

Inkohlung und Geothermik in meso- und paläozoischen Sedimenten der Nordschweiz und Vergleich zu Inkohlungsdaten aus Süddeutschland

Autor(en): **Wolf, Monika / Hagemann, Hans W.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **80 (1987)**

Heft 2: **Beiträge zur Geologie der Nordschweiz : Symposium "Geologie der Nordschweiz"**

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-166012>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Inkohlung und Geothermik in meso- und paläozoischen Sedimenten der Nordschweiz und Vergleich zu Inkohlungsdaten aus Süddeutschland

Von MONIKA WOLF und HANS W. HAGEMANN¹⁾

ZUSAMMENFASSUNG

Es wurden Inkohlungsuntersuchungen an Proben aus den Bohrungen Schafisheim, Riniken und Weiach (Nordschweiz) ausgeführt. Sie weisen auf eine relativ hohe Inkohlung in den Flözen stefanischen Alters, angetroffen in der Bohrung Weiach, hin. Sie wird auf ungewöhnlich starke Erwärmung im ausgehenden Paläozoikum zurückgeführt. Die Sedimente aus den mesozoischen Schichtfolgen haben bei heute unterschiedlicher Teufenlage in der ganzen Nordschweiz ungefähr den gleichen Inkohlungsgrad. Deren Diagenese muss also vor den letzten tektonischen Ereignissen abgeschlossen gewesen sein.

Eine ähnliche Temperaturgeschichte lässt sich auch für die durch die Bohrung Urach 3 erschlossenen paläozoischen und mesozoischen Schichten im Schramberger Trog ableiten, einer dem Nordschweizer Permokarbondrog vergleichbaren Struktur in Süddeutschland.

ABSTRACT

Coalification studies were carried out on samples of the boreholes Schafisheim, Riniken and Weiach (northern Switzerland). They show a relative high rank of the coals of Stephanian age explored by the Weiach borehole. The phenomenon is explained by unnormal high heating of the seams during the late Palaeozoic. The sediments of Mesozoic age have more or less the same rank in northern Switzerland, although they are situated today at different depth. The coalification process of these sediments must have been finished before the last tectonic events occurred.

A similar development of temperatures and rank is derivable for the Palaeozoic and Mesozoic of the Schramberg trough, explored by the borehole Urach 3. The structure of this trough, situated in South Germany, is similar to the Permocarboiferous trough of Northern Switzerland.

1. Bemerkungen zur Methodik und Probenauswahl

Die Inkohlungsgradbestimmung am organischen Material in Sedimenten ist eine von mehreren Möglichkeiten, Anhaltspunkte über den Diageneseegrad der Sedimente zu erhalten. Im allgemeinen wird der Inkohlungsgrad mit Hilfe mikroskopischer Reflexionsmessungen an Vitriniten, den aus humosen Substanzen hervorgegangenen organischen Bestandteilen im Sediment, festgestellt. Da aber die Sedimente häufig arm an vitrinitischen Einlagerungen sind – im vorliegenden Fall betrifft das vor allem die Ablagerungen

¹⁾ Lehrstuhl für Geologie, Geochemie und Lagerstätten des Erdöls und der Kohle, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Lochnerstrasse 4–20, D–5100 Aachen.

aus dem Mesozoikum –, bedient man sich zusätzlich der Fluoreszenzmikroskopie und misst die Spektren der durch die Bestrahlung mit kurzwelligem Licht zur Fluoreszenz angeregten Liptinite (fossile Algen, Sporen, Pollen, Kutikulen usw.).

Zwei Arten von Fluoreszenzmessungen werden üblicherweise ausgeführt: die Registrierung des gesamten Spektrums von 400 bis 700 nm Wellenlänge oder Intensitätsmessungen von ausgewählten Wellenlängen (bevorzugt wird bei 546 nm gemessen). Aus den Spektren lassen sich charakteristische Kennwerte wie λ_{\max} (Wellenlänge der grössten Intensität) oder Q (Rot/Grün-Quotient, kalkuliert aus den Intensitäten bei 650 nm und 500 nm) entnehmen.

