]                |
|     | $\Delta T$   | = | anfängliche Temperaturstörung    | [K]                 |
|     | a            | = | Bohrlochradius                   | [m]                 |
|     | $\kappa$     | = | Temperaturleitfähigkeit          | [m <sup>2</sup> /s] |
|     | t            | = | Zeit nach Zirkulationsstopp      | [s].                |

$T_{\infty}$  wird berechnet durch eine Anpassungsmethode, bei der  $\Delta T$  und  $\kappa$  variiert wird, wobei  $\kappa$  die effektive Temperaturleitfähigkeit der Spülungsflüssigkeit und des umgebenden Gesteins ist (SCHULZ et al. 1992).

Bisher wurde dieses Verfahren auch bei nur einfach belegten BHT-Werten angewandt (SCHULZ & WERNER, 1987: S.14, BOLOTOVSKIY et al. 2015). Für die Berechnung wurde dabei die anfängliche Temperaturstörung relativ einfach aus dem Mittelwert von ungestörter Gebirgstemperatur und durchschnittlicher Oberflächentemperatur abgeschätzt:

$$\Delta T = T_{\infty} - T_m = T_{\infty} - \frac{(T_{\infty} + T_0)}{2} \quad (2)$$

|     |       |   |  |      |
|-----|-------|---|--|------|
| mit | $T_0$ | = | mittlere Jahrestemperatur an der Erdoberfläche | [°C] |
|     | $T_m$ | = | Spülungstemperatur am Ende des Bohrens         | [°C] |

Aus (1) und (2) erhält man für die ungestörte Temperatur:

$$T_{\infty} = \text{BHT}(t) + \frac{1 - e^{-a^2/4kt}}{1 + e^{-a^2/4kt}} (\text{BHT}(t) - T_0) \quad (3)$$

Für die Korrekturberechnungen wurden feste Parameter verwendet, die aufgrund von Erfahrungen, numerischen Tests und statistische Daten festgelegt wurden (BOLOTOVSKIY et al. 2015, SCHULZ & WERNER 1987):

- Bohrlochradius:  $a = 0,08 \text{ m}$  (6 ¼ Zoll Rohr)
- Temperaturleitfähigkeit:  $\kappa = 0,15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Nach diesem Verfahren wird in FIS-GP die ungestörte Temperatur für einen BHT-Wert mit gemessener Standzeit berechnet. Aktuell sind dies 2156 Datensätze. Verwendet man statt dem Standarddurchmesser von 6,25 Zoll den tatsächlichen Bohrlochdurchmesser, so würde bei vielen BHT-Werten die Korrektur deutlich zu hoch ausfallen. Andererseits ist es unbefriedigend, dass der bekannte Durchmesser für die Korrektur nicht verwendet wird, obwohl er bei den meisten BHT-Messungen mit bekannter Standzeit in der Datenbank eingetragen ist. Bei einigen Bohrakten ist der Durchmesser des letzten Bohrabchnitts nicht vermerkt, er kann aber anhand der letzten Rohrtour zumindest abgeschätzt werden.

Zweifel sind auch bei Formel (2), der Abschätzung von  $\Delta T$ , der Temperatur der Spülung direkt nach Bohrende, angebracht. Zwar ist nachvollziehbar, dass  $\Delta T$  von der Differenz zwischen Gebirgstemperatur und Oberflächentemperatur abhängig ist, ob und in welcher Weise  $\Delta T$  und Bohrlochdurchmesser miteinander korrelieren, ist weniger offensichtlich. Ein größeres Spülungsvolumen dürfte bei gleicher Spülgeschwindigkeit zu einem größeren  $\Delta T$  führen. Allerdings steigt mit dem Einsatz eines größeren Bohrmeißels auch die abzuführende Reibungswärme. Gleichzeitig führt die größere Bohrlochwand zu einem höheren Wärmeaustausch zwischen Spülungsflüssigkeit und Gestein. Aufgrund dieser Komplexität wird eine empirische Bestimmung von  $\Delta T$  vorgeschlagen. Leider liegen Informationen zu  $\Delta T$  in der Regel nicht vor. Allerdings können  $\Delta T$ -Werte für Bohrungen abgeschätzt werden, für die drei oder mehr BHT-Werte in einer Tiefe zu unterschiedlichen Zeiten nach Zirkulations-Stopp vorliegen. Auf diese Weise konnten aus 385 Datensätzen  $\Delta T$ -Werte für unterschiedliche Bohrlochdurchmesser gewonnen werden. Dabei zeigte sich, dass  $\Delta T$  sich reziprok zum Bohrlochradius  $a$  verhält (mit einem Bestimmtheitsmaß  $r^2 = 0,52$ ). Als neuer Ansatz zur Abschätzung von  $\Delta T$  für Datensätze mit nur einem BHT-Wert kann folgende, empirisch ermittelte Relation genutzt werden:

