

Brandenburgische Geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	6 (1999), 1	S. 57–68	12 Abb., 20 Lit.
----------------------------------	--------------	-------------	----------	------------------

Das geothermische Feld in Brandenburg

HORST BEER & ECKART HURTIG

1. Einleitung

Alle geologischen Prozeßabläufe sind mit dem geothermischen Feld in der Erde und seinen räumlichen und zeitlichen Änderungen verknüpft. Aus der Erde strömt kontinuierlich Wärme an die Erdoberfläche und wird dort an die Atmosphäre bzw. Hydrosphäre abgegeben. Im Mittel beträgt der terrestrische Wärmestrom für Kontinente 60 mW/m^2 . Dieser aufwärts gerichtete Wärmestrom bedingt eine Temperaturzunahme mit der Tiefe, die im Durchschnitt für Kontinente $3 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ beträgt. Wegen des großen Einflusses der Temperatur auf alle physikalischen Eigenschaften der Gesteine sowie auf Stoffmigration und Stoffumwandlung kommt der Untersuchung des Temperatur- und Wärmestromfeldes der Erde eine besondere Bedeutung zu. Andererseits bestimmen Aufbau und Eigenschaften der Gesteine, Lagerungsverhältnisse und andere geologische Merkmale die Temperaturverteilung in der Erdkruste.

Für die Untersuchung des geothermischen Feldes wird die Temperatur in Abhängigkeit von der Tiefe gemessen. Die tiefenbezogene Temperaturverteilung kann näherungsweise über die Wärmestromdichte, Wärmeleitfähigkeit der Gesteine und radiogene Wärmeproduktion (letztere vernachlässigbar klein) abgeschätzt werden. Verlässlicher sind direkte Messungen der Temperatur in Tiefbohrungen. Der Wärmetransport in der Erde erfolgt durch Konduktion (Wärmeleitung ohne Massentransport), Konvektion und Advektion (vertikaler/horizontaler Wärmetransport über Massenbewegung) sowie durch Wärmestrahlung. Für die obere Erdkruste ist der Beitrag der Wärmestrahlung vernachlässigbar. In Festgesteinen bildet die Konduktion den wichtigsten Mechanismus für den Wärmetransport. In Störungszonen können der konvektive und advective Wärmetransport den konduktiven Anteil übertreffen.

Der gewaltige Wärmeinhalt der Erde ermöglicht die Nutzung der geothermischen Energie unter Berücksichtigung der geologischen Bedingungen mit verschiedenen Methoden.

Ausführlich wird die Nutzung speziell von Thermalsole im Land Brandenburg im Beitrag MANHENKE, ECKHARDT & ROKKEL (in diesem Heft) dargestellt. Im Folgenden werden deshalb insbesondere die Aspekte hinsichtlich

- Entwicklung, Art und Umfang von Temperaturmessungen, Meßmethodik und Repräsentanz

- geologisch bedingter Beeinflussung der Temperaturverteilung

für die Bewertung des geothermischen Feldes in Brandenburg betrachtet.

2. Temperaturmessungen

2.1. Entwicklung der Geothermie

In Brandenburg wurden bereits 1831 bis 1833 durch ERMAN, MAGNUS, SCHMIDT und GERHARD Temperaturmessungen im Bohrloch Rüdersdorf bei Berlin durchgeführt. Von 1869 bis 1871 erfolgten in der Bohrung Sperenberg I (Salzstock, südlich Berlin) zum ersten Mal systematische Temperaturmessungen mit hoher Präzision. Die damals tiefste Bohrung der Welt wurde bis zur Endteufe von $1\,272 \text{ m}$ temperaturvermessend. Mit diesen Messergebnissen, die von DUNKER (1872) sorgfältig dokumentiert und ausgewertet wurden, begann die eigentliche Entwicklung der Geothermie. Der Titel seiner Arbeit "Über die Benutzung tiefer Bohrlöcher zur Ermittlung der Temperatur des Erdkörpers und die deshalb in dem Bohrloch I zu Sperenberg auf Steinsalz angestellten Beobachtungen" weist auf das grundsätzliche Anliegen dieser Untersuchungen hin. Aus den Messungen wurde eine geothermische Tiefenstufe von $33,7 \text{ m}$ für $1 \text{ }^\circ\text{C}$ Temperaturzunahme abgeleitet. Dieser Wert wurde als globaler Mittelwert für die Temperaturzunahme mit der Teufe angesehen. Vom Grundsatz her hat sich dieser Wert heute als Durchschnittswert für die kontinentale Erdkruste bestätigt. Allerdings können die Werte stark schwanken. Abbildung 1 zeigt am Beispiel von Tiefbohrungen in Brandenburg bis $4\,000 \text{ m}$ Teufe, dass die Temperaturwerte im Teufenbereich von $3\,000 \text{ m}$ zwischen $70 \text{ }^\circ\text{C}$ und fast $130 \text{ }^\circ\text{C}$ schwanken. Teilweise werden diese Unterschiede dadurch verursacht, dass das thermische Gleichgewicht im Bohrloch bei vielen Temperaturmessungen infolge des Einflusses durch den Bohraufschluss noch nicht wieder erreicht war (s. u.). Dennoch sind deutliche Temperaturunterschiede auch in derartigen Größen durchaus real.

Für die weitere Entwicklung der Kenntnis über das geothermische Feld in Brandenburg sind Temperaturmessungen maßgebend, die im Rahmen der

- Erdöl- und Erdgaserkundung, vorrangig im Norden und Osten Brandenburgs

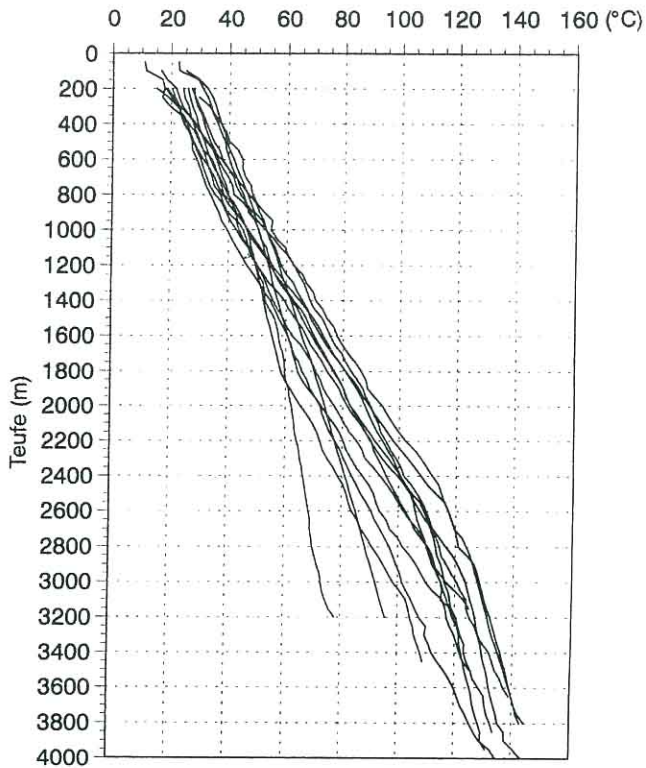


Abb. 1 Bohrungen mit Temperaturwerten bis zu einer Tiefe von 4 000 m

- Eisenerzerkundung in der westlichen Prignitz
- Kupferschiefererkundung im Raum Spremberg
- Untersuchung und Errichtung von Untergrundspeichern (Buchholz, Ketzin, Mittenwalde)
- geothermisch-balneologischen Erkundung (Velten, Neuruppin, Pritzwalk, Prenzlau, Rheinsberg, Templin, Belzig, Bad Wilsnack)

seit den 60er Jahren in Tiefbohrungen vorgenommen wurden. Besonders wichtig sind dabei die im Wesentlichen der Erdgaserkundung zuzuordnenden Bohrungen, in denen Temperaturen bis in Tiefenbereiche von ca. 5 500 m (E Kotzen 4/74) vermessen wurden.

Erste zusammenhängende Darstellungen über die Wärmestromdichte im Gebiet der DDR und damit auch des Landes Brandenburg stammen von SCHÖSSLER & SCHWARZLOSE (1959) sowie SCHUSTER (1969). Die umfangreiche Bohrtätigkeit besonders in den 70er Jahren und die zunehmende Datendichte ermöglichten eingehendere Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen dem Temperatur- und dem Wärmestromfeld und dem Tiefenbau in Norddeutschland (HURTIG 1975; HURTIG & SCHLOSSER 1973, 1976a und 1976b; HURTIG & OELSNER 1979). 1984 wurde durch das damalige Zentrale Geologische Institut (ZGI) der Geothermie-Atlas der Deutschen Demokratischen Republik herausgegeben. Mit dem Geothermal Atlas of Europe (HURTIG et al. 1991) liegt eine zusammenfassende Darstellung des Wärmestrom- und Temperaturfeldes für Europa vor, die die Einbindung und Bewertung der geothermischen Verhältnisse von Brandenburg im mitteleuropäischen Zusammenhang ermöglicht (s. Abb. 2).