Die Methoden sollen nicht im einzelnen beschrieben werden, festzuhalten ist nur, dass der Reflexionsgrad des Vitrinites mit steigender Inkohlung zunimmt und die Fluoreszenzfarben der verschiedenen Liptinite sich von Grün nach Rot verschieben, wobei die Intensität gleichzeitig abnimmt. Daraus folgt, dass sich λ_{\max} zu immer höheren Wellenlängen verschiebt und der Wert für Q ansteigt.

Untersucht wurden (von Süden nach Norden) die Bohrungen Schafisheim (südwestlich Lenzburg), Riniken (nordwestlich Brugg) und Weiach (westlich Glattfelden) auf schweizerischem Gebiet, wobei die Bohrung Weiach aufgrund des durch sie vom Tertiär bis in das Karbon hinein aufgeschlossenen Profils die meisten Aussagen erlaubt (WOLF et al., im Druck). Aus dem süddeutschen Raum wurden die Bohrungen Dingelsdorf 1 und Urach 3 in die Betrachtungen einbezogen (M. & R. TEICHMÜLLER 1975, BUNTEBARTH et al. 1979).

Während es bei der Bohrung Weiach möglich war, fast über das gesamte Profil hinweg die Inkohlung über Reflexionsdaten zu bestimmen, musste bei den Bohrungen

Tabelle 1: Inkohlungsgradbestimmungen an Vitriniten und Liptiniten.

Bohrung Riniken

Teufe (m)	Stratigraphie	Rr % (gemessen)	Rr % (kalkuliert)
58	Malm	<u>0.39</u> ?	
280	Dogger		<u>0.40</u>
343	Dogger		<u>0.55</u>
371	Dogger	0.35	0.35
393	Dogger		<u>0.42</u>
459	Lias	0.43	
483	Lias	0.46	
625	Muschelkalk		<u>0.60</u>
703	Muschelkalk	0.44	0.47
754	Muschelkalk	0.45	<u>0.95</u>

Bohrung Schafisheim

Teufe (m)	Stratigraphie	Rr % (gemessen)	Rr % (kalkuliert)
710	Malm	<u>0.39</u>	
971	Dogger	<u>0.45</u>	
1016	Dogger		<u>0.50</u>
1103	Lias	0.46	
1225	Keuper		<u>0.60</u>
1446	Muschelkalk	0.47	<u>0.90</u>

Schafisheim und Riniken zum Teil auf die Fluoreszenzanalyse zurückgegriffen werden. Um zu einer einheitlichen Darstellung des Inkohlungsverlaufs in den Bohrungen zu gelangen, wurden die Fluoreszenzdaten nach den von OTTENJANN (1982) veröffentlichten Beziehungen in fiktive Reflexionswerte (R_r , kalkuliert) umgerechnet. Die gemessenen und kalkulierten Reflexionsdaten bilden gemeinsam die Grundlage für die hier vorzustellenden Ergebnisse.

Die Zusammenstellung der Daten aus den Bohrungen Schafisheim und Riniken (Tab. 1) zeigt, dass nicht alle Messungen inkohlungstypische Werte geliefert haben. Zum Teil ist mit Nachfall zu rechnen. Ausserdem spielt in den Sedimenten mesozoischen Alters, zum Teil aber auch in den Kohlen aus dem Karbon, die Tränkung der Vitrinite durch bituminöse Substanzen eine Rolle. Dadurch wird ihr Reflexionsgrad herabgesetzt, die Messwerte sind nur bedingt brauchbar. In solchen Zweifelsfällen kann man nur auf Fluoreszenzdaten aufbauen. Die für die Beschreibung des Inkohlungsverlaufs in den einzelnen Bohrungen herangezogenen Werte wurden in Tabelle 1 unterstrichen. – Tabelle 2 enthält eine Zusammenstellung der für die Untersuchung herangezogenen Reflexionsdaten aus der Bohrung Weiach.