$$\Delta T = \frac{(T_{\infty} - T_0)}{31a} \quad (4)$$

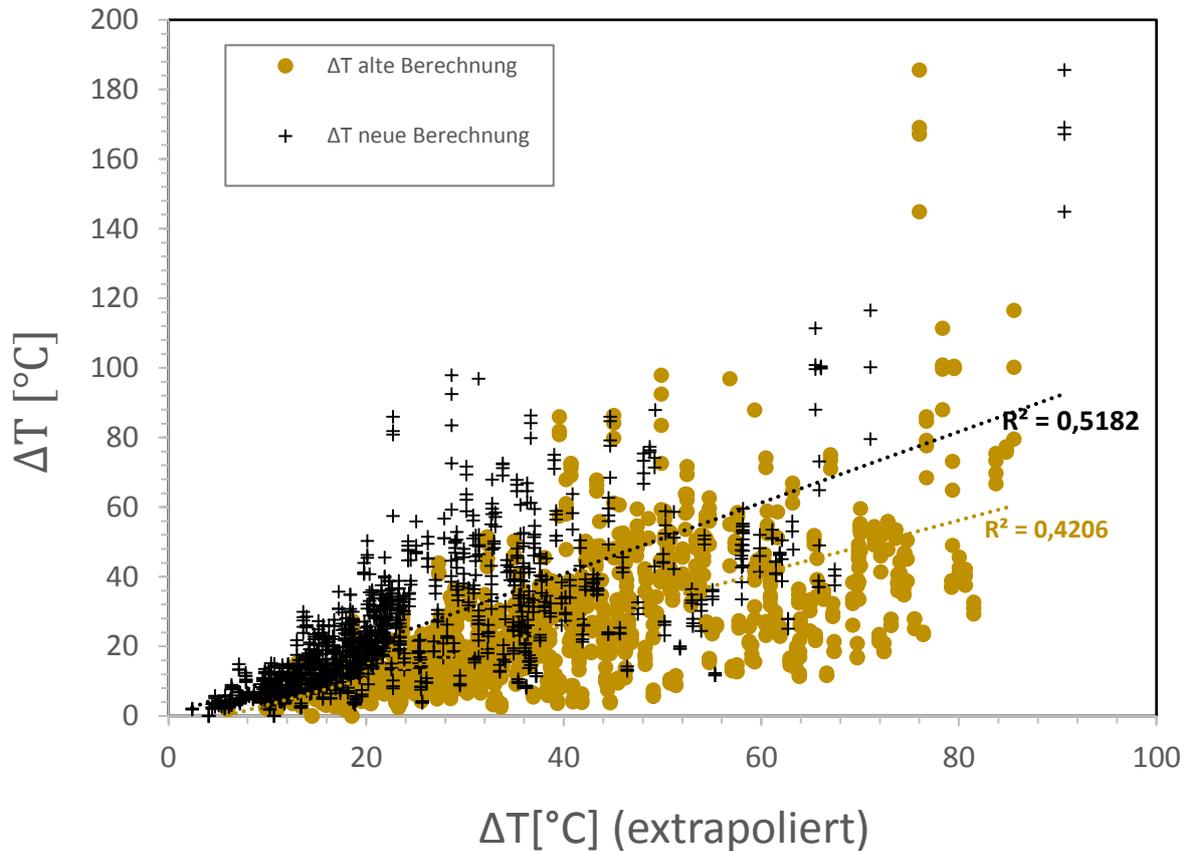
In Abb. 1 können beide Ansätze zur Prognose von  $\Delta T$  verglichen werden. Dabei zeigt sich, dass die mit Formel (2) ermittelten  $\Delta T$ -Werte nicht nur eine größere Streuung aufweisen ( $r^2=0,42$ ), sondern auch tendenziell zu hohe  $\Delta T$ -Werte ergeben, die anfängliche Temperaturstörung also überschätzen.