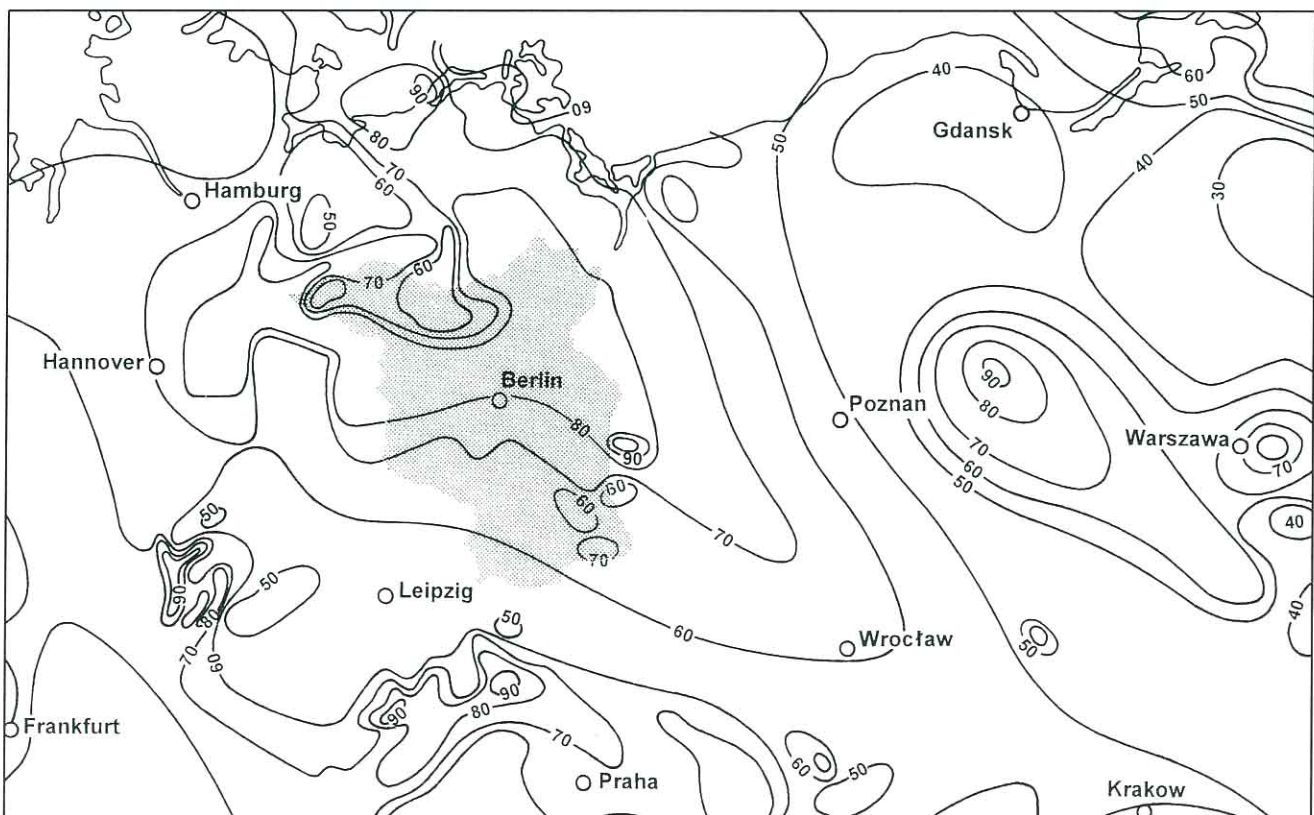


Abb. 2 Wärmestromdichte (in mW/m^2) in Mitteleuropa (nach HURTIG et al. 1991)

Die Untersuchungen zur Nutzung der geothermischen Energie wurden durch Studien (SCHMIDT 1981) eingeleitet. Durch das ZGL und die Gesellschaft für Umwelt- und Wirtschaftsgeologie (UWG) (DIENER, WORMBS et al. 1988 bis 1992) wurden die geologischen Ressourcen mesozoischer Aquifere einheitlich bewertet und ein Kartenwerk im Maßstab 1 : 200 000 erstellt. Bereits im Geothermieatlas der DDR liegt eine Darstellung der wirtschaftlichen Bewertung der geothermischen Ressourcen vor.

Durch das Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg (LGRB) wurde für ausgewählte Standorte in Brandenburg eine Studie zu den geologischen Voraussetzungen u. a. zur Nutzung von Thermalwässern erarbeitet (SCHWAB et al. 1993). Eine vom LGRB geleitete interministerielle Arbeitsgruppe setzte diese Ergebnisse praktisch um.

Im Bereich des jetzigen Landes Brandenburg wurden Ende der 80er Jahre in Vorbereitung von Projekten der hydrother-

malen Geothermie Bohrungen bei Velten (Gt Vt 2/90), Neuruppin (Gt Nn 1/88, 2/87), Pritzwalk (Gt Pt 2/89) und Prenzlau (Gt Pr 1/86, 2/85, 3/89) abgeteuft. Die Bohrung Gt Pr 1/86 dient nach Verteufung auf 2 800 m im Jahre 1994 als tiefe Erdwärmesonde. Für die Nutzung der Erdwärme zu vorwiegend balneologischen Zwecken wurden Mitte der 90er Jahre weitere Bohrungen in Rheinsberg (Gt Rh M 1/95), Templin (Gt Tp 1/95), Belzig (Gt Bg 1/96) und Bad Wilsnack (Gt Wlk 1/96) niedergebracht. Durch das LGRB wurden des Weiteren Daten und Material - vorrangig Kerne von permokarbonischen Effusiva aus tiefen Bohrungen als potentiell nutzbare Gesteine der trockenen Erdwärmegewinnung nach dem Hot-Dry-Rock-Verfahren - gesichert. Ein weiteres zukunftsträchtiges Feld ist die oberflächennahe Erdwärmegewinnung und -speicherung.