Im allgemeinen wurde die sogenannte mittlere Reflexion bestimmt, d. h., es wurde in Körnerpräparaten an willkürlich orientierten Stücken im unpolarisierten Licht die an den polierten Flächen des Vitrinites auftretende zufällige Reflexion gemessen. Diese Messwerte sind durch die Abkürzung R_r (= random reflectance) gekennzeichnet. Dieser Begriff setzt sich neuerdings aus sprachlichen Gründen immer mehr durch, um Konfusionen zwischen «mittlerer Reflexion» und «Mittelwert» im Deutschen sowie «mean» und

Tabelle 2: Ergebnisse der Reflexionsmessungen an Proben aus der Bohrung Weiach.

Teufe (m)	Stratigraphie	Rmax %
365,12	ob. Oxfordien	0.46
500,50	Bathonien	0.55
575,00	Aalenien	0.60
631,79	Aalenien	0.60
818,33	unt. Keuper	0.62
946,86	unt. Muschelkalk	0.62
965,20	unt. Muschelkalk	0.70
1313,75	unt. Autunien	0.74
1362,55	unt. Autunien	0.75
1403,24	unt. Autunien	0.81
1481,33	Stephanien C+D	0.90
1541,75–1542,07	Stephanien C+D	0.98
1560,23–1561,69	Stephanien C+D	0.98
1562,10	Stephanien C+D	1.05
1585,00–1585,41	Stephanien C+D	1.00
1587,05–1590,00	Stephanien C+D	1.01
1623,05	Stephanien C+D	1.06
1699,57	Stephanien C+D	1.14
1740,35	Stephanien C+D	1.18
1748,91	Stephanien C+D	1.20
1772,40	Stephanien C+D	1.32
1796,30	Stephanien C+D	1.51
1838,16	Stephanien C+D	1.23
1871,45	Stephanien A+B	1.39
1949,05	Stephanien A+B	1.46
1952,75	Stephanien A+B	1.85
2015,75	Stephanien A+B	1.85