Aus den Formeln (1) und (4) erhält man nun für die ungestörte Temperatur:

$$T_{\infty} = \frac{\text{BHT}(t) \cdot 31a + T_0 (e^{-a^2/4kt} - 1)}{31a + (e^{-a^2/4kt} - 1)} \quad (5)$$

Im Unterschied zum alten Korrekturverfahren wird wieder der tatsächlichen Bohrlochradius  $a$  statt dem Einheitsmaß 0,08 m ( $\emptyset$  6 ¼ Zoll Rohr) eingesetzt. Für die Korrekturberechnungen wird nur noch

die Temperaturleitfähigkeit mit  $\kappa = 0,15 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2/\text{s]}$  als fester Parameter verwendet, der aufgrund von Erfahrungen, numerischen Tests und statistischen Daten festgelegt wurde (SCHULZ & WERNER 1987). Damit kann die ungestörte Temperatur für einen BHT-Wert mit gemessener Standzeit mit größerer Genauigkeit als zuvor bestimmt werden.



**Abb. 1:** Nach Formel 4 (Kreuze) und Formel 2 (Kreise) berechnete  $\Delta T$ -Werte aufgetragen gegen extrapolierte  $\Delta T$ -Werte aus einer Sequenz von 3 oder mehr BHT-Messwerten (Explosionszylinderquellenansatz).

In Abbildung 2 sind die korrigierten BHT-Werte nach dem alten und dem neuen Korrekturverfahren gegeneinander aufgetragen. Die nach dem alten Verfahren korrigierten BHT-Werte sind auf der Abszisse aufgetragen. Die nach dem neuen Verfahren korrigierten BHT-Werte sind auf der Ordinate aufgetragen. Es zeigt sich, dass das neue Korrekturverfahren in den meisten Fällen zu sehr ähnlichen Ergebnissen kommt. Bestimmt man aus den neu-korrigierten BHT-Werten die geothermischen Gradienten, so zeigt sich bei diesen insgesamt eine etwas geringere Varianz ( $70 \text{ K}^2$  statt  $96 \text{ K}^2$ ). Der Mittelwert über alle 2156 Temperaturwerte liegt bei den neu korrigierten BHT-Werten nur ca.  $1,6 \text{ K}$  niedriger als bei den nach dem alten Verfahren korrigierten BHT-Werten. Zum Vergleich: Würde man die Rohtemperaturen mit der jetzigen  $\Delta T$ -Abschätzung nach Formel 2 und den tatsächlichen Bohrlochdurchmessern in Formel 1 korrigieren, so läge der Mittelwert aller korrigierten Temperaturen ca.  $15 \text{ K}$  höher (Abb. 3+4).