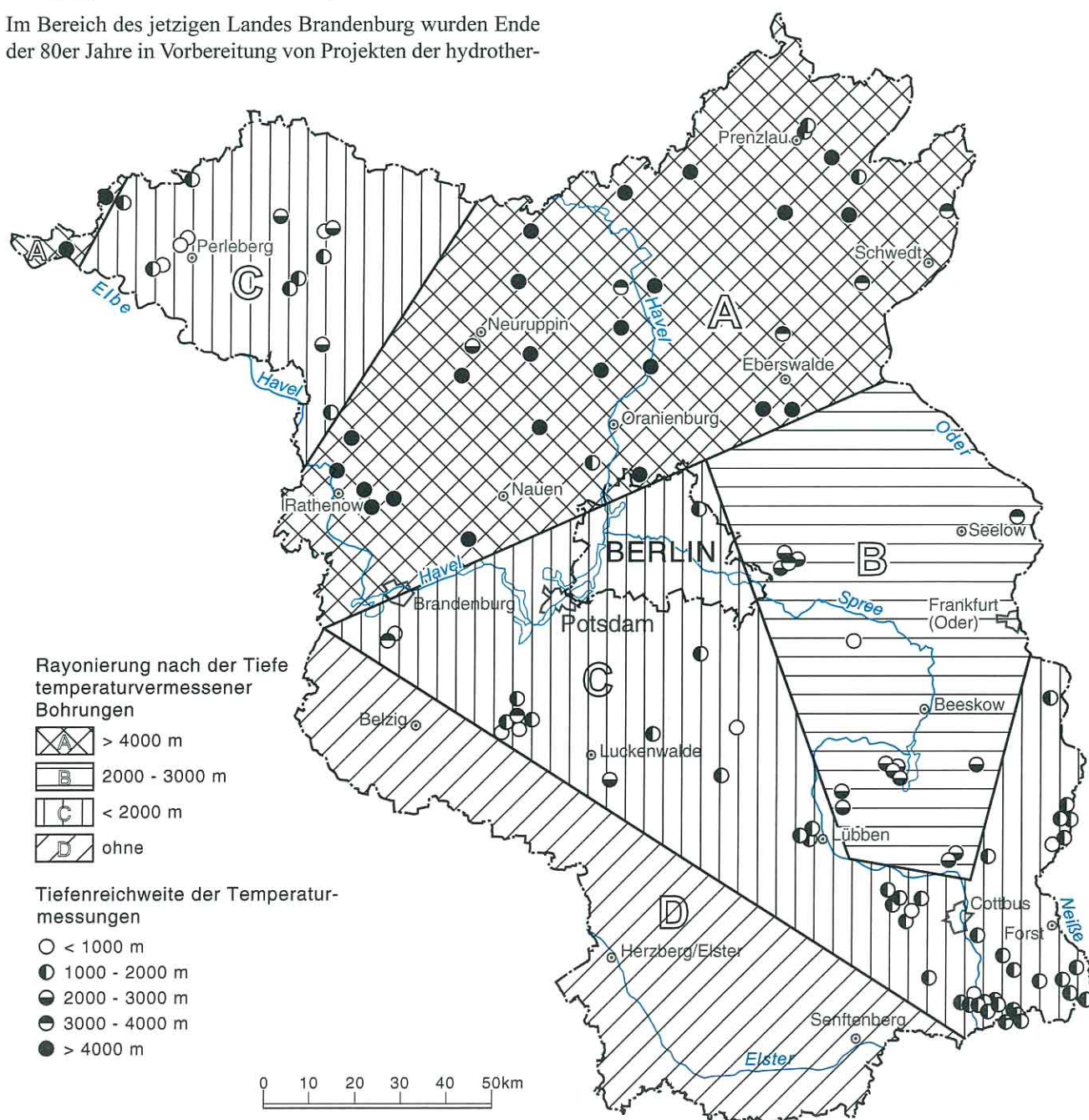


Abb. 3 Bohrungen mit Temperaturmessungen in Brandenburg

2.2. Art und Umfang der Temperaturmessungen

Temperaturmessungen in Tiefbohrungen können auf verschiedene Weise erfolgen. Am wichtigsten und aussagefähigsten sind kontinuierlich im aufgeschlossenen Bohrloch gemessene Temperaturen, die generell in Teufenintervallen von 50 m vorgenommen wurden. Nach diesem Messprinzip lassen sich Temperatur- und Wärmeleitfähigkeitsdifferenzierungen der durchteuften Gesteinsfolgen charakterisieren. Abbildung 3 zeigt die Verteilung der Bohrungen mit kontinuierlicher Messung in Brandenburg, gegliedert nach der Tiefe des vermessenen Profils (wegen hoher Bohrdichte konnten im Raum Spremberg nicht alle Bohrungen dargestellt werden). Die deutliche Teufenrayonierung ist Funktion des Explorationszieles der Bohrungen. Bohrungen über 4 000 m waren z. B. auf die Erdgassuche im Rotliegenden gerichtet.

Während des Bohraufschlusses wurden vereinzelt sogenannte Maximaltemperaturen als Punktaufschlüsse ermittelt. Genau so geben Temperaturmessungen bei Testarbeiten nur Einzelwerte. Diese Werte besitzen lediglich orientierenden Charakter und sind bei der Interpretation des Temperaturfeldes nur bedingt einzubeziehen.

Nach Zusammenstellungen von HURTIG (1994,1995) liegt im Land Brandenburg folgender Messumfang vor:

Messart	Anzahl der Bohrungen
kontinuierliche Messung	126
Messung beim Bohrvorgang	> 30
Messung bei Testarbeiten	> 275

2.3. Messmethodik

Die kontinuierlichen Temperaturmessungen erfolgen mit Bohrlochmesssonden, in denen Widerstandsthermometer oder Halbleiterwiderstandsthermometer als Sensoren vorhanden sind. Am gebräuchlichsten sind Pt-100-Widerstandsthermometer. Auf dieser Basis wurden alle vorliegenden kontinuierlichen Temperaturmessungen in Brandenburg durchgeführt. Neben dieser Standardmesstechnik bietet sich als neues Messprinzip die faseroptische Temperaturmessung an. Das faseroptische Temperaturmeßverfahren beruht auf der OTDR-Messmethode (Optical Time Domain Reflectometry). Das Licht eines ImpulsLasers wird in einen Lichtwellenleiter eingekoppelt. Bei der Ausbreitung des Laserlichtimpulses wird das Licht an den Molekülen des Lichtwellenleiters gestreut. Die Wechselwirkung des Laserlichts mit optischen Phononen ist die Ursache für das Raman-Rückstreulicht. Seine Intensität hängt demzufolge von der Temperatur ab. Der Lichtwellenleiter wird somit selbst zum sensitiven Element. Über die bekannte Ausbreitungsgeschwindigkeit des emittierten Lichtes in der Faser kann aus dem zeitlichen Verlauf der Intensität des Rückstreulichtes der vom Licht zurückgelegte Weg berechnet werden. Damit ist eine genaue örtliche Zuordnung der gemessenen Intensität möglich. Über die kombinierte Intensitäts-Laufzeitmessung ergibt sich folglich die Möglichkeit einer "verteilten Temperaturmessung". Die Ortsauflösung ist 1 m (optional 0,5 m oder 0,25 m). Eingehende Vergleichsmessungen mit hochauflösenden, gut geeichten Bohrlochtemperatursonden ergaben eine gute Übereinstimmung der Messwerte.

2.4. Repräsentanz der Temperaturmessungen

Die gemessenen Temperaturen entsprechen meist nicht dem natürlichen Temperaturfeld. Sie werden vorwiegend während des Bohraufschlusses nach unzureichend langen Standzeiten (Beendigung des Spülungsumlaufes - Temperaturmessung) bestimmt. Infolge des Spülungsumlaufes während des Bohrprozesses wirkt die Spülung als "Wärmeaustauscher". Die an der Bohrlochsohle ankommende "kalte" Spülung entzieht dem Gestein Wärme. Beim Aufstieg gibt sie diese teilweise wieder in die "kälteren" oberen Profilaabschnitte ab, die somit erwärmt werden. Das natürliche Temperaturfeld wird dadurch gestört - die oberen Profilaabschnitte besitzen erhöhte, die unteren verringerte Temperaturen. Die Abweichung vom unbeeinflussten natürlichen Temperaturfeld ist um so größer, je tiefer eine Bohrung und je geringer die Standzeit ist (Dauer des "Wärmeaustausches").

Statistische Untersuchungen der kontinuierlichen Temperaturmessungen haben gezeigt, dass erst nach Monaten bis über einem Jahr Standzeit die bohrtechnologisch bedingte Temperaturveränderung abgebaut ist (vgl. BEER 1996), wobei tiefere Bohrungen eine längere Standzeit benötigen. Das Beispiel einer nach vier Jahren Standzeit zum zweiten Mal vermessenen Bohrung zeigt Abbildung 4.

Bei der Bewertung der Temperaturverteilung muss diese Beeinflussung berücksichtigt werden. Eine näherungsweise Korrekturmöglichkeit wurde von BEER (1996) angegeben und

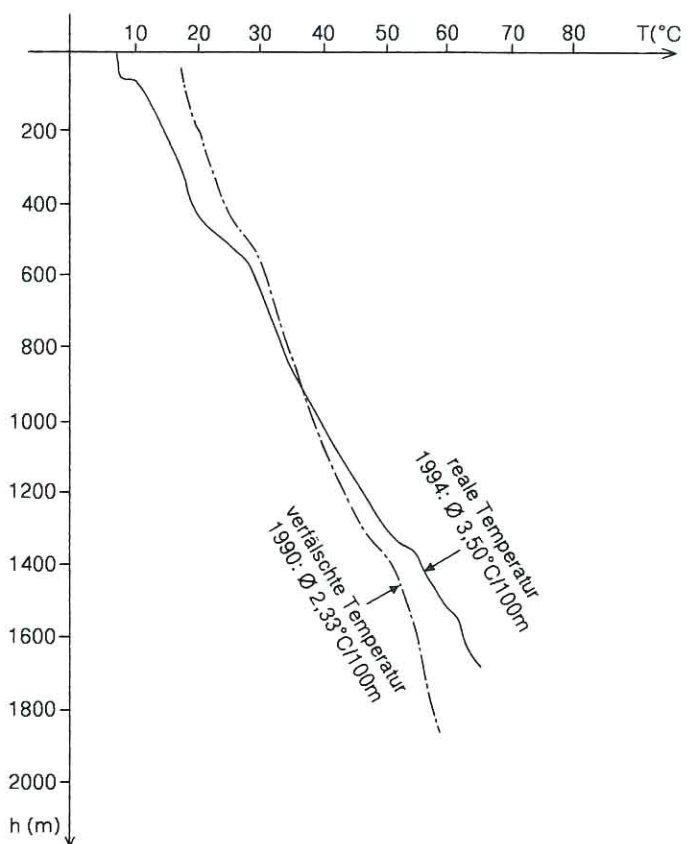


Abb. 4
Verlaufskurven von Temperaturmessungen in Abhängigkeit von der Standzeit in der Bohrung Gt Velten 2/90

bildet die Grundlage auch der im folgenden dargestellten und interpretierten Temperaturverteilung. Maximal- und Testtemperaturen werden in diese Bewertung nicht einbezogen.

3. Geologisch bedingte Beeinflussung der Temperaturverteilung

Wie bereits unter Pkt. 2.1 und in Abbildung 1 dargestellt, treten lokale oder regionale Temperaturdifferenzierungen und -anomalien auf, die auf geologische Ursachen zurückzuführen sind. Diese Veränderlichkeit ist sowohl in der Vertikalen als auch flächenhaft zu erkennen. Als Ursachen sind insbesondere Inhomogenitäten im strukturekt tektonischen Bau oder Unterschiede in den thermischen Eigenschaften der Gesteine, verbunden mit Mächtigkeitsdifferenzierungen, anzusehen. So schwankt die Wärmeleitfähigkeit der Gesteine bzw. Minerale in z. T. weiten Grenzen (s. Abb. 5). Auch die zunehmende Streuung der Temperaturkurven unter 1 500 m Teufe in Abbildung 1 ist vorrangig Ausdruck unterschiedlicher geologischer Faktoren, insbesondere der Mächtigkeit und Teufenlage des Zechsteins. An Beispielen sollen Beziehungen der Temperaturverteilung zu geologischen Parametern abgeleitet werden.