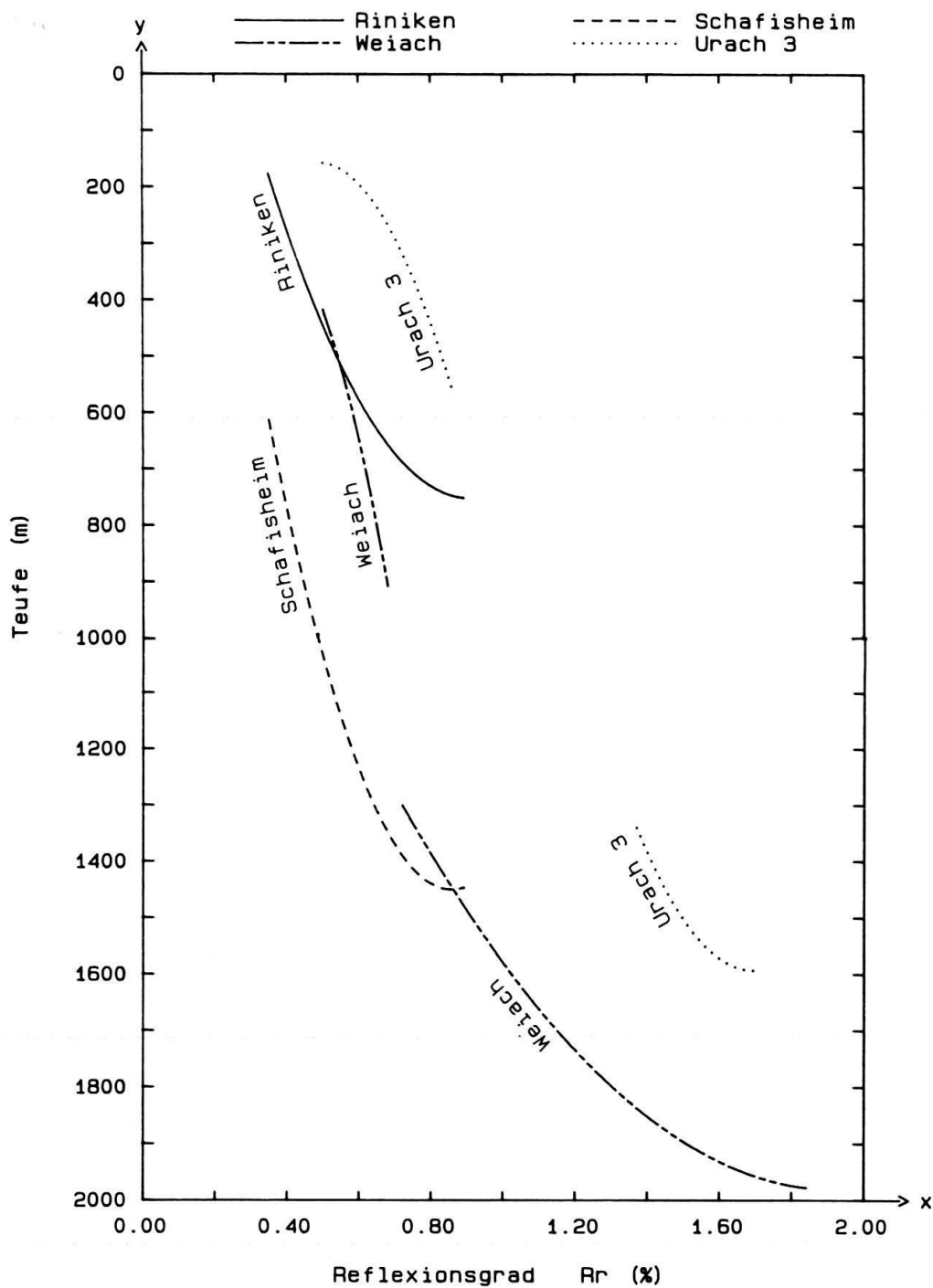


Fig. 1. Inkohlungskurven der Bohrungen Riniken, Schafisheim, Weiach und Urach 3, die auf folgenden Regressionsgleichungen und Korrelationskoeffizienten basieren:

Riniken, Mesozoikum:	$y = -1510 x^2 + 2622 x - 388$; $r = 0,55$
Schafisheim, Mesozoikum:	$y = -3940 x^2 + 6220 x - 977$; $r = 0,74$
Weiach, Mesozoikum:	$y = 2602 x^2 - 227 x - 106$; $r = 0,89$
Weiach, Paläozoikum:	$y = -470 x^2 + 1808 x + 241$; $r = 0,98$
Urach 3, Mesozoikum:	$y = 2908 x^2 - 2832 x + 846$; $r = -0,95$
Urach 3, Paläozoikum:	$y = -2424 x^2 - 8211 x - 5358$; $r = 0,96$

«average» im Englischen zu vermeiden. An den Proben aus der Bohrung Weiach wurde die maximale Reflexion des Vitrinites, abgekürzt R_{\max} , gemessen, weil sich schon bei relativ geringer Inkohlung ein deutlicher Reflexionspleochroismus bemerkbar machte. Die Mittelwerte der Zufallsreflexion schwankten so stark, dass sich daraus kein Inkohlungstrend ablesen liess (s. auch WOLF et al., im Druck).

Wenn in dieser Arbeit R_r - und R_{\max} -Werte direkt miteinander in Beziehung gesetzt werden, so ergibt sich daraus kein merklicher Fehler, denn bei niedriger Inkohlung sind die Unterschiede zwischen R_r und R_{\max} gering (STACH'S Textbook 1982, S. 48). Ausserdem ist die Standardabweichung der Messungen am dispers verteilten Vitrinit in den Sedimenten so gross, dass die Differenz zum Mittelwert der maximalen Reflexion, bestimmt am Vitrinit der Flözkohlen aus der Bohrung Weiach, eingeschlossen ist.