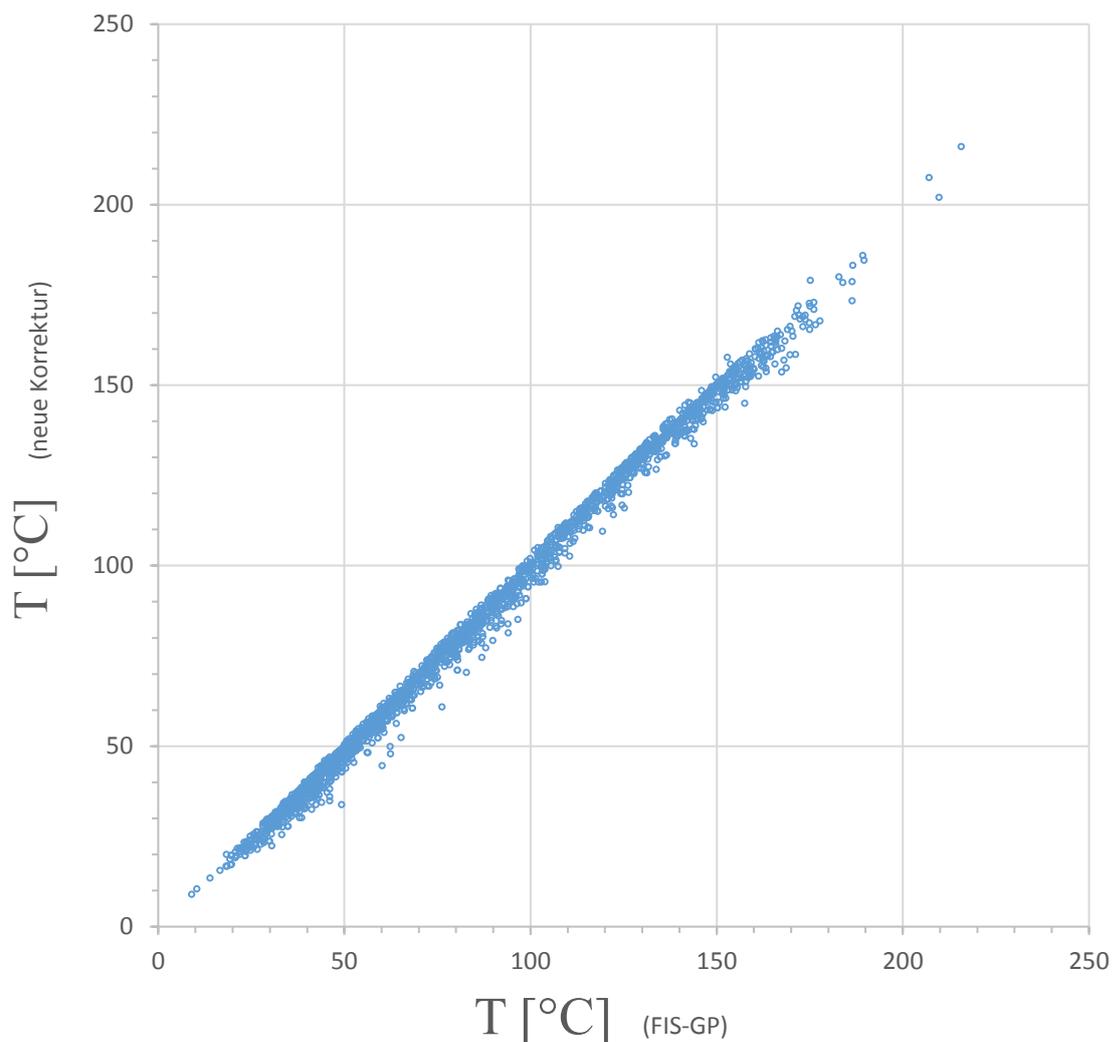
Dennoch kann das neue Korrekturverfahren bei lokalen Temperaturprognosen einen deutlichen Unterschied machen. Dies wird besonders dann deutlich, wenn man korrigierte BHT-Werte mit präzise gemessenen Temperaturen in der näheren Umgebung vergleicht. In Tabelle 1 sind einige Beispiele aufgeführt, bei denen die beiden Korrekturverfahren sehr unterschiedliche Temperaturen ergeben. Ein Vergleich mit zuverlässig gemessenen Temperaturen in unmittelbarer Nähe in annähernd gleicher

Tiefe zeigt, dass das neue Korrekturverfahren vertrauenswürdiger Ergebnisse liefert. Darüber hinaus sprechen auch die geringere Varianz der korrigierten Temperaturwerte und den daraus abgeleiteten Gradienten für das neue Verfahren. Gegen das alte Verfahren spricht, dass es für in Formel 2 getroffene Abschätzung keinen empirischen Beleg gibt und dass die Explosionszylinderquellenkorrektur in der Regel mit dem falschen Bohrlochradius durchgeführt wurde.