3.1. Beziehung Wärmeleitfähigkeit der Gesteine-Temperaturverteilung

Bereits in Abbildung 5 fällt die hohe Wärmeleitfähigkeit von Steinsalz und Anhydrit mit etwa 5 W/mK gegenüber anderen - vor allem Lockergesteinen - auf. Der dadurch entstehende "Schornsteineffekt" wird im Temperaturfeld besonders deutlich bei stark wechselnden Mächtigkeiten dieser salinen Sedimente. Eindrucksvoll lässt sich diese Erscheinung in Salinarstrukturen (Salzkissen, Salzstöcke) nachweisen. Das Beispiel des durch Temperaturmessungen gut belegten Salzdiapirs Kotzen zeigt Abbildung 6. Vier bis in den Präzech-

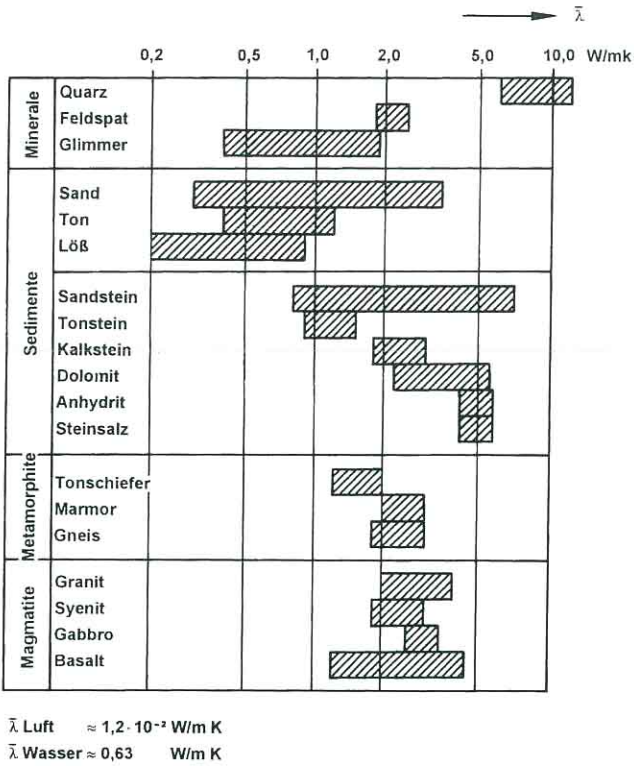


Abb. 5
Wärmeleitfähigkeit ausgewählter Minerale und Gesteine
(aus DIENER et al. 1984)

stein (> 4 000 m) temperaturvermessene Bohrungen in unterschiedlicher strukturekt tektonischer Position des Salinars - vom Salzauswanderungsgebiet bis in den Topbereich des Salzdiapirs - bilden eine hervorragende Grundlage der Bewertung der salinarabhängigen Temperaturverteilung. In einem WNW-ESE-Profileschnitt sind die Lagerungsverhältnis-

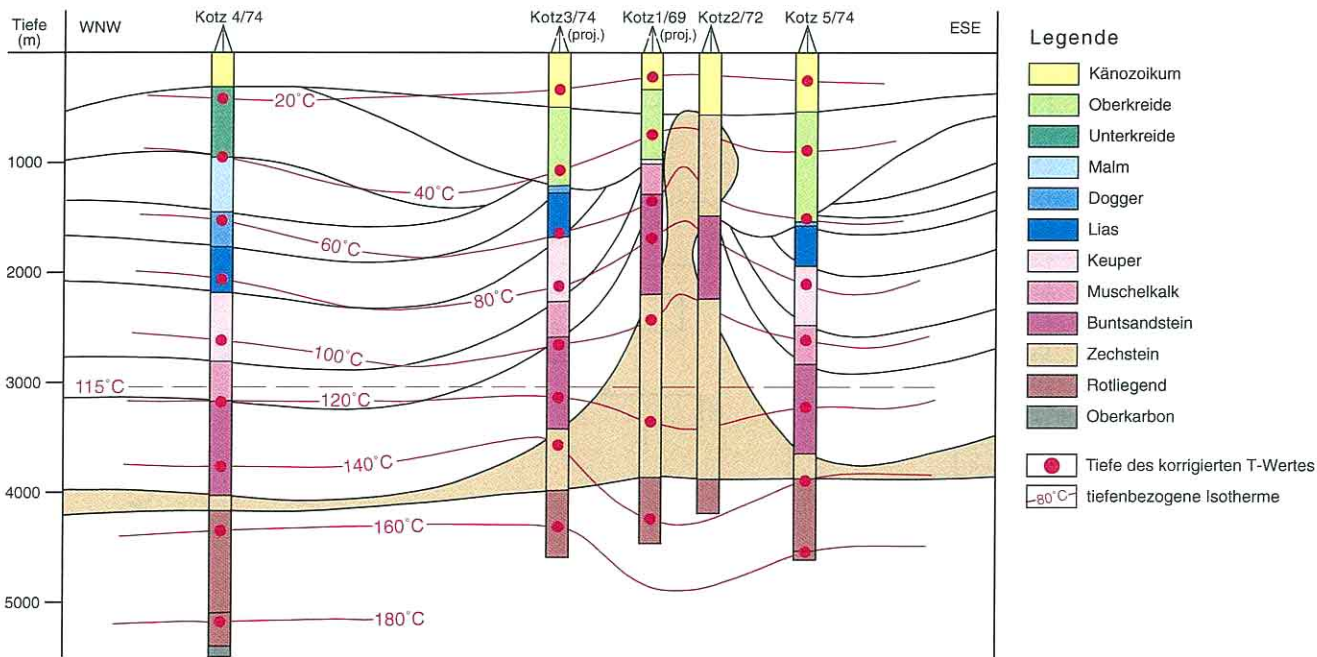


Abb. 6 Temperaturverteilung im Bereich des Salzdiapirs Kotzen

se und die Temperaturverteilung dargestellt. Die Bohrungen E Kotz 3/74 und E Kotz 1/69 wurden auf dieses Profil projiziert. Die nicht temperaturvermessene Bohrung E Kotz 2/72 präzisiert den geologischen Bauplan im Topbereich des Salzstocks. Die im Abstand von 20 °C dargestellten Isothermen

zeigen einen für Salzstrukturen typischen Verlauf (vgl. auch ZIEGENHARDT et al. 1980 für den Salzstock Peckensen). Im Fuß des Salzdiapirs und über diesem erfolgt eine Umkehrung zu einer positiven Temperaturanomalie, die mehr als 20 °C betragen kann. Die Stärke der Temperaturanomalien