2. Ergebnisse

Da zwischen dem Inkohlungsverlauf im Bereich der mesozoischen und paläozoischen Sedimente grosse Unterschiede bestehen, wurden die Inkohlungskurven für die beiden Zeitabschnitte getrennt berechnet.

Wie an den einzelnen Kurven zu erkennen ist (Fig. 1), haben sie ganz unterschiedliche Position und Neigung. Das heisst, dass die Inkohlung im Bereich der einzelnen Bohrungen bei gleicher heutiger Teufe ganz unterschiedlich hoch ist und unterschiedlich schnell zunimmt. Die Unterschiede verschwinden jedoch weitgehend, sobald man – unabhängig von der heutigen Teufenlage – die Sedimente bestimmter Zeitabschnitte hinsichtlich ihres Inkohlungsgrades miteinander vergleicht. Die tabellarische Zusammenstellung (Tab. 3) lässt erkennen, dass von Schafisheim im Süden bis Urach im Norden die in den Jura einzustufenden Sedimente fast gleichen Inkohlungsgrad haben mit leicht ansteigender Tendenz von Süden nach Norden. Die Trias-Schichten sind im Bereich der Nordschweiz alle gleich stark inkohlt, in der Bohrung Urach 3 jedoch wurde durch M. TEICHMÜLLER ein wesentlich höherer Inkohlungsgrad bestimmt (BUNTEBARTH et al. 1979). Bei Betrachtung der paläozoischen Schichten fällt auf, dass an der Basis des Profils, direkt über dem Kristallin, in den Gesteinen stefanischen Alters der Bohrungen Weiach und Urach 3 der gleiche Reflexionsgrad bestimmt wurde.

Aus den berechneten Kurven wurden ausserdem die einzelnen Inkohlungsgradienten (% R/100 m) ermittelt und einander gegenübergestellt (Tab. 4). Sie sind am höchsten in der mesozoischen Schichtenfolge der Bohrung Riniken und im paläozoischen Abschnitt der Bohrung Weiach. BUNTEBARTH et al. (1979) haben aus dem relativ hohen Inkohlungsgradienten im Bereich der Bohrung Urach 3 geschlossen, dass er ein Anzeiger «für einen

Tabelle 3a: Vergleich des Inkohlungsgrades mesozoischer Sedimente aus verschiedenen Bohrungen.

Stratigraphie		Bohrungen			
		Schafisheim	Riniken	Weiach	Urach 3
Jura	Malm	0.39	0.39	0.46	-
	Dogger	0.45-0.50	0.40-0.55	0.55-0.60	0.5-0.7
	Lias*	0.46	0.43-0.46	-	0.4-0.59
Trias	Keuper	0.60	-	0.62	0.83-0.90
	Muschelkalk	0.90	0.60-0.95	0.62-0.70	-

Tabelle 3b: *Vergleich des Inkohlungsgrades paläozoischer Sedimente aus verschiedenen Bohrungen.*

Stratigraphie	Bohrungen		
	Weiach	Dingelsdorf 1	Urach 3
Perm	-	-	1.33-1.76
Karbon	o. 74-1.85	ca. 1,4	1.79-1.84

relativ grossen geothermischen Gradienten in der geologischen Vergangenheit» ist. Dieser Schluss basiert vor allem auf dem Vergleich mit den aus dem Ruhrgebiet bekannten, wesentlich niedrigeren Inkohlungsgradienten. Der aus dem Datenmaterial für die Bohrung Urach 3 berechnete geothermische Gradient von 46°C/km bestätigt diese Aussage eigentlich nicht, denn für das Ruhrgebiet wurden Gradienten von 58 bis 91°C/km im Karbon berechnet (BUNTEBARTH et al. 1982).