In den Abb. 3 wird deutlich, dass die korrigierten BHT-Werte aus Bohrungen geringer Tiefe (< 500 m) sehr stark streuen. Dieser Effekt wird besonders deutlich, wenn man die daraus abgeleiteten Gradienten betrachtet (Abb. 4). Offenbar lassen sich BHT-Werte, die in geringer Tiefe gemessen wurden, schlechter korrigieren als BHT-Werte in größeren Tiefen. Diese Werte werden daher in FIS-GP zukünftig deaktiviert werden.

Ist der Bohrlochdurchmesser unbekannt, so wird für den Radius  $a$  der Durchschnittswert von 0,12 m angesetzt. Ist auch die Standzeit unbekannt, so wird diese in FIS-GP auf Grundlage einer statistischen Berechnung abgeschätzt. Wie von BOLOTOVSKIY et al. (2015) beschrieben wird die Standzeit  $t$  als Funktion der Messtiefe  $z$  ermittelt:

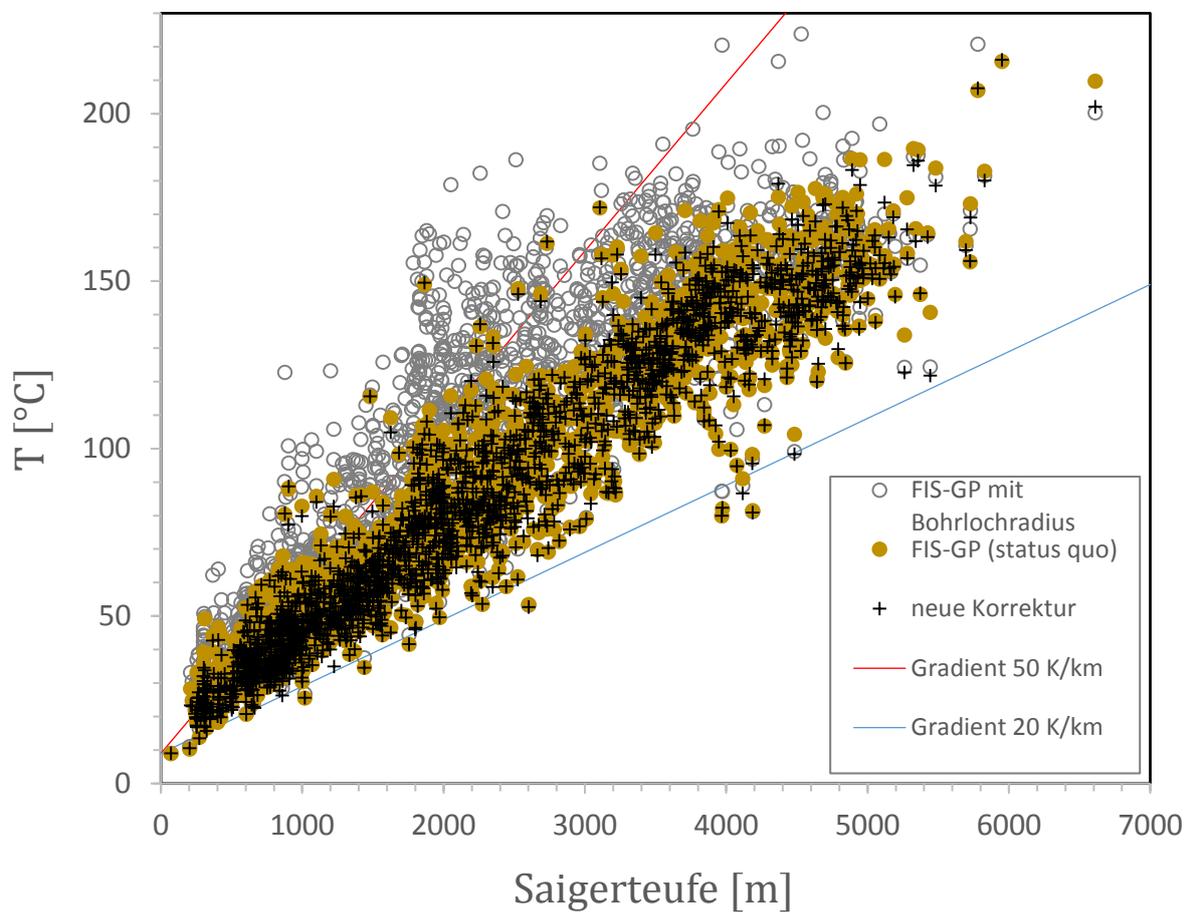
$$t \text{ [sec]} = (3,612 \text{ [Std]} + 0,001639 \text{ [Std/m]} \cdot z \text{ [m]}) \cdot 3600 \quad (6)$$