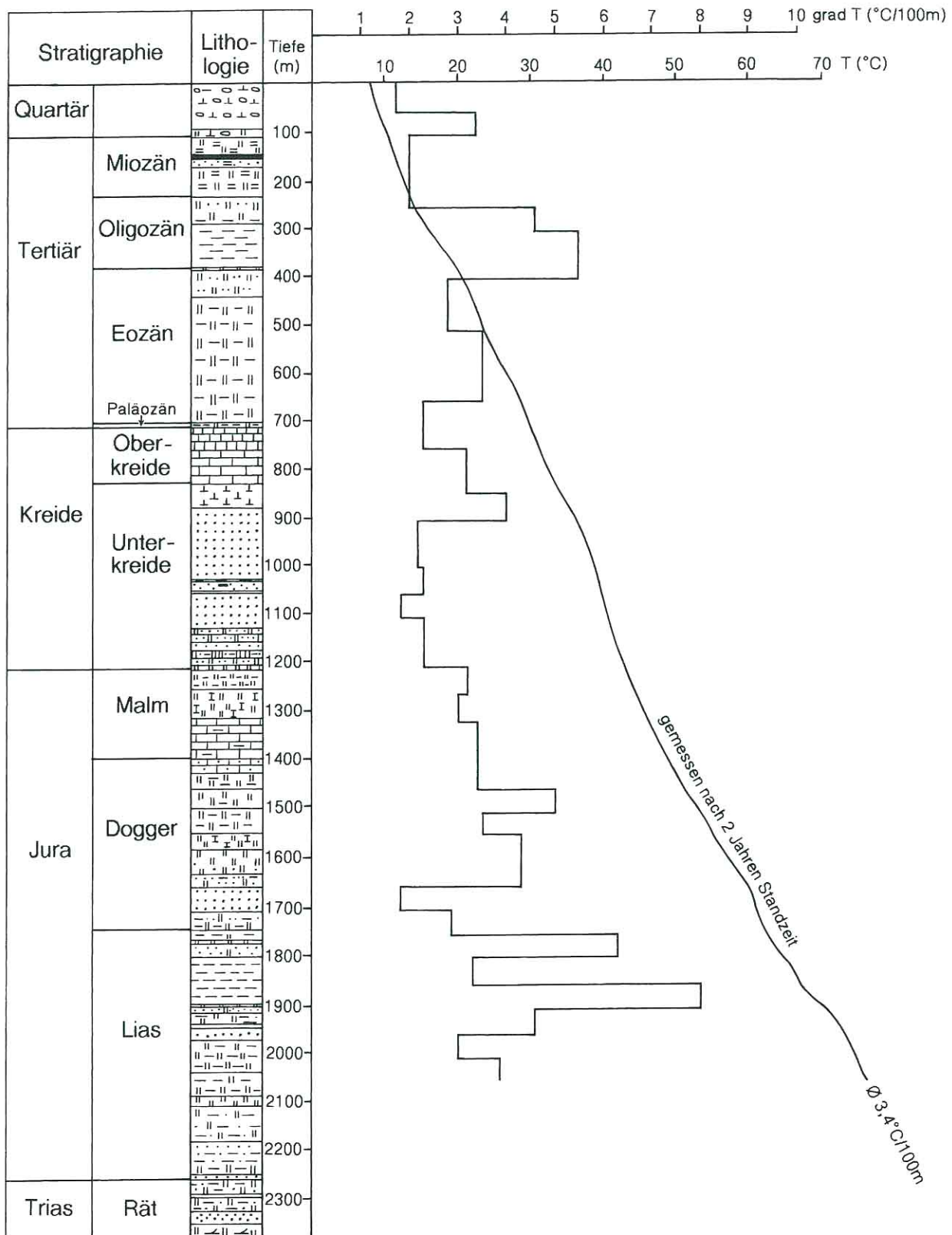


Abb. 7 Temperatur, geothermischer Gradient und Lithologie; Bohrung Gt Neuruppin 1/88 (Legende siehe Abb. 8)

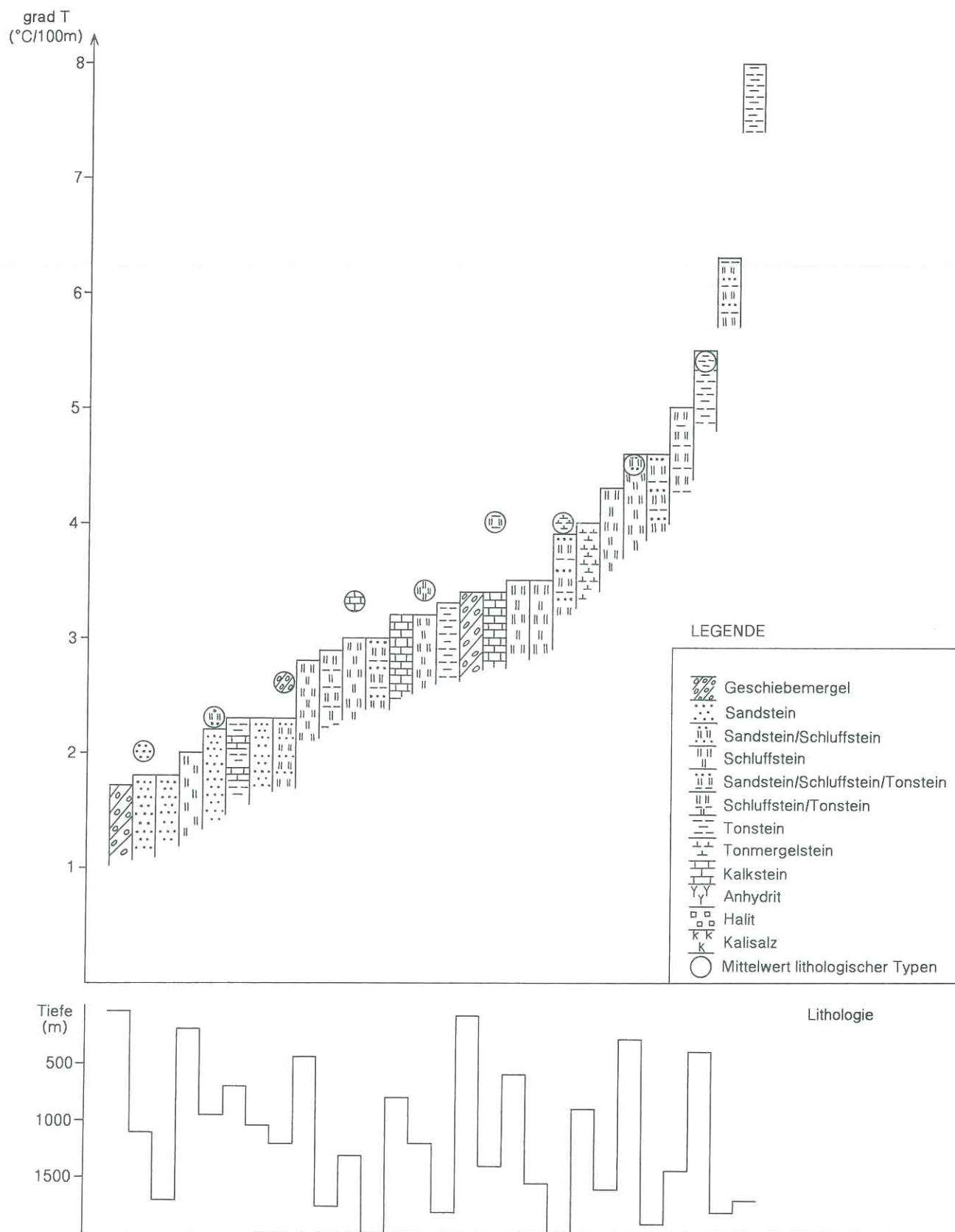


Abb. 8 Beziehung Temperaturgradient - Lithologie und Tiefenlage; Bohrung Gt Neuruppin 1/88

wird weitgehend von der Mächtigkeit und räumlichen Ausdehnung der Salzstrukturen bestimmt. In ca. 3 000 m Teufe sind bei etwa 115 °C ausgeglichene Temperaturverhältnisse ermittelt worden.

Im salinartektonisch stark geprägten Bauplan Brandenburgs ist der durch die Salinarverteilung differenzierte Einfluß bei der flächenhaften Bewertung der Temperaturverteilung von besonderer Bedeutung. In Abhängigkeit von geologischen

Parametern - wie Art, Mineralaufbau, Diagenesegrad - besitzen die Gesteine unterschiedliche thermische Eigenschaften, die die Veränderungen im Temperaturfeld beeinflussen. Am Beispiel der Geothermiebohrung Neuruppin (Gt Nn 1/88), in der nach langer Standzeit ein unverfälschtes Temperaturprofil gemessen wurde, soll die Beziehung der Temperaturverteilung zum erbohrten lithologischen Profil untersucht werden (s. Abb. 7). In der Bohrung wurde ein etwa 2 000 m mächtiges känozoisch-mesozoisches Profil vermessen. Die Zunahme der Temperatur mit der Tiefe (durchschnittlich $3,4\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) erfolgt nicht gleichmäßig. Die im Messpunkt-

abstand von 50 m ermittelte Differenzierung des Temperaturgradienten zwischen ca. $2\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ und $8\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ verdeutlicht die Veränderung mehr als die Temperaturkurve selbst.

Die Differenzierung zeigt eine Abhängigkeit zum lithologischen Profilaufbau. In Abbildung 8 ist diese Beziehung mit aufsteigendem Temperaturgradienten dargestellt. Die Mittelwerte der lithologischen Typen lassen folgenden Trend der Temperaturgradientenentwicklung erkennen: Die geringsten Temperaturgradienten mit $2\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ besitzen Sandsteine. Mit zunehmendem Gradienten folgen sandig-schluffige Se-