Tabelle 4: *Vergleich der Inkohlungsgradienten (% Reflexion/100 m Teufe)*

Zeitabschnitt	Bohrung			
	Schafisheim	Riniken	Weiach	Urach 3
Trias-Jura	o. 065 (o. 35-0.90 % Rr)	o. 096 (o. 35-0.90 % Rr)	o. 037 (o. 5-0.7 % Rr)	o. 084 (o. 5-0.9 % Rr)
Stefan-Rotliegend			o. 167 (o. 7 - 1.85 % Rmax)	o. 117 (1.35-1.7 % Rr)

Nach dem von BUNTEBARTH (1979) entwickelten Verfahren zur empirischen Berechnung des paläogeothermischen Gradienten ist auch für die Bohrung Weiach der Temperaturgradient bestimmt worden. Zugrunde gelegt wurde dafür die Versenkungskurve von DIEBOLD & MÜLLER (1985). Wie schon von BUNTEBARTH et al. (1979) im Zusammenhang mit der Bohrung Urach 3 ausgeführt, lässt sich für das Stefan kein Temperaturgradient angeben, weil nach dem Versenkungsdiagramm die Schichten zu dieser Zeit nicht tief genug versenkt waren, um einen eventuell hohen Temperaturgradienten erkennen zu lassen. Für das Perm und das Mesozoikum wurde nach der genannten Methode ein Temperaturgradient von 37°C/km errechnet. Unter Hinzurechnung von 15°C Oberflächentemperatur ergeben sich daraus 90°C in 2000 m Tiefe. Diese Temperatur reicht nicht aus, um Fett- bis Esskohlen entstehen zu lassen, wie sie im Stefan der Bohrung Weiach vorkommen. Es muss also zeitweilig ein höherer Temperaturgradient vorhanden gewesen sein und/oder die Stefan-Schichten haben sich zeitweise in grösserer Tiefe befunden. Beides wird auch von KEMPTER (1987) angenommen, der durch seine Maturitätsberechnungen zu dem Schluss kommt, dass die Reifung der organischen Substanz in den Schichten permokarbonischen Alters auf starke Wärmeeinwirkung bis zum Unterperm zurückzuführen ist. Ausserdem vermutet KEMPTER im Bereich zwischen 1150 m und 1251 m Teufe eine Erosionsdiskordanz. In diesem Bereich sollen etwa 1000 m Sediment der Abtragung zum Opfer gefallen sein, woraus sich indirekt für die dem Oberkarbon zuzurechnenden Schichten ebenfalls eine grössere ursprüngliche Teufe ergäbe. Eine so beachtliche Schichtlücke sollte sich jedoch in einer sprunghaften Änderung des Inkohlungsgrades unter- und oberhalb der Erosionsdiskordanz bemerkbar machen, was nicht

der Fall ist. Bei 1313,75 m Teufe (unteres Autunien) wurden 0,74% \bar{R}_{\max} gemessen, etwa 350 m höher, bei 965,20 m Teufe (unterer Muschelkalk) beträgt die Vitrinitreflexion 0,70% \bar{R}_{\max} .

Das Absenkdiagramm von DIEBOLD & MÜLLER zeigt für das jüngere Tertiär eine mögliche Versenkung der paläozoischen Schichten bis 2500 m an, die jedoch auch nicht ausreicht, um bei einem Gradienten von 37°C/km die Stefan-Schichten in die erforderlichen Temperaturbereiche gelangen zu lassen. Ausserdem ist die für die Inkohlung zur Verfügung stehende Zeit dann recht kurz. Nach BOSTICK et al. (1979) muss bei einer Zeit von 10 Mio. Jahren die Temperatur 180°C betragen, wenn das Fett- bis Esskohlenstadium erreicht werden soll.