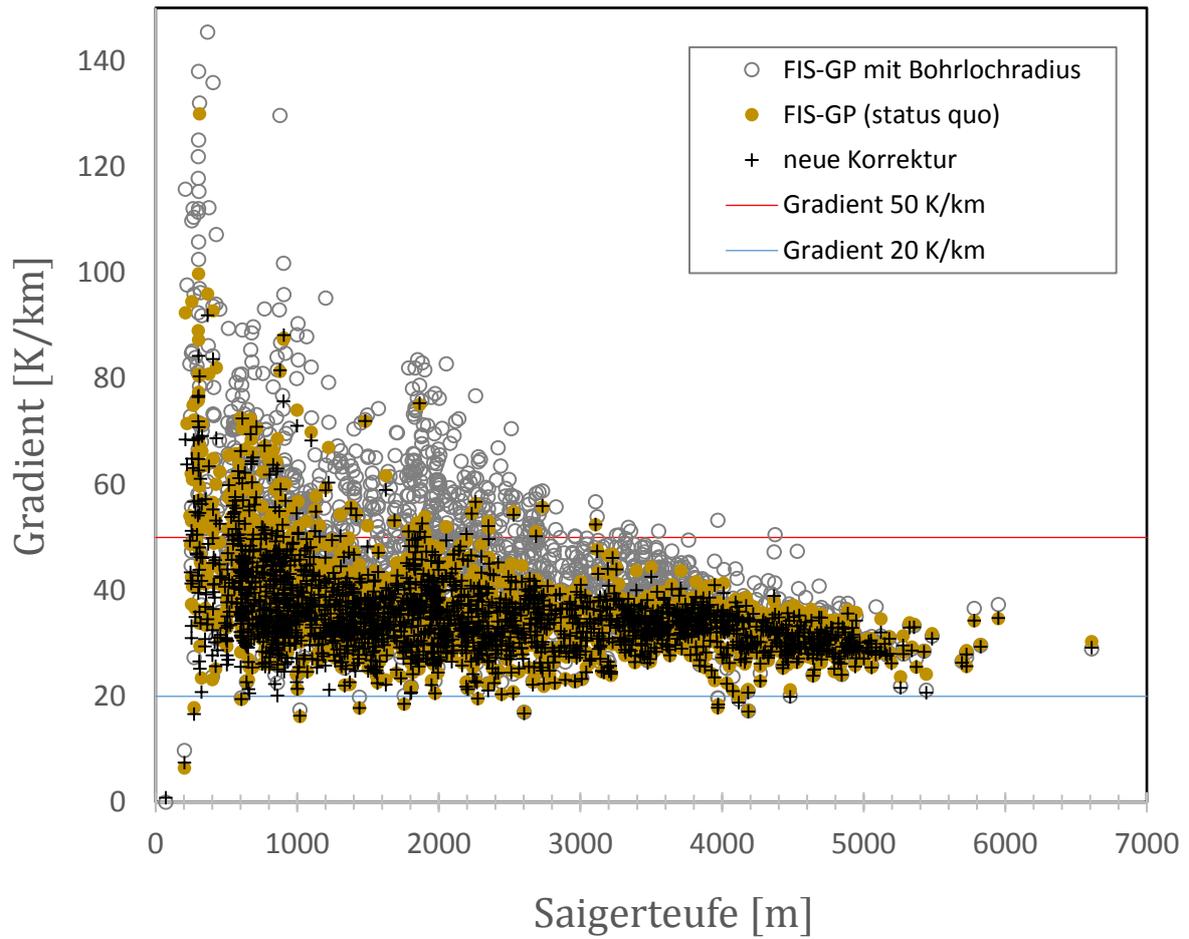
**Abb. 2:** Vergleich des alten und neuen Korrekturverfahrens für BHT-Werte mit nur einem Messwert in einer Tiefe.