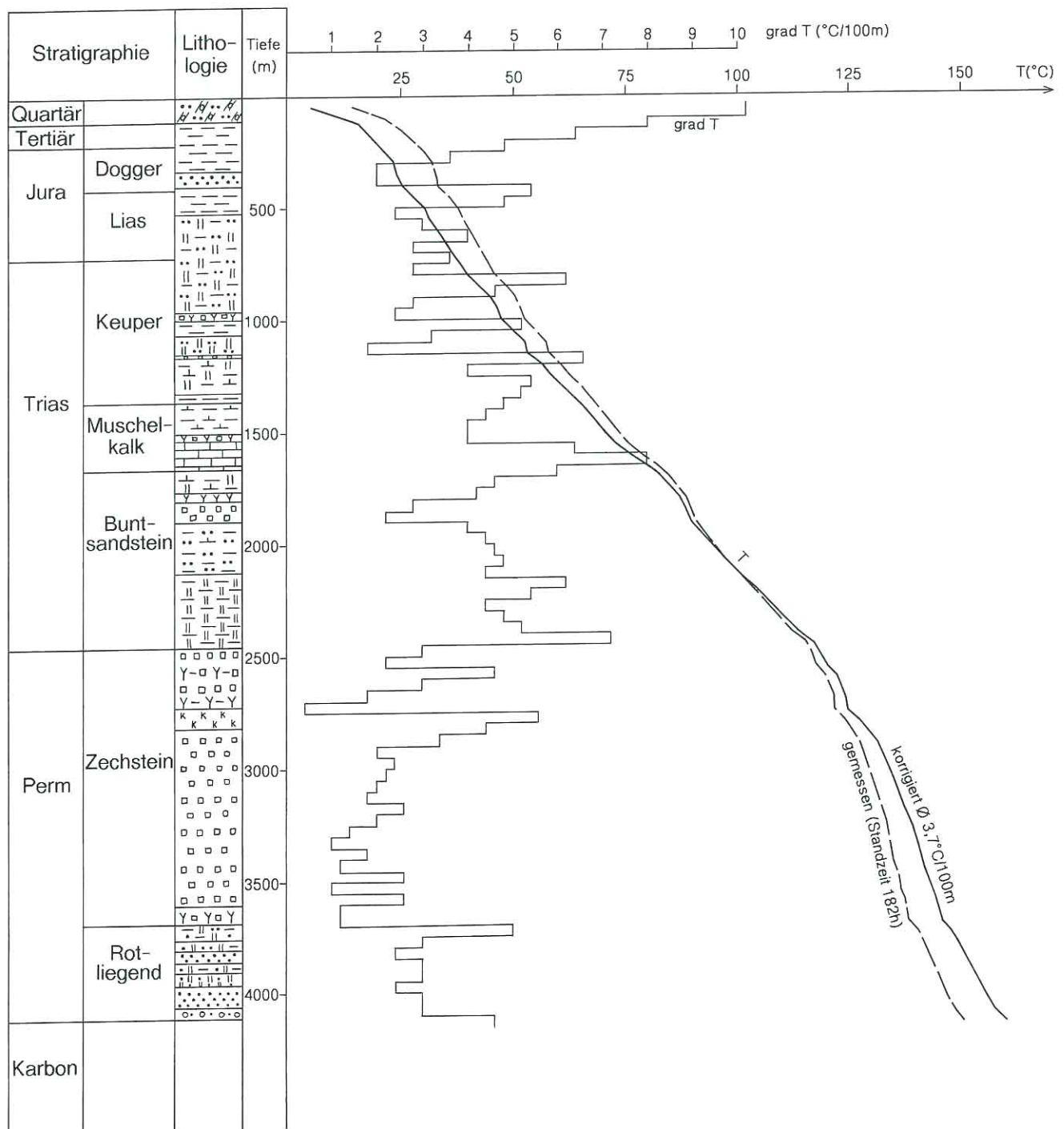


Abb. 9 Temperatur, geothermischer Gradient und Lithologie; Bohrung E Nauen 1/76

dimente, Geschiebemergel, Kalksteine, Schluffsteine, schluffig-tonige Sedimente, Tonmergelsteine und sandig-schluffig-tonige Gesteine, ehe Tonsteine mit etwa $5,5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ den Abschluß bilden. Diese Folge vom grobklastischen zum feinklastischen Sediment entspricht der charakteristischen Wärmestromdichte dieser Gesteine. Eine Tiefenabhängigkeit des Temperaturgradienten (vgl. Abb. 8) ist kaum erkennbar. Eine statistische Sicherheit besitzen die Aussagen jedoch nicht.

Die lithologiebezogene Temperaturverteilung verdeutlicht auch die Darstellung in Abbildung 9. Die Bohrung Nauen (E Na 1/76) hat das Perm durchteuft (Endteufe Karbon) und ist bis $4\ 150\text{ m}$ temperaturvermessen. Dargestellt sind das gemessene und korrigierte Temperatur-Tiefenprofil. Nach der korrigierten Temperaturverteilung ergeben sich sehr unterschiedliche Temperaturgradienten für die Messpunktintervalle. Sie schwanken von ca. $1\text{ bis }10\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ Teufenzunahme bei einem Durchschnittswert von $3,7\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Die niedrigsten Werte charak-

terisieren Zechsteinablagerungen. Auffallend ist ein Maximum um ca. $5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ im Übergangsbereich Kalisalz/Staßfurtstein-salz. Leicht erhöhte Werte im oberen Zechstein sind wahrscheinlich an tonige Anteile (Roter Salzton) gebunden. Die salinaren Einschaltungen im Röt, Muschelkalk und Keuper bilden sich durch relative Minima des Temperaturgradienten ab. Ebenso sind z. B. Sandsteine (Dogger, Aalen), Sand- und Schluffsteine (Keuper, Schilfsandstein, z. T. Rotliegend) durch relativ geringe Gradienten gekennzeichnet. Mit Zunahme feinklastischer Anteile bis zum Tonstein werden erhöhte Werte erhalten (Tertiär, Dogger, Lias, Keuper, Unterer Buntsandstein). Quartäre mergelig-sandige Abschnitte weisen überdurchschnittlich hohe Temperaturgradienten auf. Prinzipiell bestätigen und erweitern die in der Bohrung E Na 1/76 beobachteten Temperaturgradienten die für die Bohrung Gt Nn 1/88 getroffenen Aussagen.

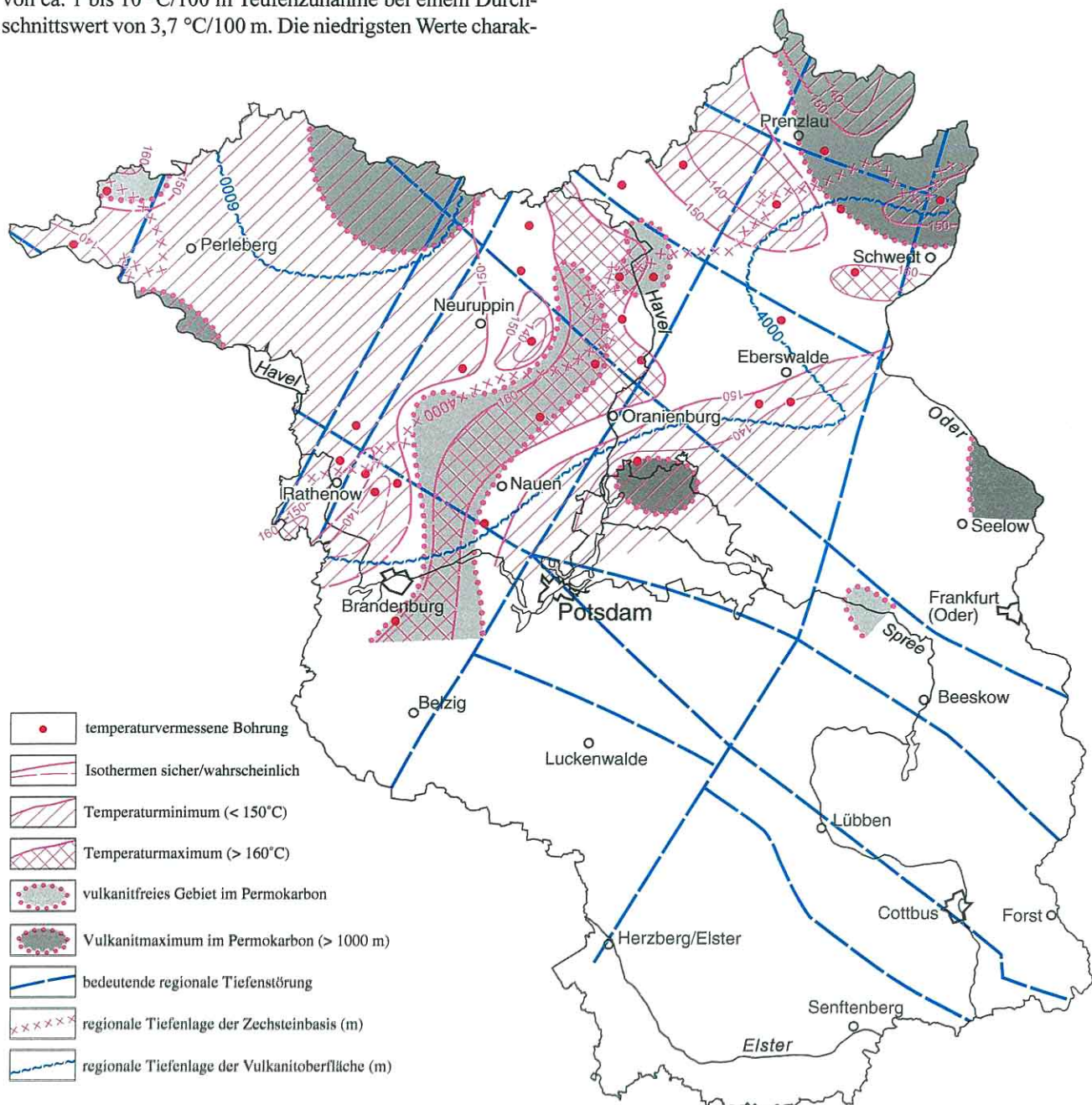


Abb. 10 Temperaturfeld in $4\ 000\text{ m}$ Tiefe

3.2. Beziehung strukturektonischer Bau – Temperaturverteilung

Anhand der in den Bohrungen gemessenen und korrigierten Temperaturen kann die flächenhafte Verteilung des rezenten Temperaturfeldes abgebildet werden. Bei einer Bezugsteufe von 4 000 m - hier liegen Messergebnisse nur für den Nordteil Brandenburgs vor - spiegelt das Temperaturfeld den tiefegeologischen Blockbau mit seinem geologischen Inventar wider (s. Abb. 10). WNW-ESE- und NNE-SSW-streichende Tiefenstörungen gliedern den tieferen Untergrund. Maxima (> 1 000 m) und Minima (vulkanitfreie Gebiete) der permokarbonischen Vulkanite sowie die Tiefenlage der Vulkanitoberfläche stützen diesen Bauplan.