3. Auswertung

Die Inkohlungsuntersuchungen in den einzelnen Bohrungen zeigen ein teils gut übereinstimmendes, zum Teil aber auch widersprüchliches Bild. Festzuhalten bleibt folgendes:

1. Die organische Substanz der mesozoischen Sedimente hat von Schafisheim im Süden bis Urach im Norden – unabhängig von ihrer heutigen Teufenlage – den gleichen Inkohlungsgrad erreicht. Geht man davon aus, dass die Lage der Sedimente im Bereich der Bohrung Schafisheim noch \pm der grössten Absenkung entspricht, dann muss im Bereich der Bohrung Riniken nach der Inkohlung eine Hebung von rund 650 m erfolgt sein, und auch die in der Bohrung Weiach angetroffenen Schichten befinden sich nicht mehr in der Position tiefster Absenkung, wie auch aus dem Absenkdiagramm hervorgeht. Diese Kalkulation bestätigt die Profildarstellung von DIEBOLD & MÜLLER (1985, Fig. 17). Sie erlaubt ausserdem die Schlussfolgerung, dass der Nordschweizer Permokarbon-Trog ursprünglich tiefer eingesenkt war, als es heute den Anschein hat. Für die Bohrung Urach ergibt sich neben einer Hebung auch der Schluss, dass die mesozoischen Schichten kaum von Nachinkohlung betroffen sein können. Im Gegensatz zu BUNTEBARTH et al. (1979) ist daraus zu schliessen, dass die heute nachweisbare geothermische Anomalie von Urach sehr jung sein muss bzw. in jüngster Zeit wieder aufgelebt ist.
2. Der Inkohlungsgradient für das Mesozoikum der Bohrung Weiach ist so niedrig, dass keinesfalls daraus auf einen wärmespendenden Magmenherd in grösserer Tiefe während des Mesozoikums geschlossen werden kann. Im Bereich der Bohrung Urach 3 ist zwar für den gleichen Zeitabschnitt ein überdurchschnittlich hoher Inkohlungsgradient nachzuweisen, der aber nicht auf magmatische Einwirkungen zurückzuführen sein muss. Erhöhte zum Teil schwankende Inkohlungsgradienten scheinen in Gräben häufiger vorzukommen, wie Beispiele aus dem Oberrheintalgraben zeigen (TEICHMÜLLER 1979). Auch die Bohrung Riniken ist durch einen recht hohen Inkohlungsgradienten ausgezeichnet.
3. Die relativ schnelle Zunahme der Inkohlungswerte mit der Teufe in der paläozoischen Schichtenfolge der Bohrungen Weiach und Urach 3 (0,17 bzw. 0,12% R/100 m, im Gegensatz dazu im Ruhrgebiet 0,08% R/100 m im gleichen Reflexionsbereich) lässt sich durch das vorhandene Datenmaterial nicht eindeutig erklären. Am ehesten wäre an die Auswirkungen magmatischen Geschehens im Permokarbon zu denken. Dafür sprechen die durch die Bohrung Weiach aufgeschlossenen Tuffite im Stefan.

4. Der nach der Methode von BUNTEBARTH (1979) für das Profil der Bohrung Weiach berechnete geothermische Gradient von 37°C/km lässt nicht auf magmatische Einwirkung auf die Sedimente in nachpermischer Zeit schliessen.
5. Alle Daten zusammengenommen, ergibt sich für den Bereich der Nordschweiz ein recht einheitliches Bild der mit der Teufe zunehmenden Diagenese (Abb. 1). Die Bohrung Riniken fällt daraus zum Teil heraus, weil die Schichten gehoben sind. Am besten werden die Verhältnisse wiedergegeben, wenn man die Kurven von Schafisheim und dem paläozoischen Teil der Bohrung Weiach aneinanderhängt. Sie ergeben eine Art «Normalprofil» für das geothermische Geschehen in der Nordschweiz. Danach ist die Inkohlungs Zunahme mit der Teufe durch einen durchschnittlichen Gradienten von 0,07% R/100 m gekennzeichnet.

Verdankungen

Die hier vorgelegten Untersuchungen wurden auf Anregung von Herrn Prof. Dr. A. Matter (Geologisches Institut der Universität Bern) im Auftrag der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) ausgeführt. Herrn Prof. Matter danken wir für seine Unterstützung der Arbeit, der Nagra für die freundliche Erlaubnis, die Untersuchungsergebnisse veröffentlichen zu dürfen.