**Tab. 1:** Nach Formel (2) und (5) ermittelte Gebirgstemperaturen und Vergleichswerte aus benachbarten Bohrungen (in blau).

| Bohrung | Teufe [m] | T [°C] FIS-GP | T [°C] -neu- | Messung     | Distanz [km] |
|---------|-----------|---------------|--------------|-------------|--------------|
| 1 NDB   | 1727      | 82,69         | 70,52        | BHT         |              |
| 2 NDB   | 1791      | 86,88         | 74,66        | BHT         | 1            |
| V1+2    | 1650      |               | 72,4         | Ungest. Log |              |
| 3 MB    | 1570      | 76,15         | 60,94        | BHT         | 1            |
| V3      | 1500      |               | 63,56        | Ungest. Log |              |
| 4 NDB   | 4577      | 169,64        | 158,5        | BHT         | 10           |
| V4      | 4652      |               | 152,0        | Hydr. Test  |              |
| 5 NDB   | 1187      | 62,23         | 49,95        | BHT         |              |
| V5a     | 1200      |               | 44,42        | Ungest. Log | 8            |
| V5b     | 1200      |               | 43,91        | Ungest. Log |              |



**Abb. 3:** Aus den korrigierten BHT-Werten ermittelte Gebirgstemperaturen gegen die Tiefe aufgetragen.



**Abb. 4:** Aus den korrigierten BHT-Werten ermittelte Gradienten gegen die Tiefe aufgetragen. Die starke Streuung für Tiefen kleiner 500 m ist zum Teil darauf zurück zu führen, dass kleine Änderungen der Temperatur große Änderungen des Gradienten bewirken.

# Literatur

- AGEMAR, T., SCHELLSCHMIDT, R. & SCHULZ, R. (2012): Subsurface Temperature Distribution of Germany. – *Geothermics* 44: 65– 77.
- AGEMAR, T., ALTEN, J.-A., GANZ, B., KUDER, J., KÜHNE, K., SCHUMACHER, S. & SCHULZ, R. (2014): The Geothermal Information System for Germany – *GeotIS*. – *Z. Dt. Ges. Geowiss.*, 165(2): 129-144.
- HORNER (1951): Pressure build-up in wells. - *Proc. Third World Petroleum Congress*, 34: 316; The Hague.
- KÜHNE, K., MAUL, A.-A. & GORLING, L. (2003): Aufbau eines Fachinformationssystems Geophysik. – *Z. Angew. Geol.* 2/2003: 48-53; Hannover.
- LACHENBRUCH, A.H. & BREWER, M.C. (1959): Dissipation of the temperature effect of drilling a well in Arctic Alaska. - *Geological Survey Bulletin*, 1083-C: 73-109; Washington.
- LEBLANC, Y., LAM, H.-L., PASCOE, L.J. & JOHNES, F.W. (1982): A comparison of two methods of estimating static formation temperature from well logs. - *Geophys. Prosp.*, 30: 348-357.
- MIDDLETON, M.F. (1982): Bottom-hole temperature stabilization with continued circulation of drilling mud. - *Geophysics*, 47: 1716-1723.
- SCHULZ, R., HAENEL, R. & KOCKEL, F. (1992): Federal Republic of Germany - West federal states. - In: HUR- TIG, E., CERMAK, V., HAENEL, R. & ZUI, V. (Eds.): *Geothermal Atlas of Europe*: 34-37; Gotha.
- SCHULZ, R., HÄNEL, R. & WERNER, K.H. (1990): Geothermische Ressourcen und Reserven: Weiterführung und Verbesserung der Temperaturdatensammlung. - Report EUR 11998 DE: 75 pp; Luxembourg (Office for Official Publications of the European Communities).
- SCHULZ, R. & SCHELLSCHMIDT, R. (1991): Das Temperaturfeld im südlichen Oberrheingraben. – *Geol. Jb.*, E48: 153-165; Hannover.
- SCHULZ, R. & WERNER, K.H. (1987): Einfache Korrekturverfahren für Temperaturmessungen. – *NLFB-GGA-Bericht*, Archiv-Nr. 99 914; Hannover.