Der Isothermenverlauf folgt weitgehend dem strukturektonischen Baumuster, den Lagerungs- und Mächtigkeitsverhältnissen der für diesen Teufenbereich relevanten unterpermi-

schen und älteren Abschnitte. Das NNE-SSW-streichende Temperaturmaximum von > 160 °C korreliert z. B. deutlich mit dem Vulkanitminimum.

In analoger Weise lässt sich die Temperaturverteilung im 2 000 m-Tiefenniveau (s. Abb. 11) interpretieren. In diesem Tiefenbereich werden zahlreiche Salinarstrukturen (Salzstöcke, Salzkissen) angeschnitten oder die Zechsteinoberfläche liegt nahe bei dieser Teufe. Deshalb ist die Beziehung der regionalen bis lokalen Temperaturverteilung zur Struktur- und Mächtigkeitsgliederung des Zechsteins mit seinen extremen thermischen Eigenschaften stark ausgeprägt. Hochliegendes und mächtiges Salinar in Salzdiapiren und Salzkissen korreliert mit Temperaturmaxima (i. a. > 90 °C); Salzabwande-

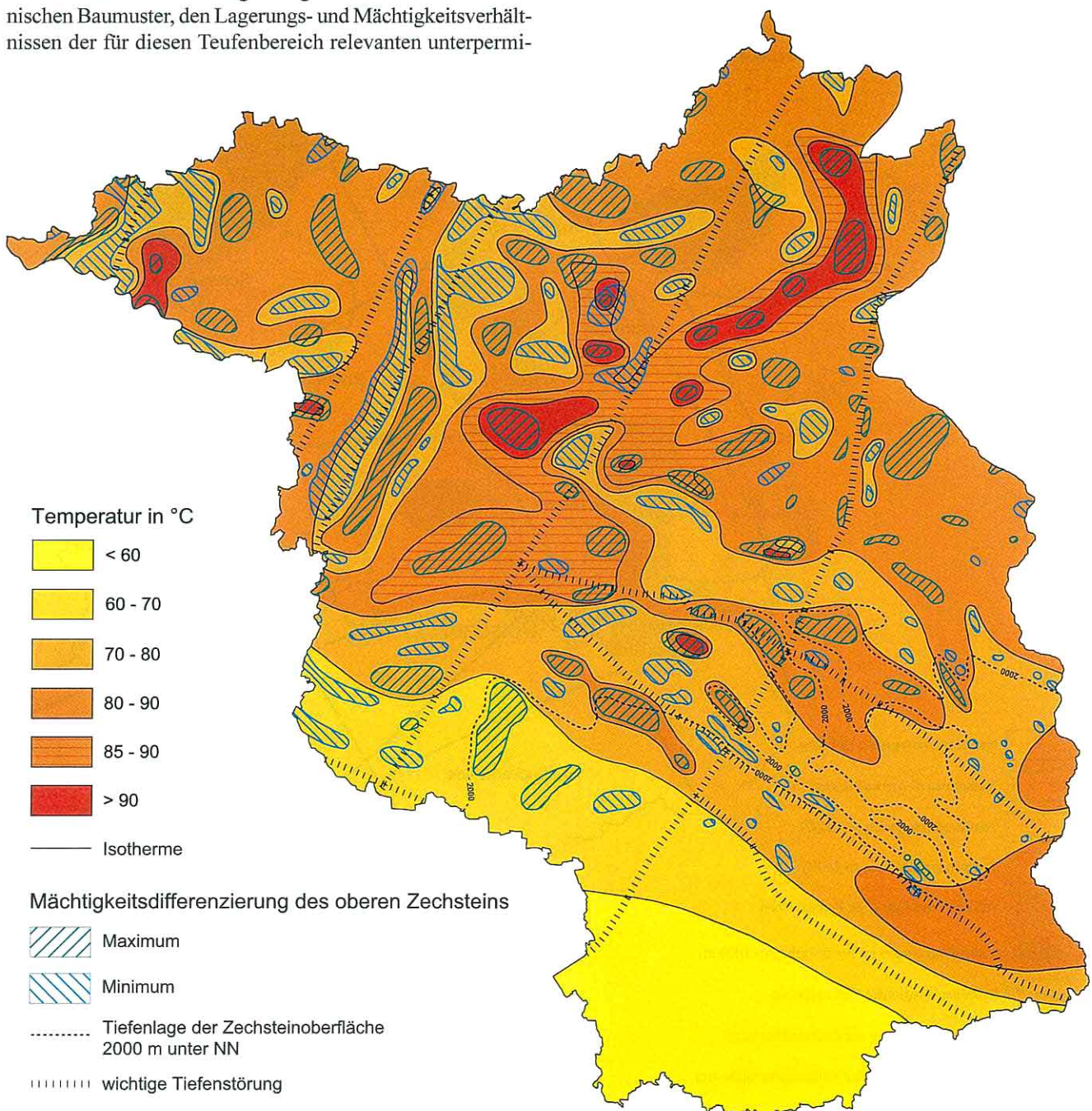


Abb. 11 Temperaturfeld in 2 000 m Tiefe (siehe Atlas zur Geologie von Brandenburg)

rungsgebiete sind merklich "kälter" ($< 80\text{ }^{\circ}\text{C}$). Die Kenntnis des thermischen Verhaltens der Zechsteinsedimente (vgl. Abb. 6) lässt bei Berücksichtigung des salinen Baues auch für nicht temperaturvermessene Bereiche eine zuverlässige Temperaturprognose zu.

Die Bewertung der Temperaturverteilung in mesozoischen Aquifern - vom Mittleren Buntsandstein bis zur Unterkreide sind diese regional verbreitet in Brandenburg ausgebildet - ist für die geothermisch-balneologische Nutzung entscheidend. Am Beispiel der Aquifere im Lias-/Rät-Komplex ist in Abbildung 12 das Temperaturfeld an der Lias-Basis dargestellt. Grundlage sind die temperaturvermessenen Bohrungen und die daraus abgeleitete mittlere Tiefenabhängigkeit der Temperatur von $3,6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

Aufgrund vor allem der regional und lokal stark schwankenden Teufenlage des Aquiferkomplexes ergibt sich ein äußerst differenziertes Bild des Temperaturfeldes. Die Werte liegen in den Grenzen von $< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $> 100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mit der regionalen Zunahme der Tiefenlage von Südosten nach Nordwesten erfolgt in dieser Richtung eine deutliche Temperaturerhöhung. Markant zeichnen sich die salinaren Strukturen (Salzakkumulations-/Salzabwanderungsgebiete) ab, die die Strukturverhältnisse kontrollieren. Der Einfluss des "Schornsteineffektes" über Salinarstrukturen geht infolge mächtiger Überdeckung durch triassische Sedimente (ca. 1 500 - 2 000 m) weitgehend verloren. Die Temperaturverteilung entspricht generell der in DIENER, WORMBS et al. (1988-1992) für den Lias-/Rät-Komplex dargestellten Verteilung.