Frau M. Merzenich hat den paläogeothermischen Gradienten in der Bohrung Weiach berechnet und die Daten dargestellt, dafür sei ihr ebenfalls gedankt.

Besonderen Dank schulden wir Herrn Prof. B. Kübler (Laboratoire de Minéralogie, Pétrographie et Géochimie, Université de Neuchâtel) für die kritische Durchsicht des Manuskripts und die wertvollen Anregungen.

LITERATURVERZEICHNIS

- BUNTEBARTH, G. (1979): Eine empirische Methode zur Berechnung von paläogeothermischen Gradienten aus dem Inkohlungsgrad organischer Einlagerungen in Sedimentgesteinen mit Anwendung auf den mittleren Oberrheingraben. – *Fortschr. Geol. Rheinl. Westfal.* 27, 97–108.
- BUNTEBARTH, G., GREBE, H., TEICHMÜLLER, M., & TEICHMÜLLER, R. (1979): Inkohlungsuntersuchungen in der Forschungsbohrung Urach 3 und ihre geothermische Interpretation. – *Fortschr. Geol. Rheinl. Westfal.* 26, 183–199.
- BUNTEBARTH, G., KOPPE, I., & TEICHMÜLLER, M. (1982): Paleogeothermics in the Ruhr basin. In: ČERMÁK, V., & HÄNEL, R. (Ed.): *Geothermics and Geothermal Energy* (S. 45–55). – Schweizerbart, Stuttgart.
- BOSTICK, N. H., CASHMAN, S. M., MCCULLOH, T. H., & WADDEL, C. T. (1979): Gradients of vitrinite reflectance and present temperature in the Los Angeles and Ventura Basins, California. In: OLTZ, D. F. (Ed.): *Low temperature metamorphism of kerogen and clay minerals* (S. 65–96). – Los Angeles.
- DIEBOLD, P., & MÜLLER, W. H. (1985): Szenarien der geologischen Langzeitsicherheit: Risikoanalyse für ein Endlager für hochaktive Abfälle in der Nordschweiz. – *Nagra Techn. Ber.* NTB 84–26.
- HOCHULI, P. A. (1985): Palynostratigraphische Gliederung und Korrelation des Permo-Karbon der Nordostschweiz. – *Eclogae geol. Helv.* 78/3, 719–831.
- KEMPTER, E. H. K. (1987): Fossile Maturität, Paläothermogradienten und Schichtlücken in der Bohrung Weiach im Lichte von Modellberechnungen der thermischen Maturität. – *Eclogae geol. Helv.* 80/2, 543–552.
- OTTENJANN, K. (1982): Verbesserungen bei der mikroskopphotometrischen Fluoreszenzmessung an Kohlenmaceralen. – *Zeiss Inform.* 26/93, 40–46.
- STACH, E., MACKOWSKY, M.-TH., TEICHMÜLLER, M., TAYLOR, G. H., CHANDRA, D., & TEICHMÜLLER, R. (1982): *Stach's Textbook of Coal Petrology* (3. Aufl.) – Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart.
- TEICHMÜLLER, M. (1979): Die Diagenese der kohligen Substanzen in den Gesteinen des Tertiärs und Mesozoikums des mittleren Oberrhein-Grabens. – *Fortschr. Geol. Rheinl. Westfal.* 27, 19–49.
- TEICHMÜLLER, M., & TEICHMÜLLER, R. (1975): Inkohlungsuntersuchungen in der Molasse des Alpenvorlandes. – *Geol. Bav.* 73, 123–142.
- WOLF, M., HAGEMANN, H. W., HAVERKAMP, S., & LINNENBERG, W. (im Druck): Kohlenpetrographische und kohlenchemische Untersuchungen an Proben aus der Sondierbohrung Weiach (Schweiz). In: MATTER et al.: *Sondierbohrung Weiach – Geologie*. – Nagra, Technischer Bericht NTB 86–01.

Manuskript eingegangen am 30. Januar 1987

Revision angenommen am 11. März 1987