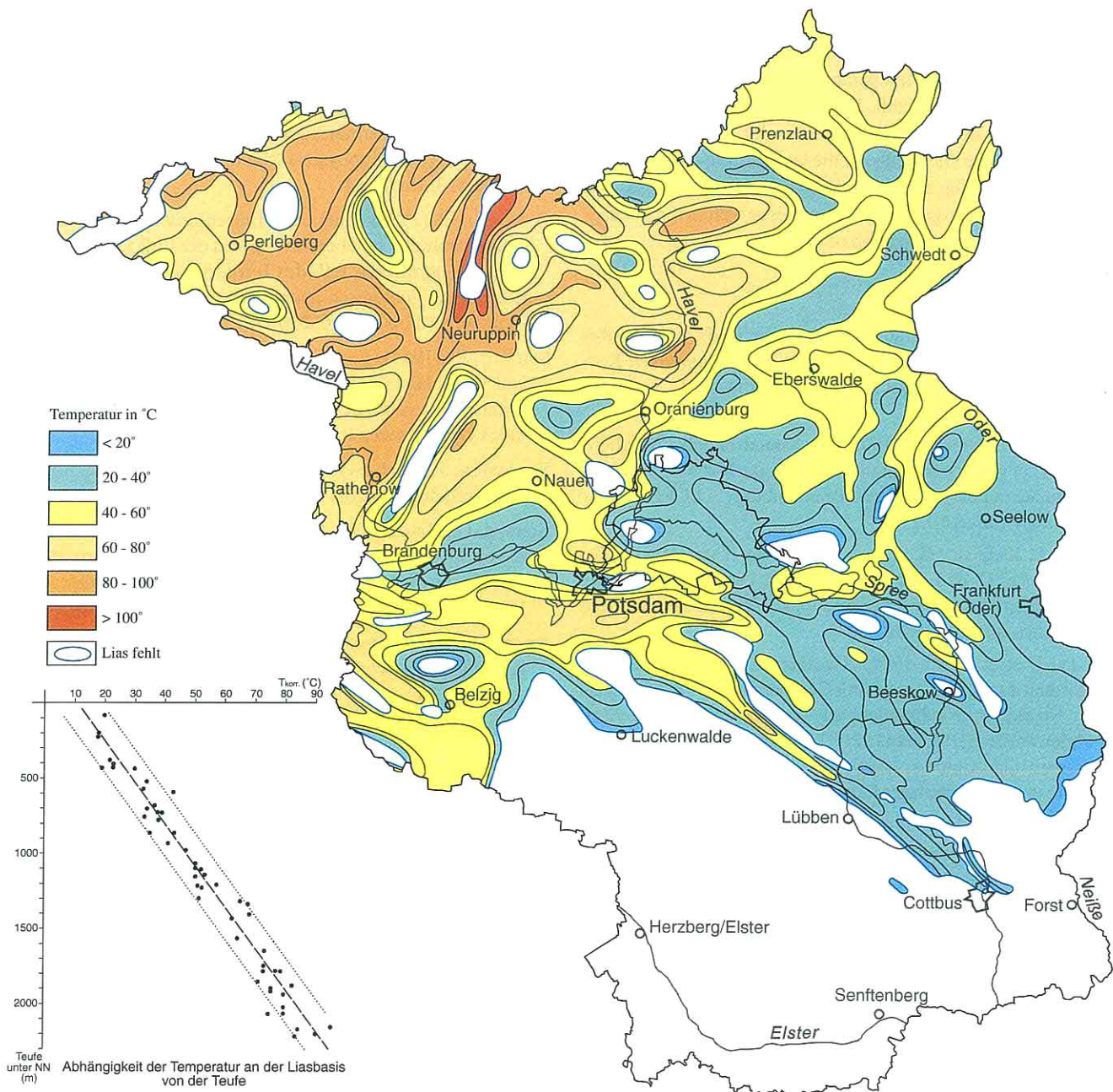


Abb. 12 Temperaturfeld an der Liasbasis

Zusammenfassung

Im Land Brandenburg ist eine Vielzahl von Tiefbohrungen mit kontinuierlichen Temperaturmessungen belegt. Die durch den Bohraufschluss bedingte Beeinflussung des natürlichen Temperaturfeldes kann näherungsweise korrigiert werden. Geologische Einflüsse auf die Verteilung der Temperatur werden an Beispielen untersucht und interpretiert. Bei der flächenhaften Bewertung des Temperaturfeldes werden diese weitgehend berücksichtigt. Die Kenntnis der Temperaturverteilung ist eine wesentliche Basis bei der Interpretation geologischer Prozessabläufe und strukturgeologischer Zusammenhänge und für praktische wirtschaftsrelevante Belange.

Summary

Continuous temperature measurements were made in a great number of deep boreholes in Brandenburg. The disturbances of the original temperature field caused by the drilling process can be approximately corrected. For some selected boreholes the geological effects on the temperature-depth distribution are studied and interpreted in detail. The results are used for the interpretation of the temperature distribution for the whole area of Brandenburg. The knowledge of the temperature distribution is essential for studying and interpreting geological processes and connections between geological structures as well as for the practical and economical utilization of geothermal energy.

Literatur

- BEER, H. (1996): Temperaturmessungen in Tiefbohrungen-Repräsentanz und Möglichkeiten einer näherungsweisen Korrektur. - Brandenburgische geowiss. Beitr. 3, 1, S. 28-34, Kleinmachnow
- BEER, H. & G. ECKHARDT (1995): Sachstandsbericht "Möglichkeiten der gegenwärtigen und zukünftigen Nutzung von geothermischer Energie im Land Brandenburg". - LGRB, Kleinmachnow (unveröff.)
- DIENER, I., KATZUNG, G., KÜHN, P., OELSNER, CHR., HURTIG, E., SCHNEIDER, D. & J. ZSCHERNIG (1984): Geothermieatlas der Deutschen Demokratischen Republik. - 38 S., Zentrales Geologisches Institut, Berlin
- DIENER, I. et al. (1988-1992): Geothermische Ressourcen im Nordteil der DDR, Kartenwerk Geothermie 1 : 200 000, Blätter Neuruppin, Neubrandenburg/Torgelow, Eberswalde/Bad Freienwalde, Berlin/Frankfurt (O.), Magdeburg/Brandenburg, Finsterwalde/Cottbus. - Zentrales Geologisches Institut/Umwelt- und Wirtschaftsgeologie Berlin (unveröff.)
- DUNKER, E. (1872): Über die Benutzung tiefer Bohrlöcher zur Ermittlung der Temperatur des Erdkörpers und die deshalb in dem Bohrloche I zu Sperenberg auf Steinsalz angestellten Beobachtungen. - Z. f. d. Berg-, Hütten- und Salinarwesen in dem Preußischen Staate 20, S. 206-238, Berlin
- HURTIG, E. (1975): Untersuchungen zur Wärme-flußverteilung in Europa. - Gerlands Beitr. Geophys. 84, S. 247-260, Leipzig
- (1994): Land Brandenburg - Bohrungen mit kontinuierlichen Bohrlochtemperaturmessungen. - LGRB, Kleinmachnow (unveröff.)
- (1995): Untersuchungen zur Temperaturtiefenverteilung in Bohrungen des Landes Brandenburg. - LGRB, Kleinmachnow (unveröff.)
- HURTIG, E. & CH. OELSNER (1979): The heat flow field on the territory of the German Democratic Republic. - In: CERMAK, V. & L. RYBACH (eds.): Terrestrial Heat Flow in Europe. - S. 186-190, Berlin (Springer)
- HURTIG, E. & P. SCHLOSSER (1973): Der Wärme-fluß in Mitteleuropa. - Z. geol. Wiss. 1, S. 461-466, Berlin
- (1976a): Geothermal studies in the GDR and relations to the geological structure. - In: ADAM, A. (ed.): Geoelectric and geothermal studies (East-Central Europe, Soviet Asia). - KAPG Geophysical Monograph, Akademiai Kiado, S. 384-394, Budapest
- (1976b): Vertical changes of the heat flow in boreholes in the North-German sedimentary basin. - In: ADAM, A. (ed.): Geoelectric and geothermal studies (East-Central Europe, Soviet Asia). - KAPG Geophysical Monograph, Akademiai Kiado, S. 395-401, Budapest
- HURTIG, E., CERMAK, V., HÄNEL, R. & V. ZUI (1991): Geothermal Atlas of Europe. - S. 38-40, Gotha (Haack)
- OELSNER, CH. (1976): Vertical temperature distribution in the North-German-Polish basin and its relation to the North-German-Polish conductivity anomaly. - In: ADAM, A. (ed.): Geoelectric and geothermal studies (East-Central Europe, Soviet Asia). - KAPG Geophysical Monograph, Akademiai Kiado, S. 509-513, Budapest
- SCHLOSSER, P. (1968): Eine erste Einschätzung der geothermischen Parameter im obersten Bereich der Erdkruste des mittleren und nördlichen Teils des Territoriums der DDR und ihre Bindung an geologisch-geophysikalische Strukturelemente. - Freiburger Forsch.H. C 238, S. 13-22, Leipzig
- SCHMIDT, K. (1981): Einschätzung, Bewertung, Möglichkeiten und Vorschläge für die wirtschaftliche Nutzung des geothermischen Potentials des Territoriums der DDR. - 210 S., Zentrales Geologisches Institut Berlin (unveröff.)
- SCHÖSSLER, K. & J. SCHWARZLOSE (1959): Geophysikalische Wärme-flußmessungen. - Freiburger Forsch.H. C 75, Leipzig
- SCHWAB, G., STACKEBRANDT, W., MANHENKE, V., BEER, H., ECKHARDT, G. & B. RECHLIN (1993): Geologische Voraussetzungen für die Nutzung von Thermal- und Mineralwässern im Land Brandenburg. - LGRB Kleinmachnow (unveröff.)
- STACKEBRANDT, W., EHMKE, G. & V. MANHENKE (Hrsg.) (1997): Atlas zur Geologie von Brandenburg. - LGRB, Kleinmachnow
- ZIEGENHARDT, W., SCHÖN, M. & W. GILCH (1980): Einige Ergebnisse der strukturgeologischen Erkundung von Untergrundspeichern. - Z. angew. Geol. 26, S. 165-171, Berlin

Mitteilung aus dem Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg, No. 131

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Geol. Horst Beer
Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg
Stahnsdorfer Damm 77
14532 Kleinmachnow

Prof. Dr. em. Eckart Hurtig
Beethovenstraße 34
14480 Potsdam